เอกสารประกอบการสอน
รายวิชาการสื่อสารใยแสง

พรพิมล ฉายแสง

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2557

เอกสารประกอบการสอน
รายวิชาการสื่อสารใยแสง

พรพิมล ฉายแสง
วศ.ม. (วิศวกรรมโทรคมนาคม)

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
2557

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

คำนำ

เอกสารประกอบการสอน รายวิชาการสื่อสารใยแสง รหัสวิชา 5584506 นี้ ได้เรียบเรียงขึ้นอย่างเป็นระบบ ครอบคลุมเนื้อหาสาระรายวิชา ในหมวดวิชาบังคับทางวิศวกรรม ของสาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำคัญของผู้สอนใช้ในการประกอบการสอนของอาจารย์ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหา เอกสารเล่มนี้ประกอบด้วยเนื้อหาเรื่อง พื้นฐานการสื่อสารใยแสง คุณสมบัติของแสงและเส้นใยแก้วนำแสง การลดทอนและการขยายกว้างออก แหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง การรวมสัญญาณ การผลิตเส้นใยแก้วนำแสง วงจรในระบบการสื่อสารใยแสง และมาตรฐานเคเบิลใยแก้วนำแสง

ผู้เรียนควรได้ศึกษารายละเอียดแต่ละหัวข้อเรื่องที่สอนจากเอกสาร หนังสือ ตำรา หรือสื่ออื่นๆ เพิ่มเติมอีก หวังว่าเอกสารประกอบการสอนนี้คงอำนวยประโยชน์ต่อการเรียนการสอนตามสมควร หากท่านที่นำไปใช้มีข้อเสนอแนะ ผู้เขียนยินดีรับฟังข้อคิดเห็นต่าง ๆ และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

พรพิมล ฉายแสง
31 กรกฎาคม 2557

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	(1)
สารบัญ	(3)
สารบัญภาพ	(7)
สารบัญตาราง	(11)
แผนบริหารการสอนประจำรายวิชา	(13)
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 1	1
บทที่ 1 พื้นฐานการสื่อสารใยแสง	3
1.1 ความเป็นมาของการสื่อสารใยแสง	3
1.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบการสื่อสารใยแสง	6
1.3 ข้อดีและข้อเสียของการสื่อสารใยแสง	7
1.4 แนวโน้มการพัฒนาการสื่อสารใยแสง	8
1.5 สรุป	13
แบบฝึกหัดบทที่ 1	14
เอกสารอ้างอิง	15
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 2	17
บทที่ 2 คุณสมบัติของแสงและเส้นใยแก้วนำแสง	19
2.1 แสง	19
2.2 เส้นใยแก้วนำแสง	24
2.3 ค่าขนาดช่องรับแสง	29
2.4 โหมดการเดินทางของคลื่นแสง	32
2.5 แบนด์วิดธ์	35
2.6 สรุป	36
แบบฝึกหัดบทที่ 2	37
เอกสารอ้างอิง	38
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 3	41
บทที่ 3 การลดทอนและการขยายกว้างออก	43
3.1 การลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง	43
3.2 การขยายกว้างออก	51
3.3 เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยวแบบมาตรฐาน	54
3.4 สรุป	57
แบบฝึกหัดบทที่ 3	58
เอกสารอ้างอิง	59

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 4	61
บทที่ 4 แหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง	63
4.1 แหล่งกำเนิดแสง	63
4.2 เลเซอร์	66
4.3 แอลอีดี	71
4.4 อุปกรณ์รับแสง	73
4.5 โฟโตไดโอด	76
4.6 อวาลานซ์โฟโต้ไดโอด	77
4.7 สรุป	80
แบบฝึกหัดบทที่ 4	81
เอกสารอ้างอิง	82
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 5	83
บทที่ 5 การรวมสัญญาณ	85
5.1 การรวมสัญญาณแบบแบ่งช่วงเวลา	86
5.2 การรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่น	87
5.3 ระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม	90
5.4 อุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงอีดีเอฟเอ	97
5.5 สรุป	98
แบบฝึกหัดบทที่ 5	99
เอกสารอ้างอิง	100
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 6	101
บทที่ 6 การผลิตเส้นใยแก้วนำแสง	103
6.1 การสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์ม	103
6.2 วิธีเอาต์ไซต์เวเพอร์เฟสออกซิเดชัน	107
6.3 วิธีเวพอร์เฟสแอคเชียลดีโพซิชัน	108
6.4 วิธีโมดิฟายด์เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน	109
6.5 วิธีพลาสมา-แอคทิเวท เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน	112
6.6 การหุ้มเส้นใยแก้วนำแสง	112
6.7 เครื่องมือวัดขนาดของเส้นใยแก้วนำแสง	113
6.8 สรุป	114
แบบฝึกหัดบทที่ 6	115
เอกสารอ้างอิง	116

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 7	117
บทที่ 7 วงจรในระบบการสื่อสารใยแสง	119
7.1 ระบบการส่งสัญญาณแสงสู่เส้นใยแก้วนำแสง	119
7.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อร่วมทางแสง	122
7.3 การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง	130
7.4 สรุป	132
แบบฝึกหัดบทที่ 7	133
เอกสารอ้างอิง	134
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 8	135
บทที่ 8 มาตรฐานเคเบิลใยแก้วนำแสง	137
8.1 มาตรฐานชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามคุณสมบัติของแสง	137
8.2 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามลักษณะการใช้งาน	139
8.3 คุณสมบัติทางกลของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง	144
8.4 การตรวจสอบเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้ง	145
8.5 การทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้ง	146
8.6 สรุป	152
แบบฝึกหัดบทที่ 8	154
เอกสารอ้างอิง	155
บรรณานุกรม	157
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบท	165

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	การเชื่อมโยงของโครงการทีเอที-ลำดับที่แปด ระหว่างเมืองนิวเจอร์ซี ประเทศสหรัฐอเมริกา ไปยังอ่าวไวด์เมาท์ ประเทศอังกฤษ และเมืองเพนมาร์ช ประเทศฝรั่งเศส	5
1.2	โครงสร้างพื้นฐานของระบบการสื่อสารใยแสง	6
1.3	วิวัฒนาการด้านความสามารถในการส่งข้อมูลของเส้นใยแก้วนำแสง	10
1.4	ซี. เอช.ทาวน์ส	10
1.5	ป้ายประชาสัมพันธ์อินเตอร์เน็ตความเร็วสูง	12
2.1	สเปกตรัมของแสง	20
2.2	รูปแบบการเดินทางของแสงเมื่อผ่านรอยต่อของตัวกลาง	22
2.3	การหักเหของแสงในมุมต่างๆ กัน	23
2.4	เส้นทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง	24
2.5	โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง	25
2.6	สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบเดินลอยมีสายรับแรง	26
2.7	โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยวและแบบหลายโหมด	27
2.8	ภาพตัดขวางและภาพลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแก้ว (ก) แบบสเต็ปอินเด็กซ์ (ข) แบบแกรดอินเด็กซ์	28
2.9	การเดินทางของแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงด้วยมุมต่างๆ	30
2.10	ตัวอย่างลำแสงที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนโหมด	33
2.11	วิธีการหาแบนด์วิดธ์ในการส่งสัญญาณ	36
3.1	สเปคตรัมการลดทอนสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสง	45
3.2	ชนิดการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง	45
3.3	การกระจัดกระจายแสงแบบเรย์เลห์	46
3.4	การลดทอนที่เกิดจากการโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสง	47
3.5	ความผิดพลาดที่เกิดจากเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง	49
3.6	ความผิดพลาดเนื่องจากการเชื่อมต่อที่ไม่สนิท	50
3.7	การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่ขนาดไม่เท่ากัน	50
3.8	การลดทอนที่เกิดจากค่าขนาดช่องรับแสงไม่เท่ากัน	51
3.9	การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลที่ส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสง แต่ละชนิด	52
3.10	การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณพัลส์ 1011 เมื่อผ่านเส้นใยแก้วนำแสง	53
3.11	การขยายกว้างออกของมาตรฐานเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว	54
3.12	การขยายกว้างออกของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยว	55
3.13	ลักษณะของเส้นใยแก้ว (ก) แบบดิสเพอร์ชันชิฟท์ (ข) แบบดิสเพอร์ชันแฟลต	55
3.14	ลักษณะเส้นใยแก้วนำแสงแบบนอนซีโรดิสเพอร์ชันชิฟท์	56
3.15	เส้นใยแก้วนำแสงแบบรักษาโพลาไรเซชัน (ก) คอร์วงรี (ข) คอร์โบว์ไทย์ (ค) คอร์แพนด้า	57

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.1	ระบบสื่อสารใยแสงแบบง่าย	63
4.2	ชั้นพลังงานของอะตอม	64
4.3	ปรากฏการณ์การเกิดแสงทั้ง 3 แบบ (ก) การดูดซับพลังงาน (ข) ปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเอง (ค) การปล่อยแสงโดยการถูกกระตุ้น	65
4.4	ลักษณะของอุปกรณ์เลเซอร์	66
4.5	ความกว้างของสเปคตรัมของแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอด	67
4.6	เปรียบเทียบหน้าเฟสและลำแสงที่ได้จาก (ก) แอลอีดี (ข) เลเซอร์	68
4.7	โครงสร้างของไดโอดเลเซอร์แบบฟาบี้-พีรอท	70
4.8	โครงสร้างของแอลอีดีประเภทกำเนิดแสงด้านหน้า	71
4.9	โครงสร้างของแอลอีดีประเภทกำเนิดแสงด้านข้าง	72
4.10	คุณลักษณะทางด้านกำลังงานแสงและกระแสไบอัส	72
4.11	ดีพลีชันโซน	74
4.12	ความยาวคลื่นในการรับแสงของสารกึ่งตัวนำแต่ละชนิด	75
4.13	หลักการรับแสงและระดับพลังงานของพินโฟโตไดโอด	77
4.14	หลักการรับแสงและระดับพลังงานของอวาลานซ์โฟโตไดโอด	78
4.15	โครงสร้างของอวาลานซ์โฟโตไดโอด	79
4.16	อัตราการขยายกระแสของอวาลานซ์โฟโตไดโอด ณ ความยาวคลื่นต่างๆ	79
5.1	โครงสร้างโดยทั่วไปของการรวมสัญญาณ	85
5.2	แผนผังของการรวมสัญญาณแบบแบ่งเวลา	86
5.3	การรวมสัญญาณด้วยวิธีการทีดีเอ็ม	87
5.4	แผนผังของการรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่นแบบ 4 ช่องสัญญาณ	88
5.5	โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสารโทรคมนาคมแบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม	90
5.6	คัปเปลอร์รวมสัญาณแสงแบบ 3x1	91
5.7	เกรตติ้งเส้นใยแก้วแบบแบรก	93
5.8	ส่วนประกอบของอุปกรณ์ชดเชยการขยายกว้างออกที่ใช้เกรตติ้ง	94
5.9	โครงสร้างพื้นฐานของโอเอดีเอ็ม	94
5.10	โอเอ็กซ์ซีแบบ (ก) บาร์สเตท (ข) ครอสสเตท	95
5.11	ลักษณะการแยกสัญญาณ	96
5.12	การขยายสัญญาณแสงด้วยอีดีเอฟเอ	97
6.1	ลักษณะของแท่งแก้วพรีฟอร์ม	104
6.2	การผลิตเส้นใยแก้วแบบอินไซต์	105
6.3	การผลิตเส้นใยแก้วแบบเอาต์ไซต์	106
6.4	แผนผังการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงจากแท่งแก้วพรีฟอร์ม	106
6.5	การสร้างเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีโอวีพีดี	107
6.6	วิธีวีเอดี (ก) กระบวนการสร้าง (ข) การเชื่อมด้วยก๊าซ	109

สิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
6.7	การสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์มด้วยวิธีเอ็มซีวีดี	110
6.8	การดึงแท่งแก้วพรีฟอร์มให้เป็นเส้นใยแก้ววิธีเอ็มซีวีดี	111
6.9	การสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์มด้วยวิธีพีซีวีดี	112
6.10	เส้นใยแก้วนำแสงที่ผ่านการหุ้มแล้ว	113
6.11	แผนผังการทำงานของไลท์สแก็ตเตอร์ริง	114
7.1	ระบบการรับและส่งสัญญาณให้กับเส้นใยแก้วนำแสง	119
7.2	การทำงานของส่วน (ก) ส่วนอัพคอลิเมเตอร์ และ (ข) ส่วนโฟกัส	120
7.3	สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อในรูปแบบ (ก) แบบวงแหวน (ข) แบบบัส (ค) แบบดาว	122
7.4	รูปแบบพื้นฐานของอุปกรณ์คัปเปลอร์ทางแสง	123
7.5	ลักษณะของคัปเปลอร์แยกสัญญาณแสง	124
7.6	ลักษณะของคัปเปลอร์รูปตัวที	124
7.7	ลักษณะของคัปเปลอร์รวมสัญญาณแสง	124
7.8	ลักษณะของคัปเปลอร์แบบเอ็กซ์	125
7.9	ลักษณะของคัปเปลอร์รูปดาว	125
7.10	ลักษณะของคัปเปลอร์รูปต้นไม้ (ก) แบบ 1xM และ (ข) แบบ Nx1	126
7.11	ลักษณะของคัปเปลอร์แบบมีทิศทาง	126
7.12	ลักษณะของคัปเปลอร์ –3 เดซิเบล	127
7.13	การสร้างคัปเปลอร์ทางแสงรูปดาว	129
7.14	ตัวอย่างหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง	130
7.15	ลักษณะของอุปกรณ์พักสายสัญญาณ	130
7.16	กระบวนการสไปลซ์	131
7.17	ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องเชื่อมต่อใยแก้วนำแสง	131
8.1	ลักษณะโดยทั่วไปของเคเบิลใยแก้วนำแสง	139
8.2	สายเคเบิลใยแก้วนำแสงภายนอกอาคารติดตั้งในช่องเดินสาย และฝังดินโดยตรง ดียู-001	140
8.3	สายเคเบิลใยแก้วนำแสงภายนอกชนิดติดตั้งในช่องเดินสาย และฝังดินโดยตรงดีบี-002	140
8.4	สายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดแขวนในอากาศรับน้ำหนักตัวเองได้ รุ่นเอดีเอสเอส-001	141
8.5	สายเคเบิลใยแก้วนำแสงภายนอกอาคารชนิดแขวนในอากาศรับน้ำหนักตัวเองได้ รุ่นเอซี-002	142
8.6	สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไทท์บัฟเฟอร์	143
8.7	เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไทท์บัฟเฟอร์	143
8.8	เคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดดรอบเคเบิลคล้ายเลข 8	145

สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
8.9	ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแสง	149
8.10	อุปกรณ์วัดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ	150
8.11	แพตซ์คอร์ด	151

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ประวัติการพัฒนาการสื่อสารใยแสง	9
2.1	ค่าดัชนีหักเหของแสงของตัวกลางต่างๆ	21
2.2	เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 3 แบบ	29
2.3	ขนาดของเส้นใยแก้วนำแสงแสงและค่าขนาดของช่องรับแสงของเส้นใยแก้วนำแสง	31
8.1	ตัวอย่างคุณสมบัติทางแสงของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้ง	146
8.2	ตัวอย่างคุณสมบัติของชุดทดสอบรับรองอัตโนมัติ	149
8.3	ตัวอย่างคุณสมบัติของชุดทดสอบโออาร์แอล	150

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แผนบริหารการสอนประจำรายวิชา

รหัสวิชา 5584506
รายวิชา การสื่อสารใยแสง 3 (3-0-6)
Fiber Optics Communication

คำอธิบายรายวิชา

พื้นฐานเกี่ยวกับระบบการสื่อสารใยแสง การแพร่กระจายแสง ต้นกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบสื่อสารใยแสง คุณสมบัติของใยแสง การมัลติเพล็กซิ่งและดีมัลติเพล็กซิ่งและการใช้งาน หน่วยที่ใช้วัดแสงไฟเบอร์ออปติก แหล่งกำเนิดแสง และอุปกรณ์รับแสงแบบสารกึ่งตัวนำผลึกเหลว วงจรต่างๆของอุปกรณ์รับและส่ง

ความมุ่งหมายรายวิชา

1. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับข้อดีและข้อเสียของการสื่อสารใยแสง
2. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง
3. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรการสื่อสารใยแสง
4. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการรวมสัญญาณ
5. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง

เนื้อหา

บทที่ 1 พื้นฐานการสื่อสารใยแสง 3 ชั่วโมง
- 1.1ความเป็นมาของการสื่อสารใยแสง
- 1.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบการสื่อสารใยแสง
- 1.3 ข้อดีและข้อเสียของการสื่อสารใยแสง
- 1.4 แนวโน้มการพัฒนาการสื่อสารใยแสง

บทที่ 2 คุณสมบัติของแสงและเส้นใยแก้วนำแสง 9 ชั่วโมง
- 2.1 แสง
- 2.2 เส้นใยแก้วนำแสง
- 2.3 ค่าขนาดช่องรับแสง
- 2.4 โหมดการเดินทางของคลื่นแสง
- 2.5 แบนด์วิดธ์

บทที่ 3 การลดทอนและการขยายกว้างออก 6 ชั่วโมง
- 3.1 การลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง
- 3.2 การขยายกว้างออก
- 3.3 เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยวแบบมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทที่ 4 แหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง 6 ชั่วโมง

4.1 แหล่งกำเนิดแสง

4.2 เลเซอร์

4.3 แอลอีดี

4.4 อุปกรณ์รับแสง

4.5 โฟโตไดโอด

4.6 อวาลานซ์โฟโต้ไดโอด

บทที่ 5 การรวมสัญญาณ 6 ชั่วโมง

5.1 การรวมสัญญาณแบบแบ่งช่วงเวลา

5.2 การรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่น

5.3 ระบบดีดับเบิ้ลยูดีเอ็ม

5.4 อุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงอีดีเอฟเอ

บทที่ 6 การผลิตเส้นใยแก้วนำแสง 6 ชั่วโมง

6.1 การสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์ม

6.2 วิธีเอาต์ไซต์เวเพอร์เฟสออกซิเดชัน

6.3 วิธีเวพอร์เฟสแอคเซียลดีโพซิชัน

6.4 วิธีโมดิฟายด์เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน

6.5 วิธีพลาสมา-แอคทิเวท เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน

6.6 การหุ้มเส้นใยแก้วนำแสง

6.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดขนาดของเส้นใยแก้วนำแสง

บทที่ 7 วงจรในระบบการสื่อสารใยแสง 3 ชั่วโมง

7.1 ระบบการส่งสัญญาณทางแสงสู่เส้นใยแสง

7.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อร่วมทางแสง

7.3 การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง

บทที่ 8 มาตรฐานเคเบิลใยแก้วนำแสง 6 ชั่วโมง

8.1 มาตรฐานชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามคุณสมบัติของแสง

8.2 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามลักษณะการใช้งาน

8.3 คุณสมบัติทางกลของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

8.1 การตรวจสอบเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้ง

8.2 การทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้ง

กิจกรรมการเรียนการสอน

1. ยกตัวอย่างสิ่งที่พบเห็นได้จริงประกอบเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

2. บรรยายพร้อมยกตัวอย่างประกอบ ใช้โจทย์ปัญหาที่หลากหลาย มีความซับซ้อนมากน้อยต่างๆกันไป การใช้เครื่องคำนวณเพื่อคำนวณโจทย์ที่ตัวเลขซับซ้อน

3. มอบหมายงานให้รับผิดชอบเป็นกลุ่ม ค้นคว้าเพิ่มเติมด้วยตนเองทั้งในเวลาและนอกเวลา นำเสนอหน้าชั้นเรียนและตอบคำถามหลังการไปศึกษาค้นคว้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

4. ศึกษาจากเอกสารประกอบการสอน และหนังสือเพิ่มเติม
5. ให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบท
6. แบบทดสอบย่อย แบบทดสอบกลางภาค และแบบทดสอบปลายภาค

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการสื่อสารใยแสง
2. หนังสือเพื่อค้นคว้าเพิ่มเติม
3. สื่อนำเสนอ

การวัดและประเมินผล

การวัดผล

คะแนนรวมในการประเมินผล 100 คะแนน

1. คะแนนระหว่างภาครวม 70 คะแนน
   - 1.1.1 ความสนใจและเวลาเรียน 10 คะแนน
   - 1.1.2 แบบฝึกหัดและงานค้นคว้า 10 คะแนน
   - 1.1.3 งานกลุ่ม 20 คะแนน
   - 1.1.4 ทดสอบกลางภาคเรียน 20 คะแนน
2. ทดสอบปลายภาคเรียน 30 คะแนน

การประเมินผล

คะแนนระหว่าง	80-100	ได้ระดับ A
คะแนนระหว่าง	75-79	ได้ระดับ B+
คะแนนระหว่าง	70-74	ได้ระดับ B
คะแนนระหว่าง	65-69	ได้ระดับ C+
คะแนนระหว่าง	60-64	ได้ระดับ C
คะแนนระหว่าง	55-59	ได้ระดับ D+
คะแนนระหว่าง	50-54	ได้ระดับ D
คะแนนระหว่าง	0-49	ได้ระดับ F

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 1

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 1 พื้นฐานการสื่อสารใยแสง

1.1 ความเป็นมาของการสื่อสารใยแสง
1.2 โครงสร้างพื้นฐานของการสื่อสารใยแสง
1.3 ข้อดีและข้อเสียของการสื่อสารใยแสง
1.4 แนวโน้มการพัฒนาการสื่อสารใยแสง
1.5 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อศึกษาบทที่ 1 แล้วนักศึกษาสามารถ
1. อธิบายถึงโครงสร้างพื้นฐานของการสื่อสารใยแสงได้
2. อธิบายถึงข้อดีและข้อเสียของการสื่อสารใยแสงได้
3. อธิบายถึงแนวโน้มการพัฒนาการสื่อสารใยแสงได้

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. บรรยายพร้อมยกตัวอย่างประกอบ
2. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถามข้อสงสัย
3. ซักถามความเข้าใจของผู้เรียนแบบปากเปล่าและแบบฝึกหัดท้ายบท
4. ศึกษาจากเอกสารประกอบการสอน

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อนำเสนอพาวเวอร์พ้อย
2. สื่อวีดิโอ ประกอบ
3. เอกสารประกอบการสอนที่จัดพิมพ์โดยผู้สอน

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน
2. สังเกตจากการตอบคำถามแบบปากเปล่า
3. สังเกตจากการทำแบบฝึกหัดท้ายบท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทที่ 1
พื้นฐานการสื่อสารใยแสง

คลื่นแสงหรือพลังงานแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง สามารถนำมาประยุกต์ในการนำสัญญาณจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่อยู่ห่างไกลได้เช่นเดียวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความก้าวหน้าของการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (Optical fiber) เป็นเหตุผลหลักที่ทำให้เกิดก้าวหน้าทางด้านเครือข่ายคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ตซึ่งเป็นเทคโนโลยีสำคัญในปัจจุบัน การสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเป็นระบบการสื่อสารที่ใช้แสงผสมกับข้อมูลที่ต้องการส่งในรูปแบบสัญญาณดิจิตอล แล้วจึงส่งผ่านตัวกลางคือเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งมีขนาดที่เล็กมากมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 250 ไมโครเมตร หรือไมครอน ดังนั้นทำให้สายเคเบิล 1 เส้น สามารถรวมเอาสายสัญญาณเส้นใยแก้วนำแสงหลายๆ เส้นไว้ด้วยกันได้ แสงจะถูกส่งผ่านไปยังภาครับเพื่อแปลผลค่าจากสัญญาณทางแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์แปลผลเป็นข้อมูลต่อไป

1.1 ความเป็นมาของการสื่อสารใยแสง

ช่องทางการสื่อสารนั้นมีมากมายและหลากหลายรูปแบบ ทั้งการสื่อสารแบบไร้สายและการสื่อสารผ่านสายเคเบิลแบบต่างๆ ทั้งนี้วัตถุประสงค์หลักของการสื่อสาร คือความสามารถในการสื่อสารที่รวดเร็วและ ความสะดวกสบายในการใช้งาน เส้นใยแก้วนำแสงเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านสายเคเบิลที่เข้ามามีบทบาทหลักในระบบโทรคมนาคมปัจจุบัน เนื่องจากสามารถส่งข้อมูลได้ด้วยเร็วสูงถึงระดับเทอระเฮิรตซ์ (THz)

ชมรมไฟฟ้าสื่อสาร ไอทริเปิลอี (ม.ป.ป.) ได้นำเสนอถึงความเป็นมาของเส้นใยแก้วนำแสงว่าเส้นใยแก้วนำแสงมีการพัฒนาขึ้นอย่างจริงจัง ในช่วงกลางถึงปลายคริสต์ทศวรรษที่ 1960 หรือระหว่างปี พ.ศ. 2503 และ พ.ศ. 2504 นักวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ทำการพัฒนาเลเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสร้างแสงให้มีคุณสมบัติโคฮีเรนต์ (Coherent) ปรับลำแสงขนาน (Collimated) และสร้างลำแสงเอกรงค์ (Monochromatic beams) ได้ ในช่วงแรกเลเซอร์เป็นเพียงเครื่องมือวิจัยที่ใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการแต่วิศวกรสื่อสารได้ค้นพบว่าเลเซอร์นั้นมีศักยภาพที่เหมาะสมสำหรับการใช้ส่งข้อมูลในปริมาณมาก เนื่องจากเลเซอร์ทำงานอยู่ในช่วงความถี่แสงที่ครอบคลุมพื้นที่ความถี่ใช้งานสูง ซึ่งตามหลักการแล้วจะทำให้มีขนาดของช่วงกว้างความถี่ใช้งานหรือแบนด์วิดธ์ และอัตราการส่งข้อมูลที่ทำได้สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการนำความสามารถของเลเซอร์มาใช้ประโยชน์ในงานด้านการสื่อสารให้ดียิ่งขึ้นนั้นยังคงต้องการการพัฒนาด้านการลดค่าสูญเสียของกำลังส่ง (Low-loss) การพัฒนาการนำพาสัญญาณแสงและตัวกลางการสื่อสัญญาณแสงที่มีการควบคุมได้ดี

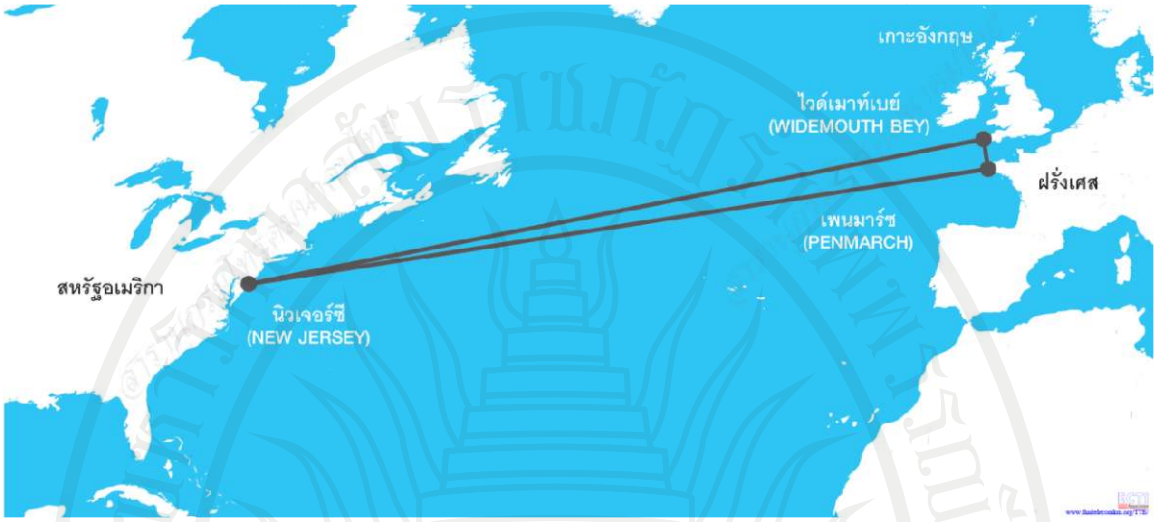
ต่อมาในปี พ.ศ. 2509 มีการพัฒนาครั้งสำคัญของวงการสื่อสารทางแสงเกิดขึ้นเมื่อ เค ซี เกา (K. C. Kao) และจี เอ ฮอกแฮม (G.A. Hockham) คิดค้นและนำเสนอเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำมาจากแก้วเพื่อการใช้งานเป็นเสมือนช่องทางสำหรับการนำพาสัญญาณแสงไปได้ โดยได้พยากรณ์แนวโน้มของเทคโนโลยีดังกล่าวด้วยว่า จะสามารถลดค่าการสูญเสียกำลังส่งลงได้ต่ำลงเหลือในอัตราที่ 20 เดซิเบลต่อกิโลเมตร (dB/km) การคาดการณ์ที่ต้องบันทึกไว้นั้นเกิดขึ้นในขณะที่กำลังส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสงมีการสูญเสียสูงอยู่ในระดับ 1,000 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ซึ่งต่อมาปี ค.ศ. 1968 ได้มีนักวิจัยที่สามารถเตรียมตัวอย่างสารซิลิก้า (Silica) ที่มีค่าความสูญเสียต่ำที่ระดับ 5

เดซิเบลต่อกิโลเมตร เพื่อการสร้างเส้นใยแสงดังกล่าวได้ จนกระทั่งปี ค.ศ. 1970 เอฟ พี คาปรอน (F.P. Kapron) ดี บี เค้ก (D. B. Keck) และอาร์ ดี มอเรอร์ (R.D. Maurer) จากบริษัทคอร์นนิง กลาส เวิกส์ (Corning glass works) รายงานว่าสามารถพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสง ให้มีค่าความสูญเสียที่ 20 เดซิเบลต่อกิโลเมตรเป็นผลสำเร็จ และในปีเดียวกัน ไอ ฮายาชิ (I. Hayashi) และนักวิจัยอื่นๆ จากหน่วยปฏิบัติการเบลล์ก็ประสบความสำเร็จในการสาธิตการส่งสัญญาณที่ระดับการลดทอนสัญญาณดังกล่าวได้สำเร็จเช่นกันโดยใช้เลเซอร์ที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor laser) ถึงแม้ว่าการใช้งานจริงยังไม่เกิดขึ้นมาจนกระทั่งกลางคริสต์ทศวรรษที่ 1970 ก็ตามแต่กลุ่มของนักวิจัยในวงการได้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการนำเลเซอร์ชนิดสารกึ่งตัวนำ และเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้สำหรับการสื่อสารโทรคมนาคม

ในปี พ.ศ. 2518 บริษัท เอทีแอนด์ที โดยหน่วยปฏิบัติการเบลล์ (Bell laboratory) ได้ทดลองระบบส่งข้อมูลขนาดใหญ่ โดยใช้เส้นใยนำแสงจำนวน 144 เส้น ความยาวเส้นละ 650 เมตร ในหนึ่งวงเครือข่าย ณ เมืองแอตแลนตา (Atlanta) มลรัฐจอร์เจีย (Georgia) การทดลองได้มีการเชื่อมต่อข้ามช่องสัญญาณหรือพ่วงต่อสายเพื่อจำลองการสื่อสารที่จะมีระยะทางที่ไกลมากขึ้น การเชื่อมต่อนี้วิศวกรจากเบลล์ได้ทดสอบระบบระดับสูงสุดที่อัตราการส่งข้อมูลเกือบถึง 45 เมกะบิตต่อวินาที (Mb/s) และสามารถรับสัญญาณได้โดยไม่ต้องมีการทวนสัญญาณในระยะ 11 กิโลเมตร มีอัตราความผิดพลาด (Error rate) ขนาด 10^{-9} (ผิดพลาดหนึ่งบิตจากข้อมูลที่ส่งหนึ่งพันล้านบิต) โดยมีสัญญาณแทรกระหว่างวงจร (Crosstalk) น้อยมาก ดังนั้นการทดลองที่เมืองแอตแลนตาจึงได้แสดงถึงความเป็นไปได้ในทุกด้านเพื่อนำวิธีการสื่อสารข้อมูลปริมาณมากๆ โดยผ่านเส้นใยนำแสงมาใช้งานจริง การทดลองครั้งนั้นได้ครอบคลุมผลสำเร็จของส่วนย่อยๆ ด้วย เช่นคุณประโยชน์ของเส้นใยแก้วนำแสง การติดตั้ง การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง (Splicing) การพัฒนาภาคส่งและภาครับแสง ระบบอิเล็กทรอนิกส์ หัวต่อและตัวเชื่อมโยงเส้นใยแก้วนำแสง (Jacks and lumpers) รวมถึงภาพรวมประสิทธิภาพของระบบด้วย เป็นต้น

จากความสำเร็จ ในการทดลองที่เมืองแอตแลนตา ทำให้มีการติดตั้งระบบเครือข่ายสื่อสารทางแสงที่มีความคล้ายคลึงกันตามมาอีกในเมืองชิคาโก (Chicago) ของช่วงฤดูใบไม้ผลิในปี พ.ศ. 2520 ต่อมาในเดือนกันยายนปี พ.ศ. 2523 ระบบที่สองจึงได้เปิดให้บริการในเขตแอตแลนตา-สเมียร์นา (Atlanta-Smyrna) มลรัฐจอร์เจีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ขณะเดียวกันบริษัท เอทีแอนด์ทีได้ทำการติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงระยะทางไกลในเส้นทางหลัก คือ เส้นทางระยะ 776 ไมล์ (ประมาณ 1,249 กิโลเมตร) จากเมืองมอสเลย์ มลรัฐเวอร์จิเนีย (Moseley, Virginia) ไปยังเมืองเคมบริดจ์ มลรัฐแมสซาชูเซตส์ (Cambridge, Massachusetts) และเส้นทางระยะ 500 ไมล์ (ประมาณ 804.7 กิโลเมตร) จากลอสแองเจลิสไปยังเมืองซานฟรานซิสโก โดยในช่วงปลายปี พ.ศ. 2525 นั้นระบบโครงข่ายสื่อสารของเบลล์ ได้ติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงเป็นระยะทางรวมกว่า 150,000 กิโลเมตร และหนึ่งปีต่อมาระยะทางเพิ่มขึ้นเป็นมากกว่า 300,000 กิโลเมตร ด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขนาด 45 หรือ 90 เมกะบิตต่อวินาที และในที่สุดในปี พ.ศ. 2525 ระบบโครงข่ายสื่อสารของเบลล์ ได้ติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงเป็นระยะทางรวมกว่า 150,000 กิโลเมตร และ พ.ศ. 2526 ระบบโครงข่ายสื่อสารของเบลล์ ได้ติดตั้งเส้นใยนำแสงเป็นระยะทางรวมกว่า 150,000 กิโลเมตร บริษัท เอทีแอนด์ที ได้เริ่มทดสอบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงแบบใต้น้ำ (Undersea) ซึ่งได้นำผลงานจากการวิจัยและพัฒนานี้ไปใช้งานกับโครงการเชื่อมโยงระหว่างเมืองเพนมาร์ช ประเทศฝรั่งเศส อ่าวไวด์เมาท์

ประเทศอังกฤษ และเมืองนิวเจอร์ซี ประเทศสหรัฐอเมริกา ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงภายใต้โครงการทีเอที-ลำดับที่แปด (TAT-8) เมื่อปี พ.ศ. 2531 เส้นทางการเชื่อมโยงแสดงไว้ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 การเชื่อมโยงของโครงการทีเอที-ลำดับที่แปด ระหว่างเมืองนิวเจอร์ซี ประเทศสหรัฐอเมริกา ไปยังอ่าวไวด์เมาท์ ประเทศอังกฤษ และเมืองเพนมาร์ช ประเทศฝรั่งเศส
ที่มา : ชมรมไฟฟ้าสื่อสาร ไอทริเปิลอี, ม.ป.ป.

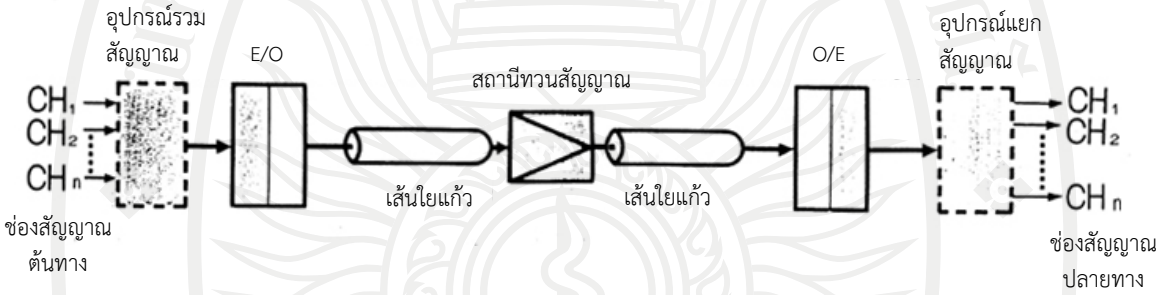
ช่วงเวลาเดียวกันนั้น บริษัทนิปปอน เทเลโฟนแอนด์เทเลกราฟหรือเอ็นทีที (Nippon telephone & telegraph: NTT) ของประเทศญี่ปุ่นก็ได้พัฒนาเทคโนโลยีเส้นใยนำแสงขึ้นด้วย โดยในปี พ.ศ. 2521 บริษัทเอ็นทีที ได้ดำเนินการทดสอบภาคสนามของการให้บริการความถี่แถบกว้างหรือบรอดแบนด์ (Broadband) สู่บ้าน โดยมีอุปกรณ์ปลายทางเชื่อมต่อทดสอบ 168 หน่วย ซึ่งรวมเอาบริการการแพร่สัญญาณภาพ หรือวีดีโอแบบหลากหลายโดยที่สามารถสื่อสารกันได้ทั้งสองทางระหว่างผู้ให้และผู้รับบริการมาทดสอบ เมื่อถึงปี พ.ศ.2526 เอ็นทีที ได้เปิดให้บริการบนโครงข่ายการสื่อสารทางแสงที่ได้วางไว้ก่อนแล้ว ด้วยขนาดอัตราการส่งข้อมูล 400 เมกะบิตต่อวินาทีกับระยะสายส่ง 80 กิโลเมตรและต่อมาภายหลัง บริษัทฯ จึงได้ประกาศแผนการสำหรับการวางโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงอีกกว่า 60 โครงการโดยมีระยะทางรวมถึงกว่า 100,000 กิโลเมตร

กรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 261) ได้กล่าวถึงการสื่อสารใยแสงไว้ว่า ปัจจุบันการสื่อสารทางแสง ได้เป็นที่ยอมรับและมีการใช้งานทั่วไป โดยเฉพาะในระบบสื่อสารโทรคมนาคม (Long haul communication) ที่เห็นได้ชัดเจนคือ การติดต่อสื่อสารระหว่างประเทศทั่วโลก เช่น โครงการแฟลก (Fiber link around the global: FLAG) ซึ่งเป็นโครงการที่มีเครือข่ายของเส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมทุกทวีปในโลกเข้าด้วยกัน เส้นทางที่วางเคเบิลใยแก้วนำแสงส่วนใหญ่ คือใต้ทะเลซึ่งมีระยะห่างแต่ละสถานีทวนสัญญาณ (Repeater span) ถึง 300 กิโลเมตร ใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่มีคุณภาพสูง มีอัตราการสูญเสีย (Attenuation) ต่ำและใช้เทคโนโลยีของการขยายสัญญาณแสงด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสง (Optical amplifier)

สรุปได้ว่าการสื่อสารใยแสงนั้นมีการคิดค้นและพัฒนาอย่างจริงจัง เป็นเวลากว่า 70 ปี ซึ่งในการพัฒนาของการสื่อสารใยแสง นอกจากการพัฒนาตัวเส้นใยแก้วนำแสงเองแล้วนั้น อีกส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากพัฒนาการของอุปกรณ์กำเนิดแสงแสง และอุปกรณ์รับแสง ที่สร้างมาจากสารประเภทกึ่งตัวนำในการสร้างสัญญาณแสง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้การสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงพัฒนา

1.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบการสื่อสารใยแสง

การส่งสัญญาณการสื่อสารประเภทต่างๆ ซึ่งลักษณะเป็นสัญญาณไฟฟ้า ไปในเส้นใยแก้วนำแสงต้องแปลงเป็นสัญญาณคลื่นแสงก่อนส่งผ่านไปตามตัวกลางตลอดเส้นทางจากภาคส่งจนถึงภาครับ ซึ่งที่ภาครับนี้สัญญาณแสงจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ที่เป็นสัดส่วนกับความเข้มของสัญญาณแสง เพื่อดำเนินการตามที่ต้องการต่อไป ซึ่งตัวกลางที่ใช้ในการให้คลื่นแสงเดินทางก็คือ เส้นใยแก้วนำแสง การส่งสัญญาณผ่านระบบสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงพื้นฐานประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบการสื่อสารใยแสง
ที่มา: กรมการสื่อสารทหาร, ม.ป.ป. : 262

โครงสร้างระบบสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงในภาพที่ 1.2 ประกอบด้วยตัวแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง (Electrical to optical converter: E/O) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณข้อมูลทางไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น สัญญาณเสียงมนุษย์ สัญญาณเสียงเพลง สัญญาณวิทยุ หรือสัญญาณภาพไปเป็นสัญญาณแสงเพื่อป้อนเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงแล้วส่งต่อไปยังปลายทาง และตัวแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณข้อมูลทางไฟฟ้า (Optical to electrical: O/E) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงที่เดินทางออกมาจากเส้นใยแก้วนำแสงกลับมาเป็นสัญญาณข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้งานต่อไป ส่วนประกอบหลักอื่นๆ ของระบบมีทำหน้าที่ดังนี้

1.2.1 เครื่องส่ง (Transmitter) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่ได้ถูกมอดูเลตและขยาย โดยหลักการคือเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และเครื่องส่งมีส่วนประกอบหลักคือ แหล่งกำเนิดแสงและวงจรขับ ที่สามารถขยายและมอดูเลตสัญญาณได้ แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 ประเภท คือแอลอีดี (Light emitting diode: LED) และเลเซอร์ไดโอดรายละเอียดของอุปกรณ์ ทั้ง 2 ชนิด จะกล่าวในบทต่อไป

1.2.2 เครื่องรับ (Receiver) ทำหน้าที่รับสัญญาณแสง จากนั้นเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า เครื่องรับประกอบด้วยอุปกรณ์รับแสงและขยายกำลัง อุปกรณ์รับแสงที่ใช้ในเครื่องรับสัญญาณมีอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือเอพีดี (Avalanche photodiode: APD) และพินไดโอด (PIN diode) โดยที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง

พินไดโอดมีการพัฒนาใช้เทคโนโลยีแบบเฟต (Field effect transmitter: FET) และแบบเอชอีเอ็มที (Hight effect transmitter mobility transistor: HEMT) ทั้งเอพีดีและพินไดโอด ได้รับการพัฒนาควบคู่กันขึ้นมา นี้พินไดโอดแบบเฟต (PIN FET) มีวิธีการผลิตที่ง่ายที่สุด โดยในการใช้งานปัจจุบันสามารถรับแสงด้วยอัตราการรับข้อมูลมากกว่า 2 กิกะบิตต่อวินาที

1.2.3 สถานีทวนสัญญาณ (Repeater) สัญญาณแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงจะเกิดการลดทอนหรือสูญเสียสัญญาณตามระยะทางหรือความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นเมื่อถึงระยะหนึ่งสัญญาณจะต่ำมากจนไม่สามารถนำไปใช้งานได้จำเป็นต้องมีสถานีทวนสัญญาณ ระยะทางระหว่างสถานีทวนสัญญาณ (Repeater span) นั้นจะต้องให้มีค่ามากที่สุดเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายให้มากที่สุด องค์ประกอบสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาคือ ส่วนเคเบิลที่เชื่อมโยงระหว่างภาคส่งและภาครับ โดยที่มีความต้องการใช้กำลังส่งสูง ดังนั้นสายเคเบิลที่ใช้ควรมีอัตราการลดทอนต่ำและความไวของภาครับ (Receiver sensitivity) สูง

1.3 ข้อดีและข้อเสียของการสื่อสารใยแสง

การสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากข้อดีการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่มีอยู่มาก อย่างไรก็ตามการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงก็ยังคงมีข้อเสียอยู่เช่นกัน

ชนก ท่วมจร (2552) ได้กล่าวถึงข้อดีของการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงไว้ว่า การสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงมีจุดเด่นคือสามารถส่งสัญญาณหลายๆ ช่องไปได้พร้อมกัน โดยใช้เทคนิคการรวมสัญญาณ (Multiplexing) วิธีรวมสัญญาณที่นิยมใช้คือการรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่นหรือดับเบิ้ลยูดีเอ็ม (Wavelength division multiplexing: WDM) เป็นการส่งสัญญาณแต่ละช่องด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่ามหาศาลเมื่อเทียบกับการสื่อสารผ่านสายทองแดงแบบเดิม จุดเด่นของการสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง ได้แก่

1) ใช้ส่งข้อมูลข้ามทวีป ผ่านเคเบิลใยแก้วใต้น้ำ เนื่องจากมีการสูญเสียสัญญาณต่ำกว่าสัญญาณไฟฟ้า ทำให้ใช้สถานีทวนสัญญาณน้อยส่งสัญญาณได้ระยะทางไกล จึงมีความคุ้มค่าสูง

2) ส่งข้อมูลได้มหาศาลในเวลาเดียวกันเมื่อเทียบกับการสื่อสารผ่านสายทองแดง เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารทางแสงนั้นเมื่อรวมกันของข้อมูลหลายๆ ช่องสัญญาณมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณต่ำ

3) ไม่มีผลกระทบจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถติดตั้งได้ในบริเวณที่มีไฟฟ้าแรงสูง หรือฟ้าผ่าเกิดขึ้นบ่อยครั้ง

4) ข้อมูลรั่วไหลได้ยาก การลักลอบขโมยสัญญาณจากระบบใยแก้วนำแสงทำได้ยาก

กรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 262) ได้กล่าวถึงข้อดีของการสื่อสารทางแสงไว้ว่า สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้เพราะเป็นการส่งคลื่นไปแบบใช้สาย จึงมีการให้ความสำคัญด้านการพัฒนาอย่างมากทั้งในด้านการสร้างเส้นใยแก้วนำแสง อุปกรณ์แปลงสัญญาณ และอื่นๆ จึงส่งผลดีต่อระบบสื่อสารใยแสงขึ้นหลายประการ เช่น สามารถทำให้มีการสูญเสียกำลังจากการเดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงน้อยลงมาก อุปกรณ์กำเนิดแสงที่มีการแตกกระจายของแสงน้อยลง ทำให้สามารถมีแบนด์วิดธ์ (Bandwidth) ของสัญญาณที่กว้างขึ้นเพราะมีการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่น้อย และอื่นๆ ซึ่งเมื่อรวมกับข้อดีอื่นๆ เช่น การที่แสงมีสเปคตรัมที่กว้างมาก เส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ไม่มีการรบกวนจากการเหนี่ยวนำ เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงไม่ใช่โลหะ ดังนั้นเส้นใยแก้วนำแสง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

จึงไม่เป็นสนิม ไม่ผุกร่อน และการที่อุปกรณ์ที่ใช้ทำเส้นใยแก้วนำแสงสามารถหาได้ง่ายและมีราคาถูก เช่น ในกรณีที่ใช้ซิลิกอนออกไซด์ซึ่งมีมากในธรรมชาติเพราะเป็นสารในทราย เป็นต้น

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์ (2555, หน้า 2) ได้กล่าวถึงข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงไว้ว่า

1) อัตราการสูญเสียสัญญาณที่ต่ำ และความสามารถในการรองรับแบนด์วิดธ์ของข่าวสารได้กว้างหมายความว่า การใช้เส้นใยแก้วนำแสงนั้นสามารถเดินสายได้ระยะไกลว่าจึงลดจำนวนสถานีทวนสัญญาณลงได้

2) ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดใกล้เคียงกับเส้นผมของคน ดังนั้นการผลิตเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบหลายแกนจึงสามารถทำได้ ทำให้การขนย้ายและติดตั้งมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น

3) ผลของสัญญาณรบกวน เนื่องจากการเดินทางของคลื่นแสงในเส้นใยแก้วนำแสง เป็นการเดินทางอยู่ภายในแกนกลางของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งในทางอุดมคตินั้นจะไม่มีสัญญาณแสงออกมาภายนอกเลย อีกทั้งไม่มีผลกระทบในด้านการรบกวนหรือแทรกแซงในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆ ทำให้การผิดเพี้ยนของข้อมูลมีน้อยมาก

4) ความเป็นฉนวนไฟฟ้า เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงผลิตจากวัสดุที่เป็นแก้วที่มีคุณสมบัติทางธรรมชาติเป็นฉนวน ทำให้ไม่ต้องกังวลในเรื่องของการลัดลงกราวด์ และการเหนี่ยวนำระหว่างสายกันเอง

5) ความปลอดภัยของข่าวสาร เนื่องจากการลักลอบข่าวสารจากเส้นใยแก้วนำแสงนั้นไม่สามารถทำได้ จึงทำให้เชื่อได้ว่าการรับ-ส่งข่าวสารในระบบมีความปลอดภัยสูงมาก ซึ่งหากจะมีการลักลอบข่าวสารสามารถได้วิธีเดียวคือ ตัดเส้นใยแก้วนำแสงแล้วต่อพวงอุปกรณ์แยกสัญญาณเท่านั้น

สรุปได้ว่าจากข้อดีและข้อเสียของการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่ได้กล่าวมาเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงประโยชน์ที่ได้กับข้อเสียของการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วแสงที่เกิดขึ้นแล้วจะเห็นได้ว่าเส้นใยแก้วนำแสงมีข้อดีมากกว่า เหมาะอย่างยิ่งกับการสื่อสารแบบประจำที่ทำให้ในปัจจุบันการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเป็นที่นิยมในการใช้งานมากขึ้น ทั้งในด้านการสื่อสารโทรคมนาคมและด้านโทรทัศน์ โดยหน่วยงานทางด้านโทรคมนาคมทั้งภาครัฐและเอกชนได้นำเอาเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้ในการวางโครงข่ายเกือบทั้งหมดแล้ว

1.4 แนวโน้มการพัฒนาการสื่อสารใยแสง

ปัจจุบันเส้นใยแก้วนำแสงเป็นที่ได้ยินกันมากขึ้น กลายเป็นระบบการสื่อสารที่อยู่ใกล้ตัว ทั้งนี้ผู้ให้บริการด้านโครงข่ายโทรคมนาคมหลายบริษัท ได้นำโครงข่ายใยแก้วนำแสงมาใช้แทนระบบเดิมเกือบทั้งหมด เพื่อรองรับความต้องการด้านการสื่อสารข้อมูลที่มีมากขึ้น ในปัจจุบันการพัฒนาการสื่อสารใยแก้วนำแสงนั้น แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักที่มีผลทำให้เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงก้าวหน้ามาถึงปัจจุบัน ได้แก่ การพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสง และการพัฒนาอุปกรณ์กำเนิด/รับแสง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

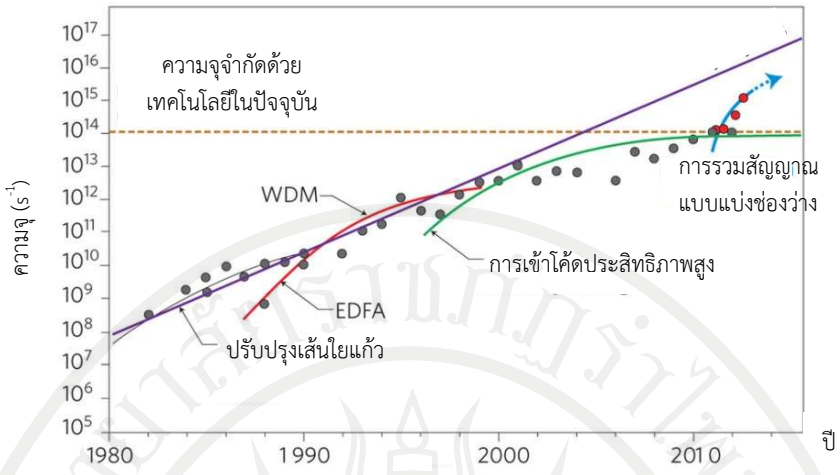
1.4.1 การพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสง

วิทยาลัยอาชีวศึกษาเซนต์จอห์น (2555) ได้กล่าวไว้ว่าการพัฒนาเส้นใยแสงให้มีค่าต่ำสุดนั้น ประสบความสำเร็จรวดเร็วมากกล่าวคือ ปี ค.ศ.1972 การสูญเสียลดลงเหลือ 7 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ปี ค.ศ. 1973 ลดลงเป็น 2.5 เดซิเบลต่อกิโลเมตร และในปี ค.ศ. 1976 ลดลงเป็น 0.47 เดซิเบลต่อกิโลเมตร นอกจากนั้นในปี ค.ศ. 1979 ก็สามารถทำให้ลดลงเป็น 0.2 เดซิเบลต่อกิโลเมตร หมายความว่าในปัจจุบันสามารถผลิตเส้นใยแสงที่มีการสูญเสียต่ำ จนกระทั่งเข้ามาใกล้ขีดจำกัดทางทฤษฎีของเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำด้วยแก้วที่ทำจากซิลิกาแล้ว เส้นใยแก้วนำแสงที่มีการสูญเสียแสง 0.2 เดซิเบลต่อกิโลเมตรนี้ สามารถที่จะส่งได้ไกล 15 กิโลเมตร กำลังของแสงจึงจะตกลงเป็นครึ่งหนึ่ง ถ้าเป็นกระจกหน้าต่างธรรมดาจะส่งได้ไม่กี่เซนติเมตร แม้แต่แก้วในงานทางแสง (Optical glass) ก็สามารถส่งได้ไกลเพียงไม่กี่เมตร ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเส้นใยแก้วนำแสงมีความใสมาก ประวัติพัฒนาการของเส้นใยแก้วนำแสง แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ประวัติการพัฒนาการสื่อสารใยแสง
ที่มา: ชมรมไฟฟ้าสื่อสาร ไอทริเปิลอี, ม.ป.ป.

พ.ศ. 2509 (ค.ศ.1966)	เค ซี เกา (K . C. Kao) และจี เอ ฮอกแฮม (G. A. Hockham) คิดค้นและนำเสนอเส้นใยนำแสง ที่ทำมาจากแก้วเพื่อการใช้งานที่เปรียบเสมือนช่องทางนำสัญญาณแสง
พ.ศ. 2513 (ค.ศ. 1970)	เอฟ พี คาปรอน (F. P. Kapron) ดี บี เค็ก (D. B. Keck) และอาร์ ดี มอเรอร์ (R. D. Maurer) สามารถพัฒนาเส้นใยนำแสงให้มีค่าความสูญเสียที่ 20 เดซิเบลต่อกิโลเมตรได้สำเร็จ
	ไอ ฮายาชิ (I. Hayashi) และนักวิจัยจากเบลล์แล็ปประสบความสำเร็จในการสาธิตการส่งสัญญาณโดยใช้เลเซอร์ที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ
พ.ศ.2531 (ค.ศ. 1988)	บริษัทเอทีแอนด์ทีได้เริ่มทดสอบระบบการสื่อสารด้วยแสงแบบใต้น้ำ (Undersea) ซึ่งได้พัฒนาไปใช้งานกับโครงการเชื่อมโยงข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกโดยใช้เส้นใยนำแสง ภายใต้โครงการทีเอที-ลำดับที่แปด

ริชาดสัน ดี เจ (Richardson, D. J. 2013, หน้า 354) ได้นำเสนอวิวัฒนาการด้านความสามารถในการส่งข้อมูล (Transmission capacity) ของเส้นใยแก้วนำแสงไว้ดังภาพที่ 1.3 จากภาพจะเห็นว่าจำนวนของข้อมูลที่สามารถส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสง 1 เส้น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 เป็นต้นมานั้นเพิ่มขึ้นประมาณเป็น 10 เท่าในแต่ละปี ทั้งนี้เป็นเพราะการพัฒนาเทคโนโลยีด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารใยแสง ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาตัวเส้นใยแก้วนำแสงเองให้มีการสูญเสียที่ต่ำ การพัฒนาอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงหลายความถี่อีดีเอฟเอ (EDFA) การพัฒนาเทคนิคการรวมสัญญาณแบบดับเบิลยูดีเอ็ม และการเข้ารหัสสัญญาณ รวมถึงประมวลผลสัญญาณที่มีประสิทธิภาพ เหล่านี้ล้วนทำให้การส่งข้อมูลไปในเส้นใยแก้วนำแสงสามารถส่งได้ครั้งละมหาศาล และในอนาคตก็มีแนวโน้มที่การสื่อสารใยแสงจะสามารถส่งข้อมูลได้มากขึ้นเรื่อยๆ

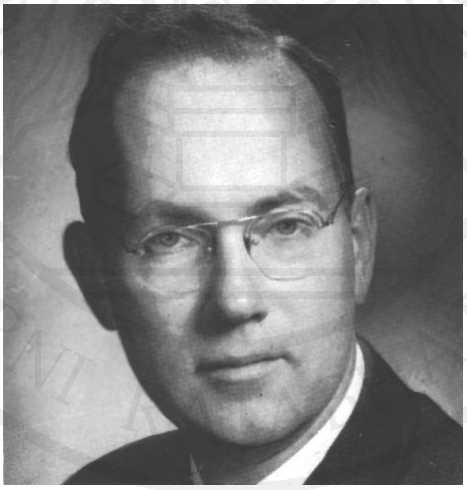


ภาพที่ 1.3 วิวัฒนาการด้านความสามารถในการส่งข้อมูลของเส้นใยแก้วนำแสง
ที่มา: Richardson, D. J. Fini, J. M. and Nelson, L. E., 2013

1.4.2 การพัฒนาเลเซอร์

เลเซอร์เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงสำคัญที่ใช้ในระบบการสื่อสารใยแสง โดยพลังงานจากแสงเลเซอร์มีคุณสมบัติที่หลากหลายขึ้นอยู่กับการออกแบบและการนำไปใช้งาน

สภาวิศวกร (2553) ได้กล่าวถึงการค้นพบของเลเซอร์ไว้ว่า การค้นพบเลเซอร์เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2597 โดย ซี. เอช. ทาวน์ส (C.H. Townes) ได้เสนอเป็นหลักการหรือทฤษฎีเกี่ยวกับเลเซอร์เอาไว้ ซึ่งผลงานในครั้งนั้นทำให้เขาได้รับการประกาศเกียรติคุณให้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี พ.ศ. 2507



ภาพที่ 1.4 ซี. เอช. ทาวน์ส
ที่มา: สภาวิศวกร, 2553

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แทน เชียงแขก (2548) ได้กล่าวถึงการพัฒนาของเลเซอร์ไว้ว่า เลเซอร์ถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี พ.ศ. 2503 (ค.ศ.1960) ด้วยสารที่เป็นแก๊ส เรียกว่า เลเซอร์แก๊ส ประดิษฐ์ได้ในปี พ.ศ. 2504

แต่ความต้องการในงานสื่อสารนั้น ต้องการเลเซอร์สารกึ่งตัวนำที่มีขนาดเล็กและเปลี่ยนไฟฟ้าให้เป็นแสงได้ดี แต่อย่างไรก็ตามเลเซอร์สารกึ่งตัวนำที่ผลิตได้ในปี พ.ศ. 2503 นั้นมีอายุการใช้งานสั้นมากเพียงไม่กี่ชั่วโมง ยิ่งกว่านั้นถ้าหากต้องการให้มันปล่อยแสงต่อเนื่องกันจำเป็นจะต้องรักษาสภาพอุณหภูมิให้ต่ำมากๆ เอาไว้ (ประมาณ -200 C) ด้วยเหตุนี้จึงไม่เหมาะที่จะมาใช้กับงานการสื่อสาร ในปี พ.ศ. 2513 ประเทศอเมริกาประสบผลสำเร็จในการผลิตเลเซอร์สารกึ่งตัวนำด้วย Ga.Al.As (Gallium aluminium arsenide) สามารถทำงานที่อุณหภูมิปกติและปล่อยแสงอย่างต่อเนื่องกันได้ จากนั้นมาการพัฒนาเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ ให้มีอายุการใช้งานนานขึ้นก็ประสบผลสำเร็จก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ปี พ.ศ. 2523 อายุการใช้งานของมันมีค่ามากกว่า 100,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 12-13 ปี

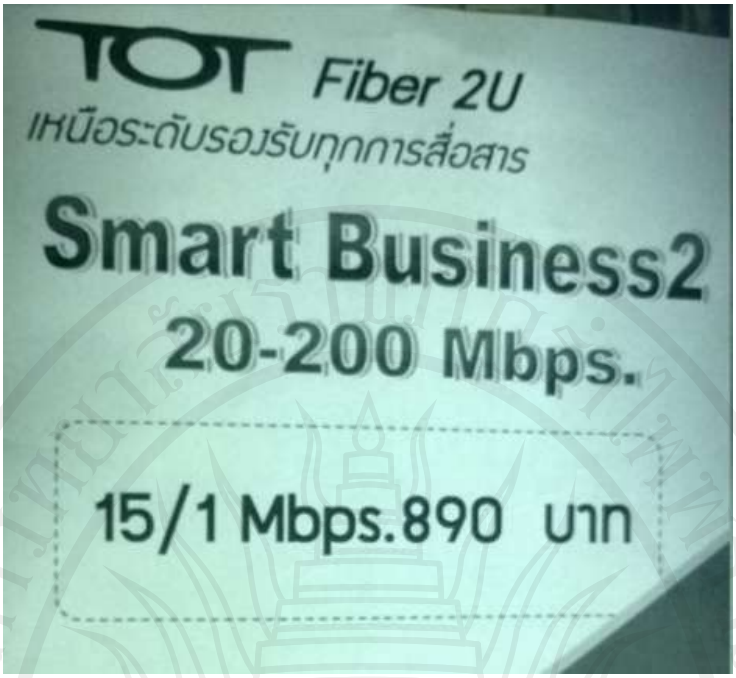
ในปีพ.ศ. 2523 นั้นเป็นปีเริ่มต้นของการสื่อสารเส้นใยแสง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นปีที่ประสบผลสำเร็จในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงที่นำมาใช้งานได้ และประสบความสำเร็จในการสร้างเลเซอร์สารกึ่งตัวนำที่ทำงานปล่อยแสงอย่างต่อเนื่องกัน สิ่งสำคัญ 2 อย่างที่เป็นตัวเปลี่ยนยุคของการสื่อสารมาเป็นการสื่อสารใยแสง

1.4.3 การสื่อสารใยแสงในประเทศไทย

ชนก ท่วมจร (2552) ได้กล่าวถึงการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงในประเทศไทยว่า สื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงของประเทศไทยในปัจจุบัน มีบริษัทเอกชนที่รับผลิตอุปกรณ์สื่อสารใยแก้วนำแสงเพื่อการส่งออกไปยังส่วนต่างๆของโลก โดยเฉพาะเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่ส่งอุปกรณ์เข้าสู่ประเทศจีนในช่วงปี พ.ศ. 2549-2250 เพื่อใช้ในงานกีฬาโอลิมปิกที่ปักกิ่งเมื่อปี พ.ศ.2551 นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีสถานีเชื่อมต่อเครือข่ายใยแก้วนำแสงใต้น้ำ เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างทวีปเข้าสู่เครือข่ายภายในประเทศ โดยมีสถานีดูแลเคเบิลใต้น้ำใยแก้วนำแสง 4 สถานีเป็นผู้ดูแล คือ ชลี1-เพชรบุรี ชลี2-สงขลา ชลี 3-ศรีราชา และชลี 4-ปากบารา สตูล สำหรับการใช้งานการสื่อสารภายในประเทศก็เริ่มปรับเปลี่ยนจุดเชื่อมต่อเป็นระบบใยแก้วนำแสงทั้งหมดแล้วเช่นกัน

เส้นใยแก้วนำแสงได้มีการนำมาใช้ในระบบการสื่อสารอินเตอร์เน็ตความเร็วสูงมากขึ้น โดยผู้ให้บริการอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง ได้วางโครงข่ายหลักด้วยเคเบิลใยแก้วนำแสงทั้งหมดแล้ว และเริ่มปรับเปลี่ยนการให้บริการอินเตอร์เน็ตตามบ้าน ให้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงแทนการใช้สายทองแดง ดังภาพที่ 1.5 ทำให้ผู้บริโภคสามารถใช้บริการการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงได้มากขึ้นรองรับการใช้บริการสื่อมัลติมีเดียได้ดีขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 1.5 ป้ายประชาสัมพันธ์อินเตอร์เน็ตความเร็วสูง
ที่มา: ทีโอทีจำกัด จำกัด, 2557

1.4.4 พื้นฐานระบบเส้นใยนำแสงสู่บ้าน

ระบบเส้นใยแสงสู่บ้าน (Fiber to the home: FTTH) เป็นระบบการให้บริการอินเตอร์เน็ตความเร็วสูงในปัจจุบัน

อธิคม ฤกษบุตร (ม.ป.ป.) ได้กล่าวถึงระบบเส้นใยนำแสงสู่บ้านนำมาใช้เพื่อเชื่อมโยงสายส่งสัญญาณด้วยเส้นใยแก้วนำแสงไปสู่บ้านผู้เช่าโดยตรงเริ่มขึ้นประมาณปี (พ.ศ. 2513) แต่เนื่องจากระบบและเส้นใยนำแสงมีราคาสูงเมื่อเทียบกับระบบสายส่งทองแดง โดยเฉพาะการเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงสู่บ้านผู้เช่าโดยตรง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนในส่วนนี้จึงมีการพัฒนาระบบเอฟทีทีซี (Fiber to the curb: FTTC) และเอชเอฟซี (Hybrid fiber/coax: HFC) โดยระบบเอฟทีทีซีและเอชเอฟซีจะใช้ระบบสายส่งสัญญาณแบบผสม คือการนำเส้นใยแก้วนำแสงและสายส่งทองแดงมาใช้งานร่วมกันภายในโครงข่ายการทำงานของระบบเอฟทีทีซี จะใช้สายส่งเส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมโยงระหว่างโครงข่ายและหัวถนนหรือปากทางเข้าหมู่บ้านเท่านั้น แต่ในส่วนของสายส่งที่เข้าถึงบ้านผู้เช่าหรือผู้ใช้บริการจะเป็นสายทองแดง ทำให้ระบบเอฟทีทีซีและเอชเอฟซีมีราคาถูกกว่าระบบเอฟทีทีเอชมาก แต่ในขณะเดียวกันก็สามารถให้บริการข้อมูลความเร็วสูงได้เนื่องจากโครงข่ายส่วนใหญ่ใช้เส้นใยนำแสงเป็นท่อนำสัญญาณ ดังนั้นจึงมีการใช้ระบบเอชเอฟซีมากกว่าเอฟทีทีซี เนื่องจากระบบสายส่งมีส่วนประกอบของสายส่งทองแดงมากกว่าจึงทำให้มีราคาถูก ตัวอย่างของระบบเอชเอฟซีที่นำมาใช้ในประเทศไทย ได้แก่ ระบบเคเบิลทีวี (ส่วนของเคเบิลไม่ใช่ส่วนของการรับสัญญาณผ่านดาวเทียม) เป็นต้น แต่เมื่อมีการพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ต จึงทำให้ความต้องการการสื่อสารข้อมูลและปริมาณผู้ใช้ที่ต้องการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงเริ่มมีมากขึ้น เช่น กลุ่มผู้ใช้ที่เป็นธนาคารต้องการเชื่อมโยงระบบสื่อสารข้อมูลระหว่างสาขาที่อยู่ในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศ เป็นต้น ดังนั้นผู้ให้บริการจึงได้นำระบบบริการสื่อสารร่วมแบบดิจิทัล (Integrated services digital network: ISDN) เข้ามาใช้ โดยมีระบบการทำงานสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัลทำให้ข้อมูลต่างๆ ที่มีลักษณะพื้นฐานไม่เหมือนกัน

สามารถสื่อสารร่วมกันได้เนื่องจากข้อมูลทุกประเภทจะถูกทำให้เป็นดิจิทัล จึงมีสถานะเพียงสองระดับ คือ ศูนย์ “0” และหนึ่ง “1” เท่านั้น ดังนั้นข้อมูลทุกชนิดจึงถูกระบบมองเห็นเป็นแบบเดียวกันหมด ทำให้สื่อสารร่วมกันได้ นอกจากนี้ระบบไอเอสดีเอ็น ยังถูกออกแบบให้ใช้สายส่งเส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมโยงไปยังบ้านผู้เช่าหรือสำนักงานได้โดยตรง โดยผู้เช่าสามารถแจ้งความจำนงและเสียค่าบริการเฉพาะก็สามารถใช้งานได้ สำหรับผู้ใช้บริการที่ต้องการสื่อสารข้อมูลส่วนตัวด้วยท่อสัญญาณขนาดใหญ่สามารถทำได้ด้วยการเช่าสายส่ง (Leased line) ที่เป็นเส้นใยนำแสง

ระบบเส้นใยแก้วนำแสงสู่บ้านหรือเอฟทีทีเอช มีพื้นฐานมาจากระบบไอเอสดีเอ็น ที่มีการใช้เส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมโยงไปยังบ้านผู้เช่า แต่ไอเอสดีเอ็นจะเน้นระบบสลับสายหรือสวิตชิ่ง (Switching) ประกอบกับการเช่าคู่สายเส้นใยแก้วนำแสง เพื่อขอใช้บริการมีราคาสูงทำให้ระบบไอเอสดีเอ็นไม่เป็นที่นิยมของผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตที่เป็นผู้ใช้ปลายทางทั่วไป แต่เนื่องจากปริมาณการสื่อสารข้อมูลที่เพิ่มขึ้น จึงมีการพัฒนาระบบเอดีเอชแอล (Asynchronous digital subscriber loop: ADSL) ขึ้นเพื่อให้ผู้เช่าสามารถใช้สายส่งทองแดงเดิมได้ในขณะเดียวกันก็สามารถสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงได้ในอัตราค่าบริการที่ไม่สูงนัก แต่เนื่องจากระบบเอดีเอชแอล มีปัญหาในการให้บริการด้านการสื่อสารข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ เช่น ข้อมูลภาพนิ่งที่มีความละเอียดสูงและ ข้อมูลภาพเคลื่อนไหว จึงทำให้เกิดการแข่งขันในการให้บริการแบบบรอดแบนด์ (Broadband) มากยิ่งขึ้นตามมา ประกอบกับเทคโนโลยีของระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงมีการพัฒนามากขึ้น จึงทำให้ระบบสื่อสารใยแสงมีราคาถูกลง ดังนั้นจึงได้มีการนำเทคโนโลยีเอฟทีทีเอชเข้ามาใช้สำหรับการให้บริการข้อมูลที่มีความเร็วสูง

1.5 สรุป

การสื่อสารใยแสงนั้นมีการคิดค้นมานานแต่ได้มีการพัฒนาอย่างจริงจังมาตั้งแต่ กลางถึงปลายคริสต์ทศวรรษที่ 1960 แม้ว่าในการผลิตจะมีขั้นตอนที่ซับซ้อนกว่า และความเปราะปรางของเส้นใยแก้วนำแสง แต่ความสามารถในการส่งข้อมูลของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นก็มีอยู่มากกว่า ทั้งแบนด์วิดธ์ที่มากกว่า อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ได้สูงกว่า และมีการสูญเสียของสัญญาณน้อยกว่า ทำให้มีการลงทุนเพื่อพัฒนาระบบโครงข่ายใยแก้วนำแสงมาใช้ในระบบการสื่อสารมากยิ่งขึ้น ปัจจัยที่ทำให้การสื่อสารใยแสงพัฒนาได้นั้น ประกอบด้วย 2 ด้านหลักๆ คือการพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสงเอง และการพัฒนาอุปกรณ์กำเนิดแสง รองรับความต้องการใช้การสื่อสารข้อมูลที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในปัจจุบันการพัฒนาการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงนั้น นอกจากจะมีการพัฒนาให้ตัวเส้นใยแก้วนำแสงมีการสูญเสียที่ต่ำแล้ว การพัฒนาอุปกรณ์กำเนิดแสงก็เป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้การสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงพัฒนา สำหรับในประเทศไทยการสื่อสารใยแสงได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นผ่านระบบอินเตอร์ความเร็วสูงที่เรียกว่าเอฟทีทีเอช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แบบฝึกหัดบทที่ 1

1. จงสรุปข้อดีและข้อเสียของการสื่อสารใยแสง
2. จงอธิบายหลักของระบบการสื่อสารใยแสง
3. จงบอกทิศทางการสื่อสารใยแสงในประเทศไทย
4. เหตุใดจึงนิยมใช้เคเบิลใต้น้ำในการสื่อสารข้ามทวีป
5. การสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงเกิดจากการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง 2 ด้าน ได้แก่เทคโนโลยีใดบ้าง
6. การอุปกรณ์กำเนิด/รับแสงเป็นอุปกรณ์ที่สร้างมาจากวัสดุชนิดใด
7. แนวโน้มของการพัฒนาการสื่อสารใยแสงเป็นอย่างไร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารอ้างอิง

กรมการสื่อสารทหาร. (ม.ป.ป.). **ระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง.** กรุงเทพฯ : ผู้แต่ง.

ชนก ท่วมจร. (2009). **การสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.vcharkarn.com. สิงหาคม 2557.

ชมรมไฟฟ้าสื่อสาร ไอทริเปิลอี. (ม.ป.ป.). **การสื่อสารเชิงแสงและการสื่อสารผ่านดาวเทียม ในสารานุกรมโทรคมนาคมไทย.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Principle_of_Optical_Communications/index.php. สิงหาคม 2557.

ทีโอทีจำกัด. (2557). **แพคเก็ตอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://pantip.com/topic/31884348. สิงหาคม 2557.

แทน เชียงแขก. (2548). **สื่อการสอน เส้นใยแสง (Optical fiber).** เชียงราย: แผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพเทิง.

วิทยาลัยอาชีวศึกษาเซนต์จอห์น. (2555). **การสื่อสารใยแสง.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://wiki.stjohn.ac.th. สิงหาคม 2557.

สภาวิศวกร. (2553). **แสงเลเซอร์.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.coe.or.th/e_engineers/knc_detail.php?id=130. สิงหาคม 2557

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์. (2555). **การสื่อสารใยแก้วนำแสง.** กรุงเทพ: ทริปเปิ้ล กรุ๊ป

อธิคม ฤกษบุตร. (ม.ป.ป). **พื้นฐานระบบเส้นใยนำแสงสู่บ้าน ในสารนุกรมโทรคมนาคมไทย.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Fiber_To_The_Home_FTTH. สิงหาคม 2557.

Richardson, D. J. Fini, J. M. and Nelson, L. E. (2013). Space-division multiplexing in optical fibres. **Nature Photonics,** vol 7, 354–362.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 2

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 2 คุณสมบัติของแสงและเส้นใยแก้วนำแสง

2.1 แสง
2.2 เส้นใยแก้วนำแสง
2.3 ค่าขนาดช่องรับแสง
2.4 โหมดการเดินทางของคลื่นแสง
2.5 แบนด์วิดธ์
2.6 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อศึกษาบทที่ 2 แล้วนักศึกษาสามารถ
1. อธิบายถึงหลักการสะท้อนและการหักเหของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงได้
2. อธิบายถึงลักษณะของเส้นใยแก้วนำแสงได้
3. อธิบายถึงชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงได้
4. อธิบายถึงคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละชนิดได้
5. คำนวณหาค่าคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงได้

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. บรรยายพร้อมยกตัวอย่างประกอบ
2. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถามข้อสงสัย
3. ซักถามความเข้าใจของผู้เรียนแบบปากเปล่าและแบบฝึกหัดท้ายบท
4. ศึกษาจากเอกสารประกอบการสอน

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อนำเสนอด้วยพาวเวอร์พ้อย
2. สื่อวีดิโอ ประกอบ
3. เอกสารประกอบการสอนที่จัดพิมพ์โดยผู้สอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน
2. สังเกตจากการตอบคำถามแบบปากเปล่า
3. สังเกตจากการทำแบบฝึกหัดท้ายบท
4. คะแนนจากแบบทดสอบย่อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทที่ 2
คุณสมบัติของแสงและเส้นใยแก้วนำแสง

ระบบการสื่อสารใยแสงนั้นจะใช้แสงเป็นตัวกลางในการพาข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง โดยจะทำการป้อนสัญญาณแสงให้เดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยการอาศัยหลักการสะท้อนและหักเหของแสงซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์ของคลื่นโดยทั่วไป เพื่อให้แสงสามารถเดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสงไปได้ รูปแบบการส่งสัญญาณแสงไปในเส้นใยแก้วนำแสงหรือที่เรียกว่าโหมดการส่งสัญญาณมีอยู่หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน เส้นใยแก้วนำแสงส่วนใหญ่จะผลิตมาจากวัสดุประเภทซิลิกาเป็นหลัก แต่อาจจะมีการเจือปนสารชนิดอื่นไปด้วยเพื่อเป็นการปรับค่าดัชนีการหักเหของแสงให้เป็นไปตามต้องการ หรือสร้างมาจากวัสดุประเภทพลาสติกเพื่อเป็นการลดต้นทุนในกรณีของการสื่อสารระยะใกล้

ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการที่ทำให้แสงสามารถเดินทางเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง อธิบายถึงลักษณะเส้นใยแก้วนำแสง และการแบ่งประเภทของเส้นใยแก้วนำแสง

2.1 แสง

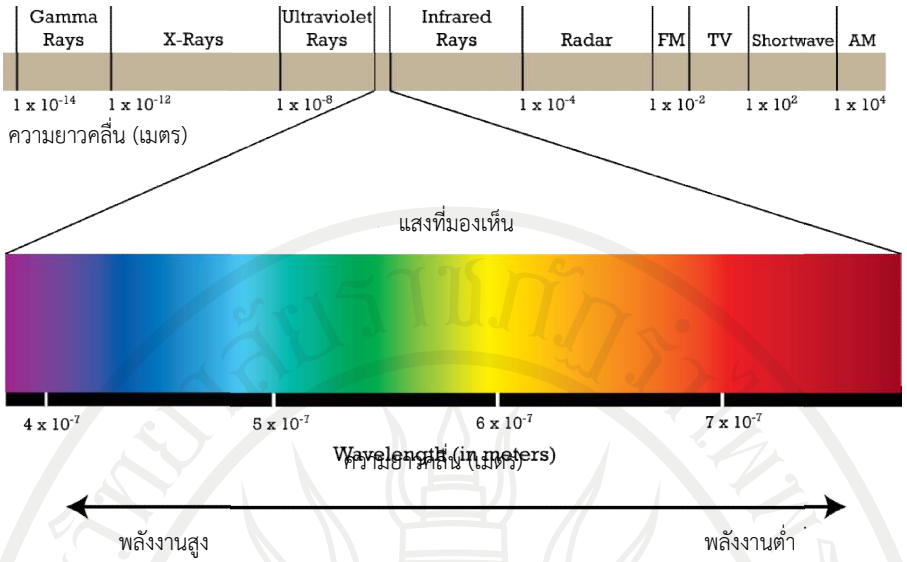
ในระบบการสื่อสารด้วยแสงข้อมูลจะถูกผสมเข้ากับสัญญาณแสง แล้วส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นการศึกษาถึงคุณสมบัติของแสงจะเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้สามารถเข้าใจถึงการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงได้

พัชรินทร์ ดวงแก้ว และเครือวัลย์ วงค์ปัญญา (ม.ป.ป.) ได้กล่าวถึงหลักการของแสงไว้ว่า ธรรมชาติของแสงนั้นสามารถแสดงพฤติกรรมเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค กรณีที่แสงแสดงพฤติกรรมเป็นคลื่นเรียกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ซึ่งจะประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าตั้งฉากกัน ตามปกติแสงจะเดินทางเป็นเส้นตรงแต่เมื่อมีสิ่งกีดขวางแสงจะมีการเปลี่ยนทิศทางไปเรียกว่าการสะท้อน และถ้าแสงเดินทางผ่านตัวกลางสองชนิดที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของแสง ซึ่งเป็นหลักการที่ใช้ในการอธิบายว่าจะสามารถส่งสัญญาณแสง (Optical signal) ออกไปยังช่องสัญญาณที่เป็นเส้นใยนำแสงได้อย่างไร เมื่อคลื่นแสงเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรูเปิดเล็กๆ หรือช่องแคบที่ปล่อยให้คลื่นแสงผ่านไปได้เรียกว่าการเลี้ยวเบน ส่วนการแทรกสอดจะเกิดจากการที่คลื่นแสงสองขบวนเคลื่อนที่มาพบกันเกิดการเสริมกันและหักล้างกัน โดยแหล่งกำเนิดแสงต้องให้กำเนิดแสงความถี่เดียวกัน และความยาวคลื่นเท่ากัน

แสงเดินทางผ่านอากาศด้วยความเร็ว 300 ล้านเมตรต่อวินาที และมีความถี่อยู่ในย่านที่ตามองเห็น (Visible light) บางครั้งอาจรวมถึงแสงอินฟราเรด (Infrared light) และอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) ส่วนกรณีที่แสงแสดงพฤติกรรมเป็นอนุภาคนั้นจะเรียกว่าโฟตอน (Photon) ซึ่งสมบัติของแสงที่แสดงพฤติกรรมเป็นอนุภาคนี้ จะใช้ในการอธิบายว่าแหล่งกำเนิดแสงกำเนิดสัญญาณแสงได้อย่างไร และตัวตรวจจับแสงที่ภาครับ สามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างไร

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์ (2555, หน้า 8) ได้กล่าวถึงคลื่นแสงไว้ว่า สำหรับความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในระบบการสื่อสารใยแสงในปัจจุบันมีอยู่ 3 ย่านด้วยกัน คือ 850 1310 และ 1550 นาโนเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมของแสง
ที่มา: Infraline, n.d.

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในระบบการสื่อสารทางแสง ความถี่ที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง 300,000 กิกะเฮิรตซ์หรือที่ความยาวคลื่น 1 ไมครอน ซึ่งเป็นความถี่นี้จะต่ำกว่าความถี่ของแสงที่ตามองเห็นได้ หรือกล่าวได้ว่าแสงที่ใช้ในการสื่อสารทางแสงจะเป็นแสงที่มองไม่เห็นในย่านรังสีอินฟราเรด

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์ (2555, หน้า 8) ได้กล่าวถึงคลื่นแสงไว้ว่าโดยปกติความถี่ของข่าวสารที่อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ในการรับ-ส่งในระบบสื่อสาร มักถูกเรียกในหน่วยเฮิรตซ์ แต่สัญญาณในระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงนั้นเป็นสัญญาณคลื่นแสง ซึ่งมักอ้างอิงด้วยความยาวคลื่นในหน่วยเมตร อย่างไรก็ดีความถี่และความยาวคลื่นแสงมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ (2.1)

$$\lambda = \frac{v}{f} \tag{2.1}$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่นของแสงในหน่วยเมตร
v คือ ความเร็วแสงในตัวกลาง
f คือ ความถี่ในหน่วยเฮิรตซ์

แทน เชียงแขก (2548 ก) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแสงจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางที่แสงเดินทางผ่าน แสงจะมีความเร็วสูงสุดเมื่อเคลื่อนที่ในสุญญากาศ ความเร็วของแสงสุญญากาศจะกำหนดโดยตัวอักษร c และมีค่า 3 x 10^8 เมตรต่อวินาที ตามกฎของไอน์สไตน์ความเร็วนี้เป็นความเร็วสูงสุดที่สามารถสังเกตได้ในการวัดทางกายภาพ เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางอย่างอื่นจะมีความเร็วลดลง ความเร็วของแสงในการเดินทางผ่านตัวกลางอื่นนี้จะกำหนดด้วยตัวอักษร v และมีความสัมพันธ์กับ c ดังสมการที่ (2.2)

$$v = \frac{c}{n} \tag{2.2}$$

เมื่อ n คือค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive index) ในวัสดุตัวกลางที่แสงผ่าน วัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าดัชนีการหักเหที่ต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.1 ตามปกติแล้วแก้วที่ใช้ในการทำเส้นใยแก้วนำแสงจะมีค่าดัชนีการหักเหประมาณ 1.5 หากนำค่าที่กำหนด แทนที่ในสมการความเร็วของแสงในแก้วจะเป็น 200,000 กิโลเมตรต่อวินาที

ตารางที่ 2.1 ค่าดัชนีหักเหของแสงของตัวกลางต่างๆ
ที่มา: กรมการสื่อสารทหาร, ม.ป.ป. : 266

ตัวกลาง	ดัชนีการหักเห
น้ำ	1.33
เอทิลแอลกอฮอล์	1.36
คาร์บอนไดซัลไฟด์	1.63
อากาศ (ที่ความดัน 1 เอทีเอ็ม และ 20 $^{\circ}$C)	1.0003
เมทิลไอโอไดย์	1.74
แก้ว	1.52
โซเดียมคลอไรด์	1.53
พอลิเอทิลีน	1.50-1.54

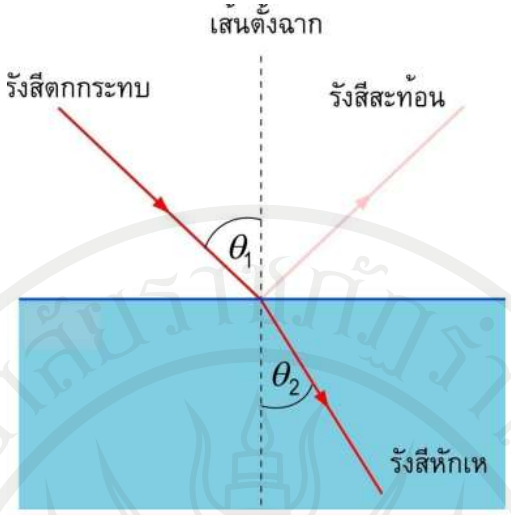
2.1.1 การแพร่กระจายแสง

เนื่องจากแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นเช่นเดียวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แทน เชียงแขก (2548ก) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของแสงไว้ 2 ประการดังนี้

1) แสงเดินทางเป็นเส้นตรง กล่าวคือตามปกติแล้วแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวหรือมีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากัน แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง

2) การสะท้อนและการหักเหของแสง คือ แสงตกกระทบจะหักเหและ/หรือสะท้อนที่รอยต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหที่แตกต่างกัน แสงตกกระทบ แสงสะท้อน และเส้นปกติที่เกิดขึ้น ณ จุดตกกระทบที่รอยต่อของตัวกลางทั้งสองจะอยู่ในระนาบเดียวกัน มุมตกกระทบจะเท่ากับมุมสะท้อนเสมอ แสงตกกระทบ แสงหักเห และเส้นปกติที่เกิด ณ จุดตกกระทบจะอยู่ในระนาบเดียวกันดังภาพที่ 2.2 มุมหักเหจะสามารถคำนวณได้โดยกฎของสเนลล์ (Snell's law)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 2.2 รูปแบบการเดินทางของแสงเมื่อผ่านรอยต่อของตัวกลาง
ที่มา: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิยาลัยมหิดล, 2555

โรงเรียนสตรีอ่างทอง (ม.ป.ป.) ได้อธิบายถึงกฎของเสนลล์ไว้ว่า เป็นกฎที่เกี่ยวข้องกับความเร็วที่แสงตกกระทบและหักเหเข้าไปในตัวกลาง กฎของเสนลล์ได้กล่าวไว้ว่าสำหรับอัตราส่วนของค่าซายน์ (sine) ของมุมในตัวกลางตกกระทบ (ตัวกลางที่ 1 คือ θ_1) ต่อค่าซายน์ของมุมในตัวกลางหักเห (ตัวกลางที่ 2 คือ θ_2) จะมีค่าคงที่เสมอ จากกฎของเสนลล์นี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (2.3)

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \tag{2.3}$$

แทนสมการที่ (2.2) ลงในสมการที่ (2.3) แล้วจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \tag{2.4}$$

ตามกฎของสเนลล์สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของดัชนีหักเหของแสงได้ใหม่ดังสมการที่ (2.5)

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \tag{2.5}$$

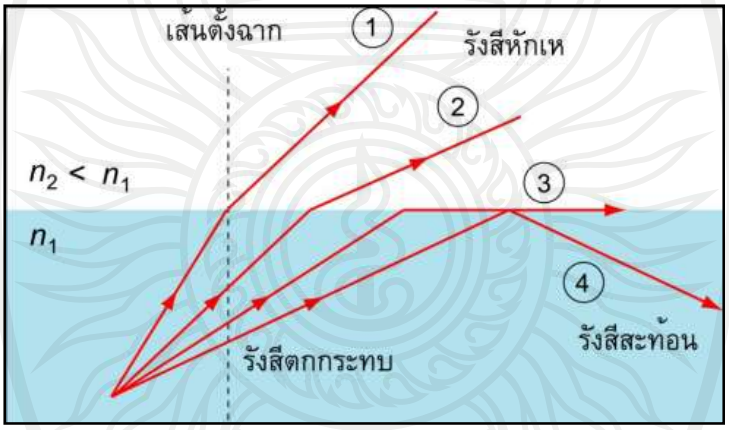
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิยาลัยมหิดล (2555) ได้ให้ข้อสังเกตสำคัญจากกฎของเสนลล์ไว้ว่า เมื่อแสงเปลี่ยนตัวกลางแสงจะเปลี่ยนทิศทางและความเร็วเท่านั้นโดยที่ความถี่ของแสงจะยังมีค่าคงเดิม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.1.2 การสะท้อนกลับหมด

การหักเหของแสงที่รอยต่อระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด ที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกันจะเกิดขึ้นเมื่อมุมที่แสงตกกระทบทำมุมกับเส้นปกตินั้นมีค่าน้อยกว่าค่าของมุมค่าหนึ่งจะสะท้อนกลับของแสงทั้งหมด โดยไม่มีแสงที่หักเหผ่านตัวกลางไปได้เลย การเกิดการสะท้อนกลับหมดแสดงได้ดังภาพที่ 2.3

แทน เชียงแขก (2548ก) ได้อธิบายถึงการสะท้อนกลับหมดไว้ว่า จากกฎของสเนลล์เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงน้อยไปสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมากกว่า จะพบว่าลำแสงนั้นจะเบนเข้าหาเส้นปกติ ในทางกลับกันแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมากไปสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่ำกว่าลำแสงนั้นจะเบนออกจากเส้นปกติ ถ้าแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมากกว่าโดยทำมุม θ_c กับเส้นปกติแล้วทำให้เกิดการหักเหไปตามรอยต่อของตัวกลางทั้ง 2 ชนิด หรือทำมุม 90° กับเส้นปกติ เรียกมุม θ_c นี้ว่า มุมวิกฤต (Critical angle) หากมุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤติ จะทำให้แสงไม่เกิดการหักเหสู่อีกตัวกลางหนึ่งแต่จะสะท้อนกลับเพียงอย่างเดียว เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การสะท้อนกลับหมด (Total internal reflection)



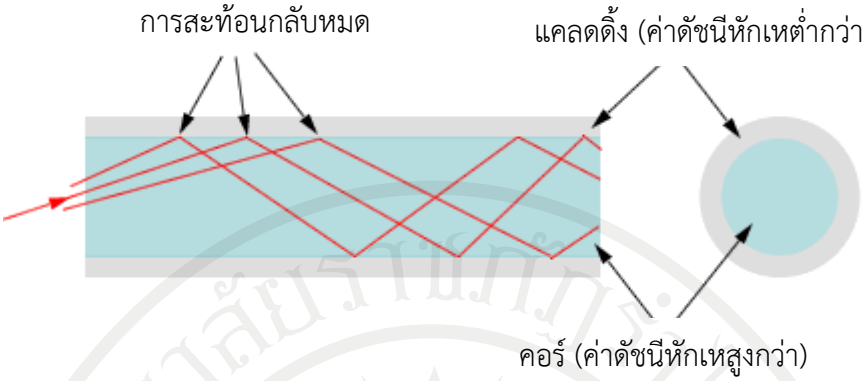
ภาพที่ 2.3 การหักเหของแสงในมุมต่างๆกัน
ที่มา: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิยาลัยมหิดล, 2555

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิยาลัยมหิดล (2555) ได้ให้ความหมายของมุมมุมวิกฤตไว้ว่าเป็นมุมตกกระทบที่ทำให้ไม่เกิดมุมหักเห โดยที่มุมหักเหจะเปรียบเสมือนมุมสะท้อนกลับมาทั้งหมดภายในตัวกลางที่แสงใช้ในการเคลื่อนที่ มุมวิกฤตจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีดัชนีหักเหสูงไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหต่ำเท่านั้น ตามกฎของสเนลล์สามารถหามุมวิกฤตได้ว่า

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \qquad (2.6)$$

สรุปได้ว่าจากหลักการของการสะท้อนกลับหมดเป็นคุณสมบัติของแสงที่ทำให้แสงสามารถเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้ แสดงดังภาพที่ 2.4 โดยในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจึงสร้างให้ค่าดัชนีหักเหของคอร์และแคลดดิ้งมีค่าต่างกันเล็กน้อย เพื่อให้เกิดการสะท้อนกลับหมดของแสง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 2.4 เส้นทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง
ที่มา: Superuser, 2010

ตัวอย่างที่ 2.1 จงหาค่าของดัชนีหักเหของแสงในน้ำ ถ้าเรามองวัตถุจากในอากาศเป็นมุม 30 องศา ซึ่งวัตถุดังกล่าวอยู่ในน้ำ โดยสามารถเห็นวัตถุดังกล่าวในน้ำเป็นมุม 50 องศา (วัดขนาดของมุมจากเส้นแบ่งขอบเขตระหว่างน้ำกับอากาศ)

วิธีทำ

จากสมการที่ (2.5) $$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

มุม θ ในสมการนั้น ต้องเป็นมุมที่รังสีแสงทำกับเส้นปกติ ดังนั้นต้องนำมุมที่โจทย์กำหนดให้ไปลบออกจาก 90° ค่าดัชนีหักเหของอากาศ คือ $n_1 = 1$ แทนค่าลงในสมการ จะได้

$$(1)\sin 60^o = n_2 \sin 40^o$$

$$n_2 = \frac{\sin 60^o}{\sin 40^o}$$

$$n_2 = 1.35$$ ตอบ

2.2 เส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงสร้างมาจากวัสดุโปร่งแสง ซึ่งอาจทำมาจากแก้วหรือพลาสติกใสขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน มีลักษณะเป็นท่อนำแสงทรงกระบอกโปร่งแสง มีขนาดเล็กมากประมาณเส้นผมของคน โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงเส้นหนึ่งๆ จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังภาพที่ 2.5 โดยแต่ละส่วนจะมีหน้าที่ต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง
ที่มา: Schools wikipedia selection, 2007

กรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 274) ได้ให้ความหมายของเส้นใยแก้วนำแสงไว้ว่า ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1) คอร์ (Core) เป็นส่วนที่อยู่ตรงกลาง ซึ่งเป็นตัวนำสัญญาณทำหน้าที่ให้แสงเดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในปัจจุบัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลายขนาดได้แก่ 9 ไมครอน (ไมโครเมตร: μm) 50 ไมครอน และ 62.5 ไมครอน

2) แคลดดิ้ง (Cladding) เป็นสารเคลือบส่วนของคอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวทำให้แสงหักเหของแสงเพื่อให้เส้นใยแก้วนำแสงสามารถนำสัญญาณได้ นิยมเคลือบจนเส้นใยแก้วมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 ไมครอน

3) ฉนวนป้องกัน (Coating หรือ Buffer) เป็นเสมือนผนังของเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลือบให้ปลอดภัยขึ้น และจะใส่สีที่ผนังชั้นนี้ ซึ่งจะเคลือบจนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ไมครอน

4) แจ็คเก็ต (Jacket) ทำหน้าที่ป้องกันส่วนคอร์และแคลดดิ้ง เป็นเสมือนเสื้อนอกที่ใส่ให้เกิดความเรียบร้อย ฉนวนชั้นนี้จะมีความแตกต่างตามการใช้งาน เช่น ภายในอาคาร ภายนอกอาคาร เป็นต้น

พีเพิลฟูเทคโนโลยี (2013) ได้ให้ความหมายของเส้นใยแก้วนำแสงไว้ว่า เส้นใยแก้วนำแสง คือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสงโครงสร้างของเส้นใยแสงประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่าคอร์ และส่วนที่หุ้มคอร์อยู่เรียกว่าแคลดดิ้งทั้งคอร์และแคลดดิ้งเป็นไดอิเล็กตริกใส 2 ชนิด ซึ่งไดอิเล็กตริก หมายถึงสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น แก้ว พลาสติก โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแคลดดิ้งมีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหของคอร์เล็กน้อยประมาณร้อยละ 0.2 - 3 และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงสามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปในคอร์ เดินทางไปได้ นอกจากนั้นเส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดเล็กมากเท่าเส้นผมเท่านั้นหมายถึง ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของแคลดดิ้ง ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.1 มิลลิเมตร. ส่วนคอร์ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกคือประมาณหลายไมครอนถึงหลายสิบไมครอน ซึ่งมีค่าหลายเท่าของความยาวคลื่นของแสงที่ใช้งาน

โดยสรุปแล้ว วัสดุโปรงแสงที่นำมาใช้ทำคอร์และแคลดดิ้งจะต้องมีค่าดัชนีหักเหของแสงแตกต่างกันเล็กน้อย เพื่อให้เกิดการสะท้อนกลับหมดและเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสง ค่าดัชนีหักเหของคอร์จะมากกว่าดัชนีหักเหของแคลดดิ้งเสมอ นอกจากคอร์และแคลดดิ้งที่ทำจากแก้วแล้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เส้นใยแก้วนำแสงจะถูกห่อหุ้มด้วยฉนวนป้องกันชั้นปฐมภูมิ ฉนวนป้องกันชั้นทุติยภาพและไนล่อน เพื่อป้องกันเส้นใยจากการขีดข่วน

การแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงนั้น สามารถแบ่งได้ด้วยเกณฑ์หลายประเภท โดยกรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 274) ได้แบ่งประเภทของเส้นใยแก้วนำแสงไว้ดังนี้

2.2.1 การแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามชนิดของไดอิเล็กตริกที่ใช้

1) เส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างมาจากแก้วซิลิก้า (Silica glass optic fiber) ซึ่งสร้างมาจากวัสดุไดอิเล็กตริกที่เป็นแก้วซิลิกา (SiO_2) ซึ่งนอกจากจะใช้ซิลิกาที่บริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่แล้ว ยังใช้สารอื่นเติมลงไปเพื่อทำให้ค่าดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการ สารอื่นที่เติมลงไปนี้เรียกว่าการโด๊ป (Dopant) ได้แก่ เจอเมเนียม (Ge) โบรอน (B) ฟลูออรีน (F) เป็นต้น สำหรับเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างมาจากซิลิกานิยมใช้ในโครงข่ายการสื่อสารโทรคมนาคมเพราะมีข้อดีคือ การสูญเสียต่ำ และคุณสมบัติการส่งคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

2) เส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างมาจากแก้วหลายชนิด (Multi component glass optic fiber) ซึ่งสร้างมาจากไดอิเล็กตริกที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน ส่วนมากจะใช้แก้วโซดาแคลเซียมที่มีโบรอนซิลิกอนผสมและอื่นๆ เป็นสารหลัก ส่วนสารที่โด๊ป ได้แก่ โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca)

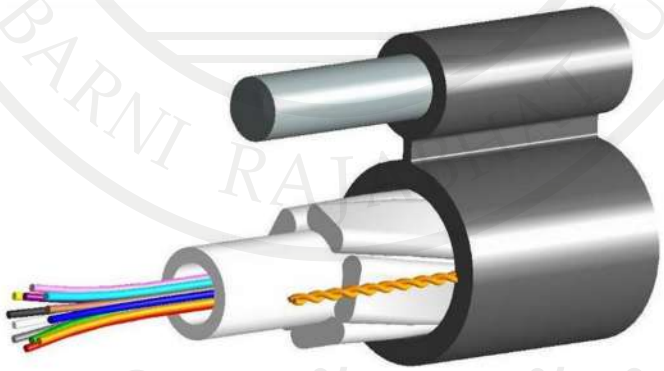
3) เส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างมาจากพลาสติก (Plastic optic fiber) สร้างมาจากไดอิเล็กตริกที่เป็นพลาสติก ซึ่งใช้สารพวกซิลิกอนเรซิน (Acryl resin) เช่น โพลีเมทาเคิลเมเมิลเอซิค (Ploymetacryl methyl acid : PMMA) เหมาะสำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติการส่งที่ด้อยลงมาใช้งานง่าย ต่อเชื่อมง่าย และแตกหักยากแม้ว่าจะงอเส้นใยแก้วนำแสงมากๆ ใช้กับการสื่อสารระยะทางใกล้ เช่นใช้กับการเดินสายภายในรถยนต์ (Wire harness)

2.2.2 การแบ่งเส้นใยแก้วนำแสงตามลักษณะการใช้งาน

1) สายเคเบิลใยแก้วนำแสงเดินในท่อหรือเดินลอย (Ducted cable or lash aerial)

2) สายเคเบิลใยแก้วนำแสงฝั่งดินโดยตรง (Direct buried)

3) สายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดเดินลอย มีสายรับแรง (Self-supporting figure ‘8’ aerial) จะมีส่วนที่เป็นสายเคเบิลเหล็กคอยช่วยรับแรงอยู่ด้านบน มีลักษณะดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบเดินลอยมีสายรับแรง
ที่มา: Commscope, n.d.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

4) สายเคเบิลใต้น้ำ (Submarine)

5) สายเคเบิลไม่มีตัวนำรับแรงด้วยตัวเอง (All dielectric self support)

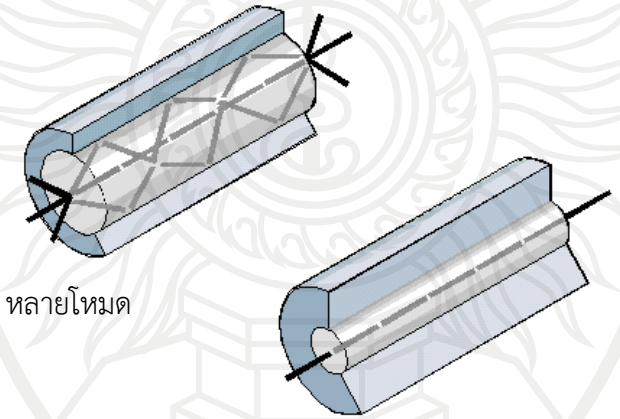
6) สายเคเบิลใช้เป็นสายดินในระบบสายส่งกำลัง (Overhead ground wire)

2.2.3 การแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามจำนวนโหมดการเดินทางของแสง

1) เส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว (Single mode optic fiber : SM fiber) เส้นใยแก้วนำแสงแบบนี้จะมีขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ประมาณ 5-10 ไมครอน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้งประมาณ 125 ไมครอน ซึ่งส่วนของคอร์ที่มีขนาดเล็กนี้มีผลทำให้แสงเดินทางออกมาเพียงโหมดเดียว มีการแตกกระจายของสัญญาณเกิดขึ้นได้ยากทำให้มีแบนด์วิดธ์ที่กว้าง

2) เส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด (Multi mode optic fiber : MM fiber) เส้นใยแก้วนำแสงแบบนี้ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ประมาณ 50 ไมครอน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้งประมาณ 125 ไมครอน ซึ่งส่วนของคอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว มีผลทำให้แสงตกกระทบที่ปลายอินพุตของเส้นใยแก้วนำแสงมีมุมตกกระทบที่แตกต่างกันหลายค่า ทำให้มีแนวลำแสงเกิดขึ้นหลายโหมด ซึ่งทำให้เกิดการแตกกระจายของโหมดแสง

ลักษณะการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยวและเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมดแสดงดังภาพที่ 2.7



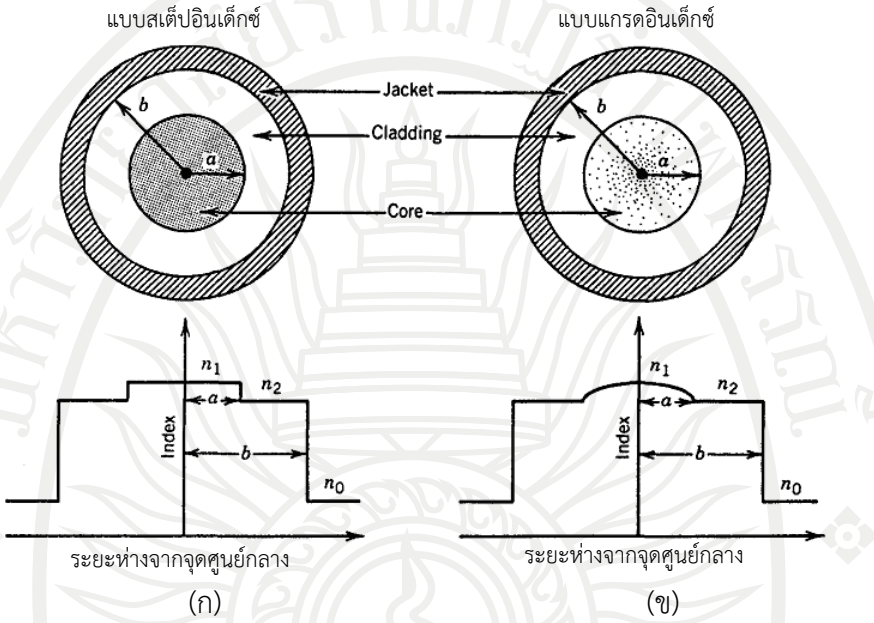
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยวและแบบหลายโหมด
ที่มา: Wikispaces, n.d.

2.2.4 การแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามลักษณะของดัชนีการหักเห

1) เส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งเป็นไปในลักษณะแบบขั้นบันได หรือเส้นใยแก้วนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์ (Step index optic fiber หรือ SI fiber) มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหแสดงดังภาพที่ 2.8 (ก)

2) เส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งค่อยๆ ลดลงทีละน้อยหรือเส้นใยแก้วนำแสงแบบแกรดอินเด็กซ์ (Graded index optic fiber หรือ GI fiber) มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเห ดังภาพที่ 2.8 (ข)

สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยวนั้นจัดอยู่ในพวกของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์ แต่เนื่องจากจุดประสงค์ที่ต้องการให้เป็นโหมดเดี่ยวทำให้อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเหของคอร์กับแคลดดิ้งมีค่าน้อยมากจึงแบ่งชนิดแยกออกมาต่างหาก ดังนั้นในกรณีที่เรียกว่าเส้นใยแก้วนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์นั้น โดยทั่วไปจะหมายถึง เส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมดที่มีผลต่างของดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันได



ภาพที่ 2.8 ภาพตัดขวางและภาพลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแก้ว (ก) แบบสเต็ปอินเด็กซ์ (ข) แบบแกรดอินเด็กซ์
ที่มา: Alwayn, V., 2004

2.2.5 เส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในกิจการโทรคมนาคม

การแบ่งประเภทของเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในกิจการโทรคมนาคมนั้นนิยมแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่

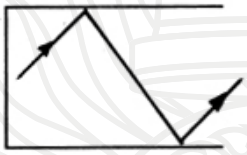
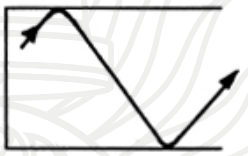
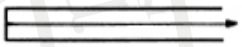
1) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดสเต็ปอินเด็กซ์ (Multimode step index) มีคุณลักษณะทางประสิทธิภาพ คือ มีการลดทอนสัญญาณในช่วง 2.6 - 50 เดซิเบลต่อกิโลเมตร (dB/km) ที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร ถูกจำกัดโดยการดูดกลืน การกระจายและการลดทอนจากความยาวคลื่น มีแบนด์วิดธ์อยู่ในช่วง 6 - 50 เมกะเฮิรตซ์ต่อกิโลเมตร การใช้งานเหมาะสมสำหรับใช้งานในโครงข่ายการสื่อสารระยะสั้น (Short-haul) มีแบนด์วิดธ์จำกัด และใช้งานกับงานที่ราคาไม่สูง

2) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดแกรดอินเด็กซ์ (Multimode graded index Fiber) มีคุณลักษณะทางประสิทธิภาพคือ มีการลดทอนสัญญาณในช่วง 2-10 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร ถูกจำกัดโดยการกระจาย ส่วนการลดทอนสัญญาณโดยเฉลี่ยที่ความยาวคลื่น 1300 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 0.4 และ 0.25 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ตามลำดับ มีแบนด์วิดธ์อยู่ในช่วง 300 เมกะเฮิรตซ์กิโลเมตร ถึง 50 กิกะเฮิรตซ์กิโลเมตร การใช้งาน

เหมาะที่สุดสำหรับใช้งานในโครงข่ายแบบการสื่อสารระยะกลาง มีแบนด์วิดธ์ปานกลางถึงสูงซึ่งใช้แอลอีดี หรือเลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสง

3) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว (Single mode optical fibers) มีคุณลักษณะทางประสิทธิภาพคือ มีการลดทอนสัญญาณในช่วง 2-5 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร มีการลดทอนสัญญาณโดยเฉลี่ย 0.35 และ 0.21 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่ความยาวคลื่น 1300 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตรตามลำดับ แบนวิดธ์มากกว่า 500 เมกะเฮิรตซ์กิโลเมตร ในทางทฤษฎีแบนด์วิดธ์จะถูกจำกัดโดยความยาวคลื่นและการขยายกว้างออกจากโครงสร้าง โดยมีค่าประมาณ 40 กิกะเฮิรตซ์ที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร ในทางปฏิบัติแล้วแบนด์วิดธ์มีค่ามากกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์ที่ความยาวคลื่น 1300 นาโนเมตร การใช้งานเหมาะสมกับงานที่ต้องการแบนด์วิดธ์สูงและระยะทางไกลมาก โดยใช้เลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์กำเนิดแสง

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 3 แบบ

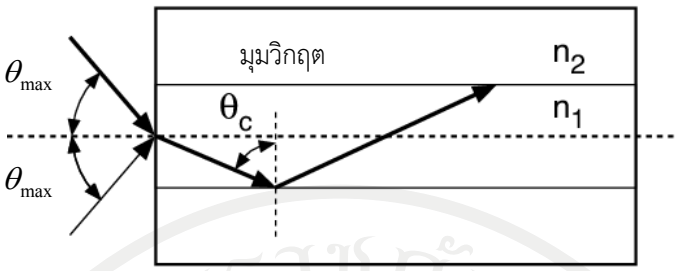
ทางเดินของแสงภายในคอร์			
แหล่งกำเนิดแสง	เลเซอร์หรือแอลอีดี	เลเซอร์หรือแอลอีดี	เลเซอร์
แบนด์วิดธ์	< 200 เมกะเฮิรตซ์	200 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 3 กิกะเฮิรตซ์	มากกว่า 3 กิกะเฮิรตซ์
เส้นผ่านศูนย์กลางคอร์	50 ไมครอน	50 ไมครอน	5-8 ไมครอน

2.3 ค่าขนาดช่องรับแสง

แสงจะใช้คุณสมบัติของการสะท้อนกลับหมด เพื่อเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นในการส่งสัญญาณแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วต้องทำด้วยมุมที่ทำให้แสงเดินทางตกกระทบกับรอยต่อของคอร์และแคลดดิ้งด้วยมุมที่มากกว่ามุมวิกฤต ขนาดความกว้างของมุมที่สามารถทำให้แสงเกิดการสะท้อนกลับหมดและเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้เรียกว่า ขนาดช่องรับแสง (Numerical aperture: NA) ลักษณะของช่องรับแสงแสดงได้ดังภาพที่ 2.9

แทน เชียงแขก (2548ข) ได้ให้คำนิยามของค่าขนาดช่องรับแสงไว้ว่า หมายถึงการเปิดรับให้แสงผ่านและใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง นอกจากนี้ยังถือเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแก้วนำแสง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 2.9 การเดินทางของแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงด้วยมุมต่างๆ
ที่มา: Numerical aperture, n.d.

มุมสูงสุดในการป้อนแสงที่ยังคงทำให้แสงสามารถเดินทางไปในเส้นใยแสง หรือมุมที่ทำให้แสงเดินทางตกกระทบกับรอยต่อของคอร์และแคลดดิ้งด้วยมุมวิกฤต เรียกว่า มุม θ_{max} (Acceptance angle) ซึ่งสามารถที่จะคำนวณหาค่ามุม θ_{max} ได้จากกฎของเสนลล์ ดังนี้

$$n_0 \sin\theta_{max} = n_1 \sin\theta$$

โดยที่ $\theta = 90^o - \theta_c$ ดังนั้นจะได้

$$\sin\theta_{max} = n_1 \cos\theta_c \qquad (2.7)$$

จาก $\sin^2 A + \cos^2 A = 1$ จะได้ $\cos^2 A = (1 - \sin^2 A)$ นำไปแทนลงในสมการ (2.7)

$$\sin\theta_{max} = n_1 (1 - \sin^2\theta_c)^{1/2} \qquad (2.8)$$

จาก $\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ แทนลงในสมการที่ 2.8

$$\sin\theta_{max} = n_1 \left(\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2} \right)^{1/2}$$

จัดรูปสมการใหม่

$$\sin\theta_{max} = n_1 \sqrt{2\Delta} \qquad (2.9)$$

โดย Δ คือผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง (Core-clad index difference) หรือเรียกว่ารีแฟคทีฟอินเด็กซ์ดิฟเฟอเรนซ์ (Refractive index difference) ซึ่งหาได้จาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สำหรับเส้นใยแสงแบบ GI $$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

สำหรับเส้นใยแสงแบบ SI $$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

จากสมการที่ (2.9) นิยามของ $\sin\theta_{\max}$ คือ ขนาดช่องรับแสง ดังนั้นจะได้สมการ คือ

$$NA = n_1\sqrt{2\Delta} \qquad (2.10)$$

ถ้าหากขนาดของช่องรับแสงมีค่ามากแสดงว่าเส้นใยแก้วนำแสงดังกล่าวมีความสามารถในการรับแสงสูง ในทางปฏิบัติค่ามุม $\theta_{\max}$ ยิ่งมากขึ้นจะทำให้การนำสัญญาณแสงเข้าสู่เส้นใยง่ายขึ้น โดยจะใช้เลนซ์เพื่อรวมแสงจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสง ค่าขนาดช่องรับแสงที่มีค่าสูงจะสามารถทำให้มุม $\theta_{\max}$ มีค่าสูง และลำแสงที่เข้าไปสู่คอร์ของเส้นใยแก้วนำแสงสามารถมีโหมดได้หลายโหมด จากสมการจะเห็นว่าค่าขนาดช่องรับแสงที่มากนั้นได้มาจากการที่มีความแตกต่างระหว่างดัชนีการหักเหของคอร์และแคลดดิ้งมาก ซึ่งการที่จะทำเช่นนี้ได้สารที่นำมาผลิตเส้นใยแก้วนำแสงก็ต้องมีการโด๊ปที่คอร์มาก แต่จะเกิดผลที่ตามมาคือการลดทอนของสัญญาณรวมทั้งค่าใช้จ่ายที่สูงตามไปด้วย ซึ่งโดยปกติขนาดของช่องรับแสงจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.14 ถึง 0.5

ตารางที่ 2.3 ขนาดของเส้นใยแก้วนำแสงและค่าขนาดของช่องรับแสงของเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ (ไมครอน)	เส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้ง (ไมครอน)	ขนาดช่องรับแสง
50	125	0.19 ถึง 0.25
62.5	125	0.27 ถึง 0.31
85	125	0.25 ถึง 0.30
100	140	0.25 ถึง 0.30

ตัวอย่างที่ 2.2 เส้นใยแสงชนิดซิลิกาแบบแกรดอินเด็กซ์ เส้นหนึ่งมีค่าดัชนีการหักเหของคอร์เท่ากับ 1.5 และค่าดัชนีการหักเหของแคลดดิ้งเท่ากับ 1.47 จงคำนวณหา

ก) มุมวิกฤตระหว่างคอร์กับแคลดดิ้ง

ข) ขนาดของช่องรับแสง

ค) ขนาดมุมสูงสุดในการป้อนแสง ($\theta_{\max}$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

วิธีทำ

(ก) จาก $\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$ จะได้

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{1.47}{1.5}\right) = 78.5^o$$

(ข) ค่าขนาดของช่องรับแสงสามารถคำนวณได้จาก

$$NA = n_1\sqrt{2\Delta} = 1.5\sqrt{2\left(\frac{1.5^2 - 1.47^2}{2(1.5^2)}\right)} = 0.3$$

(ค) ขนาดมุมสูงสุดในการป้อนแสง

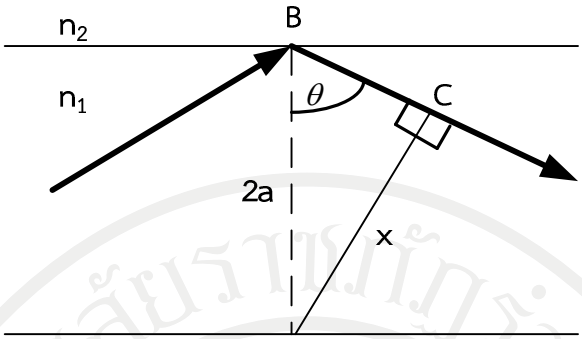
$$\theta_{\max} = \sin^{-1}(0.3) = 17.4^o$$ ตอบ

2.4 โหมดการเดินทางของคลื่นแสง

โหมดการเดินทางของคลื่นแสง (Propagation mode) หมายถึงจำนวนคลื่นแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้

อัลเวน วี (Alwayn, V., 2004) ได้ให้ความหมายของโหมดการเดินทางของคลื่นแสงไว้ว่า การเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงมีอยู่ 2 โหมดคือ แบบโหมดเดี่ยวและแบบหลายซึ่งการเดินทางของแสงทั้ง 2 โหมดนี้จะแตกต่างกันทั้งในด้านของการลดทอนและการขยายกว้างออก เส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยวนั้นจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าและการสูญเสียที่ต่ำกว่า เพื่อให้เข้าใจถึงความแตกต่างระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 ชนิดนี้ จึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับโหมดการเดินทางของคลื่นแสง โดยธรรมชาตินั้นสามารถพิจารณาแสงเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาคซึ่งประกอบด้วยโฟตอนและโซลิตอน เมื่อพิจารณาให้แสงเป็นคลื่นแสงที่ถูกนำเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงจะเดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงด้วยโหมดที่แน่นอน ความเข้มแสงของแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านตัดขวางและตลอดความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งโหมดการเดินทางเหล่านี้หมายถึง แต่ละโหมดที่ลำแสงสามารถเดินทางผ่านไปได้ จะมีจำนวนอยู่ระหว่างโหมดที่เป็นไปได้น้อยสุดและสูงสุด จำนวนโหมดนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วนำแสง และการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของคอร์และแคลดดิ้งในด้านตัดขวาง ซึ่งหมายถึงเส้นใยแก้วสเต็ปอินเด็กซ์หลายโหมด แบบแกรดินเด็กซ์หลายโหมด และแบบโหมดเดี่ยว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างลำแสงที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนโหมด

จำนวนโหมดสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้คือ (N-1) โดยในโหมดการเดินทางของคลื่นแสงดังกล่าวจะมีค่ามุมสะท้อนใกล้เคียงกับมุมวิกฤต ดังนั้นถ้าเป็นโหมด N ก็จะมีค่ามุมสะท้อนเท่ากับมุมวิกฤต จากภาพที่ 2.12 สามารถที่จะคำนวณหาจำนวนโหมดการเดินทางของคลื่นแสงได้ดังนี้

$$\sin\theta = \frac{AC}{AB} = \frac{X}{2a}$$

ซึ่งการที่จะเกิดคลื่นนิ่งในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ได้นั้นค่าของ X จะต้องมีค่าเท่ากับ $\frac{m\lambda}{2}$ โดยในที่นี้ m คือโหมดการเดินทางของคลื่นแสงซึ่งจะแทนด้วยตัวแปร N และเนื่องจากโหมด N มุม θ จะมีค่าเท่ากับมุมวิกฤติ ดังนั้นจะได้

$$\sin\theta_c \geq \frac{N(\lambda_1/2)}{2a} \qquad ;N = 0,1,2,3,...,N-1$$

$$2a\sin\theta_c \geq \frac{N\lambda_1}{2}$$

จากสมการ $n_1\sin\theta = n_0\sin\theta_{\max}$ เมื่อกำหนดให้ $\theta = \theta_c$ จะได้

$$\sin\theta_c = \frac{1}{n_1}\sin\theta_{\max}$$

และเนื่องจาก $\sin\theta_{\max} = n_1\sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}}$ ดังนั้นจะได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\sin\theta_c = \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}}$$

แทนค่าสมการ

$$2a\frac{\sqrt{n_1^2-n_2^2}}{n_1} \geq \frac{N\lambda_1}{2}$$

$$N \leq \frac{4a}{\lambda_1}\frac{\sqrt{n_1^2-n_2^2}}{n_1}$$

และเนื่องจาก $\lambda_1 = \frac{\lambda_0}{n_1}$

$$N \leq \frac{4a}{\lambda_0}\sqrt{n_1^2-n_2^2} \qquad (2.11)$$

ตัวอย่างที่ 2.3 เส้นใยแก้วนำแสงเส้นหนึ่ง คอร์มีค่าดัชนีหักเห 1.475 มีขนาด 25 ไมครอน แคลดดิ้งมีค่าดัชนีหักเห 1.46 ใช้ที่ความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 1.3 ไมครอน จงคำนวณหาโหมดการเดินทางของคลื่นแสงที่เกิดขึ้นในเส้นใยแสง

วิธีทำ

จากสมการ $N \leq \frac{4a}{\lambda_0}\sqrt{n_1^2-n_2^2}$ แทนค่าต่างๆ ที่โจทย์กำหนดในสมการจะได้

$$N \leq \frac{4(25)}{1.3}\sqrt{1.475^2-1.46^2}$$

$$N \leq 16.15$$

ตอบ

เส้นใยแสงที่มีจำนวนโหมดการเดินทางของคลื่นแสงจำนวนมากจัดว่าเป็นเส้นใยแสงแบบหลายโหมด เส้นใยแสงที่มีจำนวนโหมดการเดินทางของคลื่นแส ที่หาได้มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่ามีเพียง Mode 0 เท่านั้นที่สามารถเดินทางไปในเส้นใยแสงได้ ซึ่งเส้นใยแสงที่มีจำนวนโหมดการเดินทางของคลื่นแสงเพียงโหมดเดียวก็คือ เส้นแสงชนิดโหมดเดี่ยว จากสมการที่ (2.11) จะเห็นว่าถ้าเป็นเส้นใยแสงชนิดเดียวกัน จำนวนของโหมดการเดินทางของคลื่นแสง จะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นที่ใช้ โดยจะมีความยาวคลื่นค่าหนึ่งที่ได้ค่า N ที่ทำให้เป็นโหมดเดี่ยว เรียกว่าความยาวคลื่นนี้ว่า ความยาวคลื่นคัตออฟ (Cut off wavelength) หรือ λ_c

$$\lambda_c = 4a\sqrt{n_1^2-n_2^2} \qquad (2.12)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แต่เนื่องจากสมการดังกล่าวเป็นการพิจารณาในลักษณะเส้นใยแสงแบบแบน ดังนั้นในการนำมาใช้ในการคำนวณกับเส้นใยแก้วนำแสงจริงจะต้องเปลี่ยนสมการที่ (2.13)

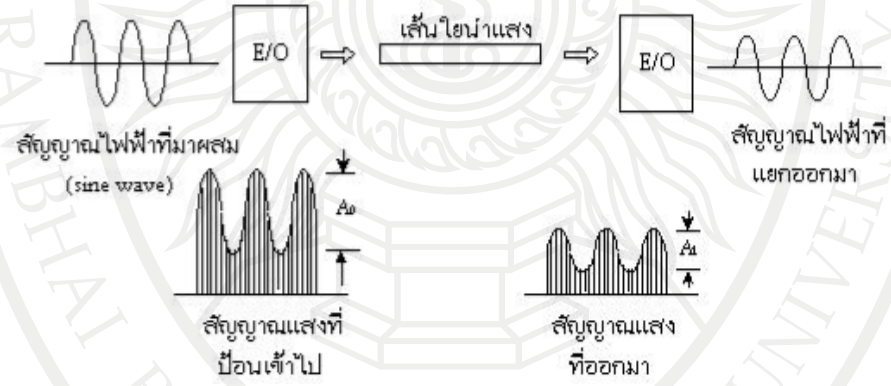
$$\lambda_c = \frac{2\pi a}{2.405}\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \qquad (2.13)$$

โดยที่ค่าคงที่ 2.405 คือ ค่าความถี่คลื่นตัดหรือความถี่คัตออฟ (Cut off normalized frequency) ของโหมดที่สามารถเดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียวได้ หรือเรียกกว่า วีนัมเบอร์ (V-number)

2.5 แบนด์วิดธ์

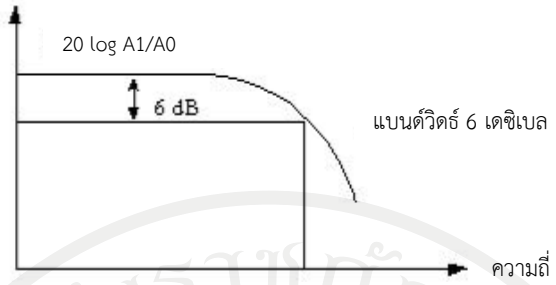
ข้อดีในการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงข้อหนึ่งคือ แบนด์วิดธ์ในการส่งสัญญาณ (Transmission bandwidth) ที่สูงทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก

กรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 273) ได้กล่าวถึงแบนด์วิดธ์ของเส้นใยแก้วนำแสงไว้ว่า ความกว้างของแบนด์วิดธ์ในการส่งสัญญาณเส้นใยแก้วนำแสงสามารถหาได้จากการป้อนสัญญาณแสงที่มอดูเลตแล้ว เข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อแสงเดินทางไปได้ 1 กิโลเมตร แล้วนำค่าของระดับของสัญญาณอินพุต A_1 และ ระดับของสัญญาณเอาท์พุต A_0 มาวาดกราฟ จากนั้นทำการเพิ่มความถี่ของสัญญาณที่นำการมอดูเลตให้สูงขึ้น จนถึงจุดที่ขนาดของคุณลักษณะทางความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์ (Baseband frequency characteristic) ลดลงมา 6 เดซิเบล ความถี่ ณ ตำแหน่งที่คุณลักษณะทางความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์ลดลงมา 6 เดซิเบล คือ แบนด์วิดธ์ในการส่งสัญญาณของเส้นใยนำแสง ขั้นตอนการหาขนาดของแบนวิดธ์ของเส้นใยแก้วนำแสงแสดงดังภาพที่ 2.11



(ก) การจัดความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์ และแบนด์วิดธ์ 6 เดซิเบล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



(ข) คุณสมบัติความถี่ของสัญญาณเบสแบนด์ และแบนด์วิดธ์ 6 เดซิเบล

ภาพที่ 2.11 วิธีการหาแบนด์วิดธ์ในการส่งสัญญาณ
ที่มา: กรมการสื่อสารทหาร, ม.ป.ป. : 273

2.6 สรุป

แสงอาศัยหลักสะท้อนกลับหมดในการเดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นในการส่งสัญญาณแสงเข้าไปในคอร์นั้นจึงต้องคำนึงถึงค่าขนาดช่องรับแสงที่ถูกต้องเพื่อให้แสงสามารถเดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสงได้ โดยค่าดัชนีการหักเหของคอร์จะมากกว่าแคลดดิ้งอยู่เล็กน้อย เพื่อให้เกิดการสะท้อนกลับหมด เส้นใยแก้วนำแสงที่นิยมใช้ในงานทางด้านโทรคมนาคมนั้น ได้แก่ เส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีขนาดของคอร์ที่เล็ก เส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดแบบสเต็ปอินเด็กซ์ และเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดแบบเกรดอินเด็กซ์ ซึ่งเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมดทั้งสองชนิดนี้ แตกต่างกันที่ค่าดัชนีหักเหของคอร์ คือแบบสเต็ปอินเด็กซ์ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลดดิ้ง เป็นไปในลักษณะแบบขั้นบันได และแบบเกรดอินเด็กซ์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งค่อยๆ ลดลงทีละน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แบบฝึกหัดบทที่ 2

1. ความถี่ของแสงในย่านอินฟาเรดมีค่า 3 x 10^{14} เฮิตรซ์ ดังนั้นความยาวคลื่นของแสงนี้ในสุญญากาศจะมีค่าเท่าใด

2. จงอธิบายความหมายของมุมวิกฤตของแสงที่ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง

3. เส้นใยแก้วชนิดแกรดอินเด็กซ์ ที่มี $\alpha = 1$ ขนาด 40/125 ไมครอน มีค่าดัชนีหักเหของคอร์ในแนวแกนกลางเป็น 1.5 และมีค่าดัชนีหักเหของแคลดดิ้งเป็น 1.48 ขนาดช่องรับแสงมีค่าเป็นเท่าใด

4. เส้นใยแก้วมีค่าดัชนีหักเหของคอร์ 1.479 และดัชนีหักเหของแคลดดิ้ง 1.465 จงหาค่าขนาดช่องรับแสง

5. เส้นใยแก้วชนิดโหมดเดี่ยวแบบสเต็ปอินเด็กซ์ 5/125 ไมครอน มีค่าดัชนีหักเหของคอร์ 1.465 และมีค่ารีแฟคทีฟอินเด็กซ์ดิฟเฟอเรนซ์ 1 เปอร์เซ็นต์ จงหาค่าขนาดช่องรับแสงของเส้นใยแก้วนี้

6. เส้นใยแก้วชนิดแกรดอินเด็กซ์ที่มี $\alpha = 1$ ขนาด 40/125 ไมครอน มีค่าดัชนีหักเหของคอร์ในแนวแกนกลางเป็น 1.5 และมีค่าดัชนีหักเหของแคลดดิ้งเป็น 1.48 รีแฟคทีฟอินเด็กซ์ดิฟเฟอเรนซ์มีค่าเป็นเท่าใด

7. เส้นใยแก้วชนิดโหมดเดี่ยวแบบสเต็ปอินเด็กซ์ 5/125 ไมครอน มีค่าดัชนีหักเหของคอร์ 1.465 และมีค่ารีแฟคทีฟอินเด็กซ์ดิฟเฟอเรนซ์ 1 เปอร์เซ็นต์ จงคำนวณหาค่าความยาวคลื่นตัด

8. จงหาจำนวนโหมดที่แสงสีแดงขนาดความยาวคลื่น 633 นาโนเมตร สามารถเดินทางได้ในเส้นใยแก้วแบบสเต็ปอินเด็กซ์ 50/125 ที่มี ดัชนีหักเหของคอร์ 1.45 และดัชนีหักเหของแคลดดิ้ง 1.445

9. ค่าดัชนีหกเหของคอร์และแคลดดิ้งควรมีค่าอย่างไร เพราะเหตุใด

10. มุมที่ใช้ให้แสงเดินทางเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงควรมีค่าเป็นอย่างไร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารอ้างอิง

กรมการสื่อสารทหาร. (ม.ป.ป.). **ระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง.** กรุงเทพฯ : ผู้แต่ง

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2555). **ทัศนศาสตร์และการมองเห็น ในฟิสิกส์เบื้องต้นสำหรับวิทยาศาสตร์การแพทย์และสาธารณสุข.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.sc.mahidol.ac.th/scpy/courses. สิงหาคม 2557.

แทน เชียงแขก. (2548ก). **คุณลักษณะของแสง.** เชียงราย: แผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพเทิง.

_____. (2548ข). **เส้นใยแสง (Optical fiber).** เชียงราย: แผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพเทิง.

พัชรินทร์ ดวงแก้ว และเครือวัลย์ วงค์ปัญญา. (ม.ป.ป.). **พื้นฐานการสื่อสารเชิงแสง (Principle of optical communications). ในสารนุกรมโทรคมนาคมไทย.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Principle_of_Optical_Communications/index.php. สิงหาคม 2557.

พีเพิลฟูเทคโนโลยี จำกัด. (2013). **ความรู้ด้าน Fiber opitc หลักการทำงานและชนิดของ ไฟเบอร์ออฟติค.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.peoplefu.com/. สิงหาคม 2557.

โรงเรียนสตรีอ่างทอง. (ม.ป.ป.). **การหักเห (Refraction).** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.sa.ac.th. สิงหาคม 2557.

ศูนย์การเรียนรู้ด้านเทคโนโลยี. (ม.ป.ป.). **ระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง.** อสมท. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://dtv.mcot.net/data/manual/book1155180133.pdf. สิงหาคม 2557

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์. (2555). **การสื่อสารใยแก้วนำแสง.** กรุงเทพ: ทริปเปิ้ล กรุ๊ป.

Agrawal, G. P. (2010). **Fiber – optic communication system**. 4nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons.

Alwayn, V. (2004). **Optical network design and implementation.** Indiana : Cisco Press.

Commscope (n.d.) **Drop. product listing**. (Online). Available : http://www.commscope.com/catalog/broadband/product.aspx?id=79. August 2014.

Infraline. (n.d.). **Electromagnetic spectrum**. (Online). Available : http://www.pion.cz/en/article/electromagnetic-spectrum. August 2014.

Numerical aperture. (n.d.). (Online). Available : http://assets.newport.com/web600w-EN/images/1381509.gif. August 2014.

Schools wikipedia selection. (2007). **Optical fibre**. (Online). Available: http://cs.mcgill.ca/~rwest/wikispeedia/wpcd/wp/o/Optical_fiber.htm. August 2014.

Superuser. (2010). **Total internal reflection in fiber optics cables.** (Online). Available : http://superuser.com/questions/207793/total-internal-reflection-in-fiber-optics-cables. August 2014.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง

Wikispaces. (n.d.) **Fiber optics**. (Online). Available: https://lis3353.wikispaces.com/Fiberoptics. August 2014.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 3

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 3 การลดทอนและการขยายกว้างออก

3.1 การลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง
3.2 การขยายกว้างออก
3.3 เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยวแบบมาตรฐาน
3.4 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อศึกษาบทที่ 3 แล้วนักศึกษาสามารถ
1. อธิบายถึงชนิดของการลดทอนแบบต่างๆได้
2. อธิบายถึงชนิดของการขยายกว้างออกแบบต่างๆได้
3. อธิบายถึงข้อแตกต่างเส้นใยแก้วโหมดเดี่ยวแบบมาตรฐานแต่ละแบบได้

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. บรรยายพร้อมยกตัวอย่างประกอบ
2. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถามข้อสงสัย
3. ซักถามความเข้าใจของผู้เรียนแบบปากเปล่าและแบบฝึกหัดท้ายบท
4. ศึกษาจากเอกสารประกอบการสอน

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อนำเสนอด้วยพาวเวอร์พ้อย
2. สื่อวีดิโอ ประกอบ
3. เอกสารประกอบการสอนที่จัดพิมพ์โดยผู้สอน
4. เครื่องฉายโปรเจคเตอร์

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน
2. สังเกตจากการตอบคำถามแบบปากเปล่า
3. สังเกตจากการทำแบบฝึกหัดท้ายบท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทที่ 3
การลดทอนและการขยายกว้างออก

การลดทอน (Loss) หรือการสูญเสียของสัญญาณแสง (Attenuation) มีอยู่หลายประเภท ทั้งที่เกิดจากตัวเส้นใยแก้วนำแสงและเกิดจากการติดตั้ง ซึ่งเป็นสิ่งที่วิศวกรผู้ออกแบบโครงข่ายต้องคำนึงถึงเพื่อวางแผนการติดตั้งอุปกรณ์ทวนสัญญาณได้ถูกต้อง นอกจากการลดทอนแล้ว ในระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงจะมีการขยายกว้างออกของสัญญาณ (Dispersion) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดกับเส้นใยแก้วนำแสง ทำให้พัลส์ของข้อมูลที่ส่งเกิดการขยายออกจนเกิดซ้อนทับกันของพัลส์สัญญาณ ทำให้ที่ภาครับไม่สามารถแปลงข้อมูลออกมาได้ การขยายกว้างออกนี้เป็นสิ่งที่วิศวกรผู้ออกแบบระบบต้องคำนึงถึงเพื่อวางแผนการติดตั้งอุปกรณ์ทวนสัญญาณเช่นกัน

3.1 การลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง

แม้ว่าข้อดีข้อหนึ่งของการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง คือการลดทอนของสัญญาณที่น้อยมาก หากเปรียบเทียบกับการสื่อสารผ่านสายสัญญาณที่เป็นทองแดง แต่ก็ยังคงมีการลดทอนเกิดขึ้น

กรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 257) ได้กล่าวถึงการลดทอนไว้ว่า การลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงที่มีค่าน้อยเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ที่ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงนิยมนำมาใช้ในระบบการสื่อสารโทรคมนาคม แต่อย่างไรก็ดีการลดทอนของเส้นใยแก้วนำแสงก็เป็นสิ่งที่ต้องคำถึงในการออกแบบโครงข่าย การลดทอนของสัญญาณแสงจะแสดงอยู่ในหน่วยเดซิเบล เช่นเดียวกับตัวนำที่เป็นโลหะอื่นๆ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (3.1)

$$\text{การลดทอน} = 10\log\frac{P_i}{P_o} \qquad (3.1)$$

กำหนดให้ P_i คือกำลังงานที่ส่งเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสง และ P_o คือกำลังงานที่ออกจากเส้นใยแก้วนำแสง แต่เนื่องจากการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงนั้น นิยมบอกค่าการลดทอนสัญญาณในรูปของเดซิเบลต่อหน่วยความยาว เช่น เดซิเบลต่อกิโลเมตร ดังนั้นสามารถเขียนสมการที่ (3.1) ใหม่ได้ดังสมการที่ (3.2)

$$\alpha_{dB}L = 10\log\frac{P_i}{P_o} \qquad (3.2)$$

โดย α_{dB} คือ อัตราลดทอนสัญญาณต่อหน่วยความยาว (เมตร)

L คือ ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตัวอย่างที่ 3.1 การทดลองหาค่าลดทอนในท่อนำคลื่นแสงแบบระนาบซึ่งผลิตมาจากลิเธียมไนโอเบต ($LiNbO_3$) ได้ผลการทดลองดังนี้ ความยาวของท่อนำคลื่น 10 เซนติเมตร กำลังงานแสงขาเข้า 0.088 วัตต์ กำลังงานแสงขาออก 0.023 วัตต์ จงหาค่าลดทอนสัญญาณในท่อนำคลื่นนี้

วิธีทำ จากสมการที่ (3.2)

$$\alpha_{dB} L = 10 \log \frac{P_i}{P_o}$$

$$\alpha_{dB} (0.1) = 10 \log \frac{0.088}{0.023}$$

$$\alpha_{dB} = \frac{5.83}{0.1}$$

$$\alpha_{dB} = 58.28$$ ตอบ

การลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น องค์ประกอบของสารที่นำมาสร้าง เทคนิคในการเตรียมสารและการทำให้สารบริสุทธิ์ รวมถึงโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง นอกจากนั้นยังมีการลดทอนที่เกิดจากการใช้คอนเนคเตอร์หรือหัวต่อ และการเชื่อมเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นจึงสามารถแยกการลดทอนสัญญาณออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ การลดทอนที่มีอยู่ในเส้นใยแก้วนำแสงเอง (Fixed loss) และการลดทอนที่เพิ่มขึ้นจากการนำไปใช้งาน (Addition loss)

3.1.1 การลดทอนที่มีอยู่ในตัวเส้นใยแก้วนำแสง

การลดทอนประเภทนี้เป็นการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสงที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ ซึ่งเป็นการลดทอนที่มีอยู่ในเส้นใยแก้วนำแสงตั้งแต่กระบวนการสร้าง กรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 268) ได้แบ่งการลดทอนชนิดนี้ออกเป็น 2 ประเภท คือ

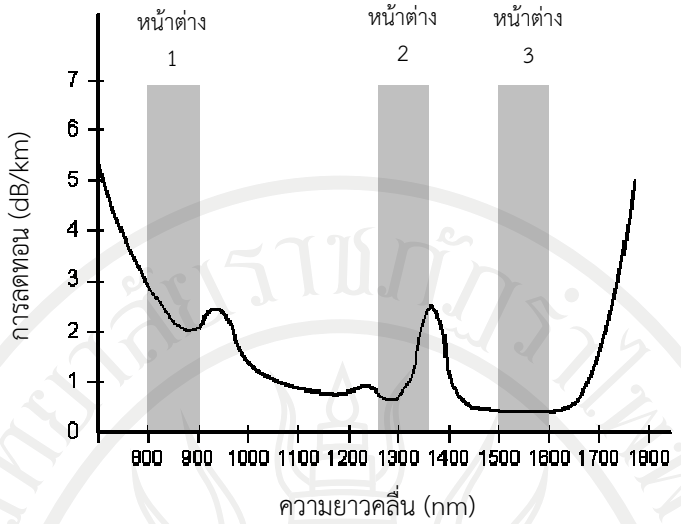
1) การลดทอนจากการดูดกลืนแสงของวัสดุที่ใช้สร้าง (Material absorption losses)

การลดทอนนี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารที่ใช้สร้างและกระบวนในการสร้าง (Fabrication process) เส้นใยแก้วนำแสง โดยจะทำให้เกิดการกระจายตัวของกำลังงานแสงที่ส่งกลายเป็นความร้อนขึ้นภายในเส้นใยนำแสง การลดทอนแสงเนื่องจากการดูดกลืนแสงสามารถแบ่งได้ 2 กรณี คือ

1.1) การดูดกลืนแสงเนื่องจากสารที่ใช้สร้างเส้นใยแก้วนำแสง (Intrinsic absorption) เนื่องจากแก้วซิลิกาบริสุทธิ์ที่ใช้ในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงจะมีการดูดกลืนแสง โดยการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 0.1 ไมครอน และมีการดูดกลืนแสงอินฟาเรดมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 10 ไมครอน

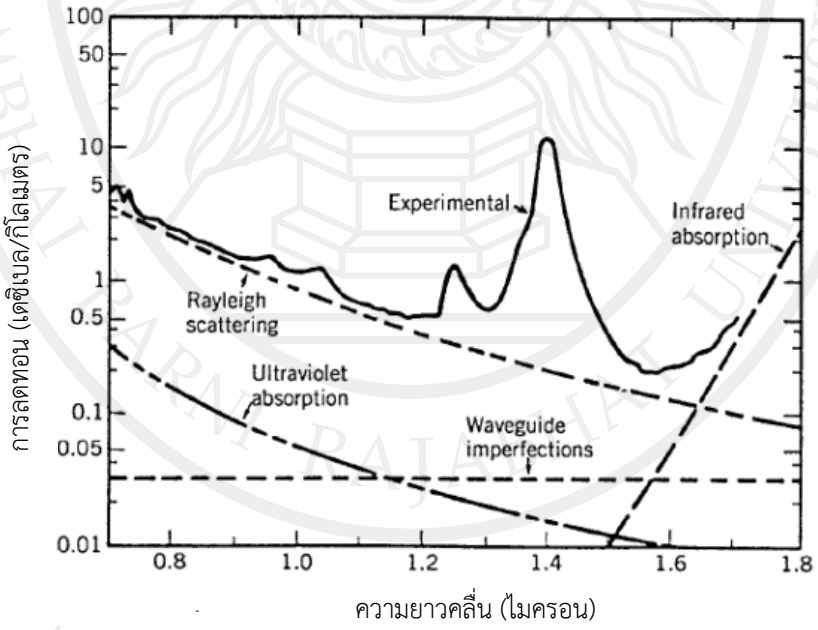
1.2) การดูดกลืนแสงเนื่องจากสารที่เจือปนอยู่ในเส้นใยแก้วนำแสง (Extrinsic absorption) เกิดขึ้นเนื่องจากการเจือปน ไอออนของธาตุโลหะในเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการหลอมแก้ว ซึ่งสารที่เจือปนในเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดจากการหลอมเหลวนี้ เป็นสาเหตุสำคัญของการลดทอนสัญญาณแสง

ลิขสิทธิ์ราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์



ภาพที่ 3.1 สเปคตรัมการลดทอนสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสง
ที่มา: Communications museum of Macao, n.d.

ธราดล โกมลมิศร์ (2556, หน้า 3) ได้กล่าวถึงการลดทอนของเส้นใยแก้วนำแสงที่แต่ละความยาวคลื่นไว้ว่า การลดทอนจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงที่ใช้และวัสดุที่นำมาใช้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งปกติคือแก้ว ตัวอย่างการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง แสดงดังภาพที่ 3.2 จะเห็นว่ามีช่วงการลดทอนต่ำอยู่ที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 850 นาโนเมตร 1.3 นาโนเมตร และ 1.55 นาโนเมตร ส่วนที่ 1.4 นาโนเมตร การลดทอนสูงมากเกิดจากการดูดกลืนแสงของประจุ OH^-



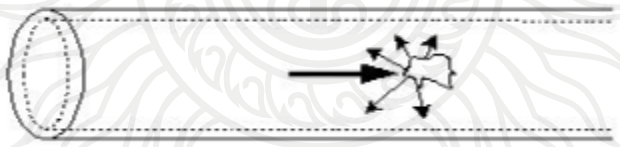
ภาพที่ 3.2 ชนิดการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง
ที่มา: ธราดล โกมลมิศร์, 2556 : 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2) การลดทอนแสงเนื่องจากการกระจัดกระจายแสง (Scattering losses) คือ การกระจัดกระจายของแสงจะเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความไม่สม่ำเสมอของแก้ว ซึ่งเกิดจากกระบวนการสร้างเส้นใยแก้วนำแสง ทำให้แสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสงเกิดการเปลี่ยนโหมด อาจจะเปลี่ยนไปสู่โหมดที่สามารถแพร่กระจายออกไปนอกเส้นใยแก้วนำแสงไม่สามารถเดินทางไปในคอร์ได้ การลดทอนที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ แบบเรย์เลย์ (Rayleigh scattering) และแบบไม (Mie scattering) ซึ่งทั้งสองแบบล้วนมีสาเหตุมาจากคุณลักษณะทางกายภาพที่ไม่สมบูรณ์ของเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดจากกระบวนการผลิตซึ่งยากที่จะกำจัดให้หมดไปในปัจจุบัน

2.1) แบบเรย์เลห์ เกิดมาจากการที่แสงเดินทางไปกระทบวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ทำให้แสงแตกกระจายออกไปในทิศทางที่ต่างๆ ดังภาพที่ 3.3 โดยวัตถุที่เจือปนอยู่นั้น เกิดขึ้นในตอนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงคือ ในกระบวนการทำเส้นใยแก้วนำแสง ให้ความร้อนประมาณ 2,000 องศาเซลเซียส แก่แท่งแก้วพรีฟอร์มแล้วดึงแท่งแก้วให้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงขนาดเล็ก จากนั้นลดอุณหภูมิของเส้นใยแก้วนำแสงลงเป็น 20 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นและเกิดเป็นวัตถุขนาดเล็กขึ้น โดยค่าการลดทอนเนื่องจากการกระจัดกระจายแบบเรย์เลย์นี้ จะเกิดกับแสงในช่วงอัลตราไวโอเลตและอินฟาเรด ซึ่งจะแปรผกผันกับความยาวคลื่นแสง (λ) ดังสมการที่ (3.3)

$$\text{การลดทอนเรย์เลย์} = \frac{1}{\lambda^4} \tag{3.3}$$



ภาพที่ 3.3 การกระจัดกระจายแสงแบบเรย์เลห์
ที่มา: กรมการสื่อสารทหาร, ม.ป.ป. : 269

2.2) แบบไม เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ทางโครงสร้างรูปทรงกระบอกของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งมีสาเหตุมาจากความผิดปกติของรอยต่อระหว่างคอร์กับแคลดดิ้ง ค่าดัชนีการหักเหของคอร์กับแคลดดิ้งที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง และการผันแปรของเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นต้น ส่งผลให้แสงที่ตกกระทบเกิดการกระจัดกระจายออก การลดทอนแบบนี้จะแปรผันโดยตรงกับความยาวคลื่นตามสมการ (3.4)

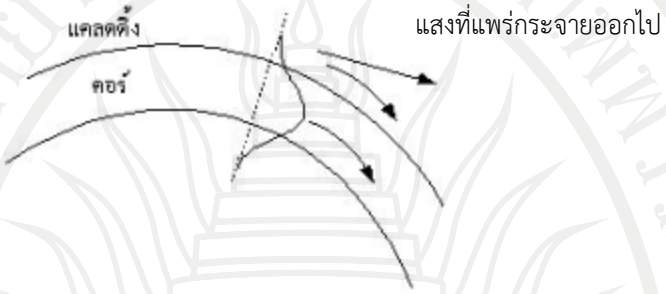
$$\text{การลดทอนไม} = \frac{\lambda}{10} \tag{3.4}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

3.1.2 การลดทอนที่เพิ่มขึ้นจากการนำไปใช้งาน

การลดทอนประเภทนี้เป็นการลดทอนที่เกิดขึ้นเมื่อนำเส้นใยแก้วนำแสงไปใช้งาน ซึ่งหากทำการติดตั้งอย่างระมัดระวัง การลดทอนชนิดนี้อาจไม่เกิดขึ้นได้ กรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 269). ได้แบ่งการลดทอนชนิดนี้ออกเป็น 4 ประเภท คือ

1) การลดทอนแสงเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง (Bending loss) จะเกิดขึ้นเมื่อมีการโค้งงอเส้นใยแก้วนำแสง โดยมีมุมการโค้งงอมากกว่ามุมวิกฤต ซึ่งทำให้แสงที่เดินทางไปเกิดการกระจัดกระจายออกไปนอกคอร์ได้ ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การลดทอนที่เกิดจากการโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสง
ที่มา: : กรมการสื่อสารทหาร, ม.ป.ป. : 270

2) การลดทอนที่เกิดจากการโค้งงอเส้นใยแก้วนำแสงแบบไมโครเบนดิ้ง (Micro bending) เป็นการลดทอนสัญญาณแสงที่เกิดจากการมีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากระทำต่อด้านข้างของเส้นใยแก้วนำแสง ส่งผลให้แกนของเส้นใยนำแสงเกิดการบิดงอไปเล็กน้อย (ประมาณ 2-3 ไมครอน) ทำให้แสงที่ตกกระทบบริเวณดังกล่าว เกิดการหักเหออกไปภายนอกเส้นใยแก้วนำแสงได้

3) การลดทอนที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Connection loss) จะเกิดขึ้นเนื่องจากการเชื่อมต่อไม่สมบูรณ์ ดังภาพที่ 3.4 นอกจากนี้บริเวณรอยต่อจะเกิดช่องว่างขนาดเล็กซึ่งจะส่งผลให้เกิดการลดทอนแสงจากการสะท้อนกลับซึ่งเรียกว่า การสะท้อนแบบเฟลชแนล (Fresnel reflection) ซึ่งทำให้เกิดการลดทอนที่เรียกว่า การลดทอนแบบเฟลชแนล (Fresnel loss) โดยคำนวณค่าการลดทอนได้จากสมการ (3.5)

$$\text{การลดทอนแบบเฟลชแนล} = -10\log(1-r) \qquad (3.5)$$

โดยที่ $r = \left(\frac{n_1 - n}{n_1 + n}\right)^2$

r = ขนาดของการสะท้อนแบบเฟลชแนล

n_1 = ดัชนีการหักเหของคอร์

n = ดัชนีการหักเหของแคลดดิ้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์ (2557) ได้จำแนกประเภทของการลดทอนที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสงไว้เป็นประเภทย่อยอีก 4 ประเภท ดังนี้

3.1) เป็นการลดทอนเนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน (Lateral misalignment) สามารถหาค่าประสิทธิภาพของการต่อ (Coupling efficiency: η) สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดหาได้จากสมการที่ (3.6)

$$\eta = \frac{2}{\pi}[\cos^{-1}\left(\frac{D}{2a}\right) - \left(\frac{D}{2a}\right)\sqrt{1-\left(\frac{D}{2a}\right)^2}\,] \tag{3.6}$$

โดยในสมการนี้นี้ หมายถึง ระยะที่แกนของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองเหลื่อมล้ำกัน และ a คือรัศมีของคอร์ เทอมของโคซายน์ให้พิจารณาในหน่วยของเรเดียน และสำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวค่าประสิทธิภาพสามารถหาได้จากสมการที่ (3.7)

$$\eta = e^{-\left(\frac{D}{W}\right)^2} \tag{3.7}$$

เมื่อ W คือ ขนาดของลำคลื่น (Spot size) ดังนั้นค่าการลดทอนในหน่วยเดซิเบลจึงมีค่าเป็น

$$Loss = -10\log\eta \tag{3.8}$$

และหากอัตราส่วนของ D/a น้อยกว่า 0.2 สามารถประมาณค่าประสิทธิภาพของการต่อได้ตามสามการที่ (3.9)

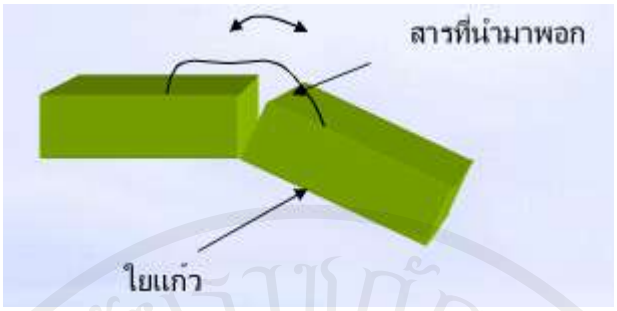
$$\eta = 1 - \frac{2D}{a\pi} \tag{3.9}$$

3.2) ความผิดพลาดที่เกิดจากเชื่อมต่อใยแก้วนำแสง (Angular misalignment) เกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่ไม่สนิทในลักษณะเกิดการโค้งงอ ดังภาพที่ 3.5 สามารถหาค่าประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อสำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดหาได้จากสมการที่ (3.10)

$$\eta = 1 - \left(\frac{n_0\theta}{\pi \times NA}\right) \tag{3.10}$$

โดยที่ n_0 คือ ค่าดัชนีหักเหของวัสดุที่นำมาพอกรอยต่อนี้ (โด๊ป) หรือหากไม่มีการพอกค่า n_0 จะเป็นค่าดัชนีหักเหของอากาศ และค่ามุมที่โค้งงอ θ มีหน่วยเป็นเรเดียน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 3.5 ความผิดพลาดที่เกิดจากเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง
ที่มา: สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์, 2557

ส่วนค่าประสิทธิภาพของเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว เป็นดังสมการที่ (3.11) เมื่อ λ เป็นค่าความยาวคลื่นแสงที่ใช้งาน

$$\eta = e^{-\left(\frac{\pi n_2 W \theta}{\lambda}\right)^2} \tag{3.11}$$

3.3) ความผิดพลาดเนื่องจากการต่อที่ไม่สนิท (End separation) หรือบางครั้งเรียกว่า ความผิดพลาดตามแนวยาว (Longitudinal displacement) ทำให้เกิดระยะห่าง (Gap) ของเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 เส้น ดังภาพที่ 3.6 สามารถหาค่าประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อสำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดหาได้จากสมการที่ (3.12)

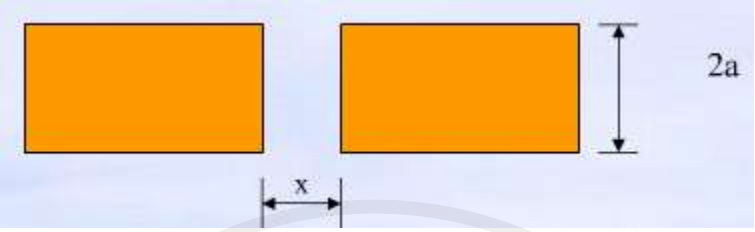
$$\eta = 1 - \left(\frac{X \times NA}{4an_0}\right) \tag{3.12}$$

เมื่อ X คือระยะห่างระหว่างเส้นใยแก้ว NA คือขนาดของช่องรับแสง และ n_0 คือค่าดัชนีหักเหของอากาศซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนค่าประสิทธิภาพของเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว ดังสมการที่ (3.13)

$$\eta = \frac{4(4Z^2+1)}{(4Z^2+2)^2+4Z^2} \tag{3.13}$$

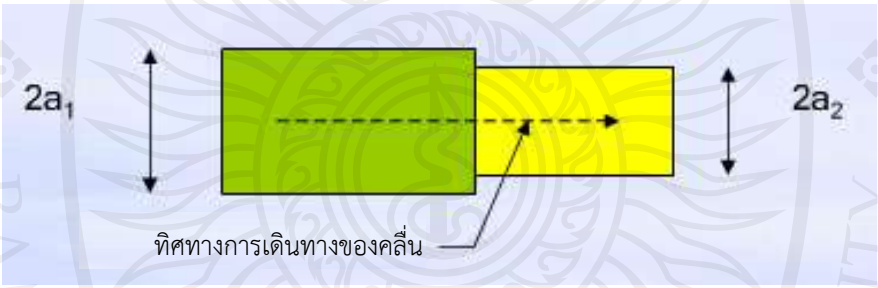
โดยค่า Z สามารถหาได้จาก $Z = \frac{X\lambda}{2\pi n_2 W^2}$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 3.6 ความผิดพลาดเนื่องจากการเชื่อมต่อที่ไม่สนิท
ที่มา: สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์, 2557

3.4) ความผิดพลาดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่ขนาดไม่เท่ากัน (Connection of difference fiber) ในบางครั้งอาจมีการต่อใยแก้วที่มีขนาดไม่เท่ากันทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณแสงไปบางส่วนได้ ความผิดพลาดในกรณีเช่นนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ขนาดของเส้นใยแก้วนำแสงไม่ท่ากัน ดังภาพที่ 3.7 และค่าขนาดช่องรับแสงของเส้นใยแก้วนำแสงไม่เท่ากัน สำหรับค่าประสิทธิภาพในกรณีที่ขนาดของใยแก้วไม่เท่ากัน คำนวณได้จากสมการที่ (3.14)



ภาพที่ 3.7 การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่ขนาดไม่เท่ากัน
ที่มา: สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์, 2557

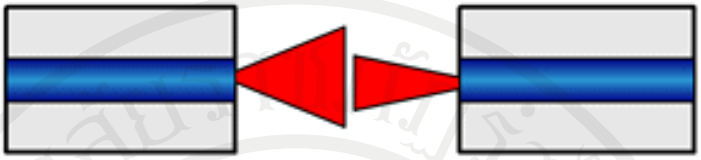
$$\eta = \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2 \qquad (3.14)$$

เมื่อกำหนดให้ a_1 และ a_2 คือรัศมีของเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 เส้น ถ้าค่าของ a_2 มากกว่า a_1 จะไม่เกิดการลดทอนจากการต่อ สำหรับกรณีที่เส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดเท่ากัน แต่มีค่าขนาดช่องรับแสงไม่เท่ากัน สามารถหาค่าประสิทธิภาพในการต่อได้จาก สมการที่ (3.15)

$$\eta = \left(\frac{NA_2}{NA_1} \right)^2 \qquad (3.15)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

โดยปกติในการใช้งาน จะไม่ให้ค่าขนาดช่องรับแสง มีความแตกต่างกันมากนัก แต่หากมีความแตกต่างกัน ค่า $NA_1 > NA_2$ ดังภาพที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดในกรณีนี้เท่านั้นที่ไม่สนใจว่าจะเป็นเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวหรือชนิดหลายโหมด

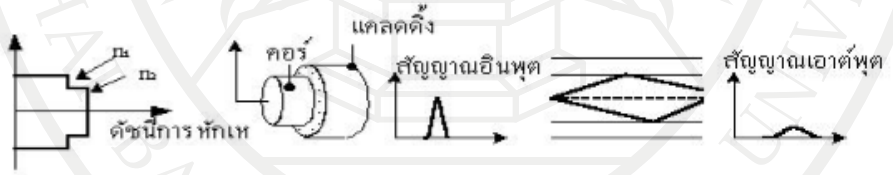


ภาพที่ 3.8 การลดทอนที่เกิดจากค่าขนาดช่องรับแสงไม่เท่ากัน
ที่มา: Olson technology, n.d.

4) การลดทอนที่เกิดขึ้นจากการคัปปลิงสัญญาณ (Coupling loss) เป็นการลดทอนระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงจะมีความกว้างของลำแสงไม่เท่ากัน คือเลเซอร์ไดโอดจะมีลำแสงแคบกว่าแอลอีดี จึงทำให้การลดทอนจากการคัปปลิงสัญญาณของเลเซอร์มีค่าน้อยกว่าแอลอีดี นอกจากนี้ค่าขนาดช่องรับแสง (NA) ของเส้นใยแก้วนำแสงหากมีค่ามากจะเกิดการลดทอนที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสงน้อยกว่า เส้นใยนำแสงที่มีค่าขนาดช่องรับแสงน้อย

3.2 การขยายกว้างออก

การสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะพบปรากฏการณ์ที่ทำให้พัลส์ของสัญญาณที่ส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสงเกิดผิดเพี้ยนไปจนเกิดการซ้อนทับของพัลส์สัญญาณที่เรียกว่าการขยายกว้างออก ลักษณะของการเกิดการขยายกว้างออกแสดงดังภาพที่ 3.9



(ก) เส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมดชนิดสเต็บอินเด็กซ์

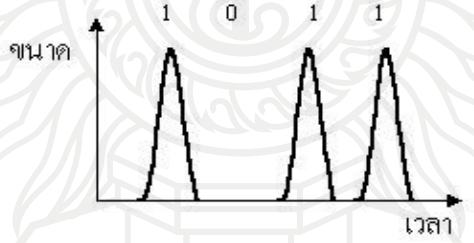
(ข) เส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมดชนิดแกรดอินเด็กซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏราไพพรรณี

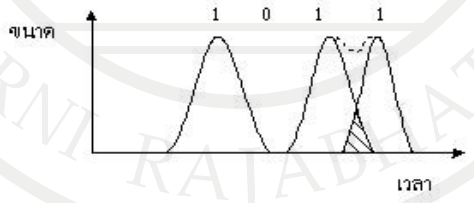
(ค) เส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียว

ภาพที่ 3.9 การขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลที่ส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละชนิด
ที่มา: กรมการสื่อสารทหาร, ม.ป.ป : 272

กรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 271-273) ได้อธิบายถึงการขยายกว้างออกของสัญญาณแสงไว้ว่า เป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดการผิดเพี้ยนทั้งในกรณีที่เป็นการส่งสัญญาณแบบแอนะล็อกและดิจิตอล ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วในระบบการสื่อสารใยแก้วนำแสงจะใช้ในการส่งสัญญาณแบบดิจิตอล ดังนั้นเมื่อเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณพัลส์ของแสง ก็ทำให้สัญญาณพัลส์ของแสงที่ทำการส่งและเดินทางไปในเส้นใยนำแสงเกิดขยายกว้างออก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการซ้อนทับกันของพัลส์ ทำให้ภาครับไม่สามารถแยกสัญญาณออกจากกันได้ ดังภาพที่ 3.10 ซึ่งเรียกผลที่เกิดขึ้นนี้ว่าการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ (Intersymbol interference: ISI) หากมีค่าไอเอสไอสูงจะส่งผลให้ความผิดพลาดสูงขึ้น ในภาพที่ 3.9 แสดงการเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณดิจิตอลที่ทำการส่งในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ โดยความกว้างของพัลส์ที่ขยายกว้างออกนี้ จะขึ้นอยู่กับระยะทางที่แสงเดินทางด้วย สามารถแยกชนิดของการขยายกว้างออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

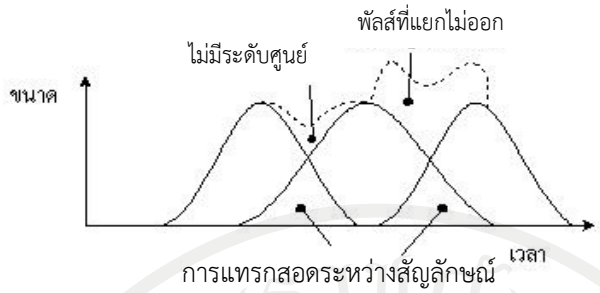


(ก) สัญญาณอินพุต



(ข) สัญญาณเอาต์พุตเมื่อแสงเดินทางเข้าไปในเส้นใยนำแสงเท่ากับ L_1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



(ค) สัญญาณเอาต์พุตเมื่อแสงเดินทางเข้าไปในเส้นใยนำแสงเท่ากับ $L_2 > L_1$

ภาพที่ 3.10 การเกิดการขยายกว้างออกของสัญญาณพัลส์ 1011 เมื่อผ่านเส้นใยแก้วนำแสง
ที่มา: กรมการสื่อสารทหาร, ม.ป.ป : 272

3.2.1 การขยายกว้างออกเนื่องจากโหมด

การขยายกว้างออกเนื่องจากโหมด (Modal dispersion บางครั้งอาจเรียกว่า Intermodal distortion) หรือการขยายกว้างออกจากหลายทิศทาง (Multipath dispersions) การขยายกว้างออกรูปแบบนี้ จะเกิดขึ้นในเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด เนื่องมาจากคุณลักษณะของแสง กล่าวคือความเร็วในการเดินทางของแสงแต่ละโหมดจะแตกต่างกัน ดังนั้นแสงจะเดินทางมาถึงปลายทางไม่พร้อมกัน ส่งผลให้เกิดการซ้อนทับกันของข้อมูล สามารถแก้ไขโดยไม่ส่งพัลส์ของข้อมูลที่มีความแคบมากเกินไป คือการจำกัดความเร็วในการส่งนั้นเอง การเกิดการขยายกว้างออกเนื่องจากโหมดจะเกิดในเส้นใยนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์มากกว่าเส้นใยนำแสงแบบแกรดอินเด็กซ์ และการขยายกว้างออกรูปแบบนี้จะไม่เกิดขึ้นในเส้นใยแก้วแบบโหมดเดี่ยวเนื่องจากมีการส่งสัญญาณแสงเพียงโหมดเดียวเท่านั้น

3.2.2 การขยายกว้างออกที่พบในเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว

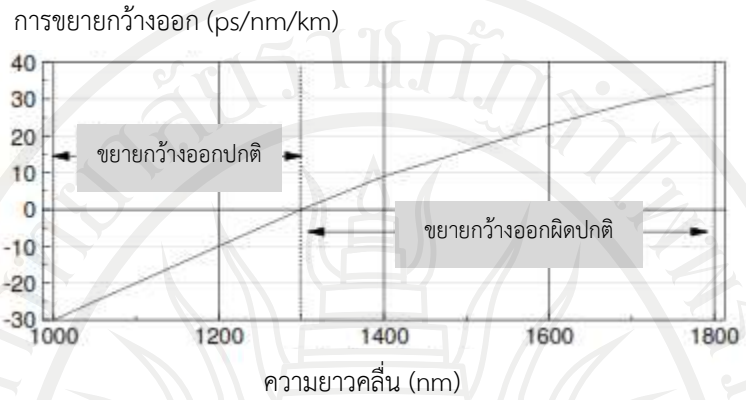
1) การขยายกว้างออกเนื่องจากวัสดุที่ใช้สร้าง (Material dispersion หรือ Chromatic dispersion) เกิดขึ้นเนื่องจากความยาวคลื่นแสงที่เดินทางในตัวกลางมีค่าต่างกัน แม้จะเดินทางในตัวกลางชนิดเดียวกัน ก็จะมีความเร็วในการเดินทางไม่เท่ากัน และเนื่องจากแสงที่ใช้ในระบบการสื่อสารไม่ได้มีเพียงความยาวคลื่นเดียวที่แท้จริง กล่าวคือแอลอีดีจะมีความกว้างของสเปกตรัมเท่ากับ 30 ถึง 60 นาโนเมตร และเลเซอร์ไดโอดจะมีความกว้างสเปกตรัม 2 ถึง 5 นาโนเมตร ดังนั้นแสงจะเดินทางมาถึงปลายทางไม่พร้อมกัน ส่งผลให้เกิดการซ้อนทับกันของข้อมูลเหมือนกับกรณีของการขยายกว้างออกเนื่องจากโหมด

2) การขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้าง (Structure dispersion หรือ Waveguide dispersion) จะเกิดจากการป้อนแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีหลายความยาวคลื่น ทำให้ผลต่างของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งก็จะมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละความยาวคลื่น โดยแสงที่มีค่าความยาวคลื่นสูงกว่าจะเดินทางทะลุผ่านเข้าไปในส่วนของแคลดดิ้งมากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่าหรือมีการหักเหไม่เท่ากัน

ดัททัน เอช เจ อาร์ (Dutton, H. J. R., 1998, p. 59) ได้กล่าวถึงการขยายกว้างออกไว้ว่า การขยายกว้างออกเนื่องจากสารที่ใช้สร้างและการขยายกว้างออกเนื่องจากโครงสร้างมีลักษณะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

หักล้างกันซึ่งกันและกัน (เครื่องหมายตรงข้ามกัน) ดังแสดงในภาพที่ 3.11 เป็นกราฟการขยายกว้างออกในหน่วย พิโกวินาทีต่อนาโนเมตรต่อกิโลเมตร (ps/nm/km) ในแต่ละความยาวคลื่น ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตรนั้น การขยายกว้างออกทั้งสองแบบจะหักล้างกันพอดี ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลว่าทำไมจึงนิยมใช้แสงที่ความยาวคลื่นนี้



ภาพที่ 3.11 การขยายกว้างออกของมาตรฐานเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว
ที่มา: Dutton, H. J. R., 1998 : 59

3) การขยายกว้างออกเนื่องจากโพลาไรเซชัน (Polarization mode dispersion) ในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว โดยปกติจะไม่ได้ส่งเพียงโหมดเดียว แต่จะส่งไปพร้อมกัน 2 โหมดในเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียวกัน โดยทั้งสองโหมดนี้จะแยกกันด้วยโพลาไรเซชันของคลื่น ซึ่งคลื่นจะสามารถส่งไปพร้อมกันได้โดยไม่เกิดการรบกวนกัน ในเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยวนั้นปกติแล้วในเนื้อวัสดุของคอร์จะมีค่าดัชนีการหักเหที่แตกต่างกันอยู่เล็กน้อย ซึ่งค่าดัชนีการหักเหที่แตกต่างกันนี้ จะทำให้เกิดการหักเหของแสงที่ไม่เท่ากัน เกิดปรากฏการณ์ไบรีฟริงเจนท์ (Birefringence) คือแสงที่หักเหมาจากวัสดุที่มีค่าดัชนีหักไม่เท่ากันนั้น มีโพลาไรเซชันที่ต่างกัน ทำให้เป็นสาเหตุของการเกิดการขยายกว้างออกได้ แต่การขยายกว้างออกนี้โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าน้อยกว่า 5 พิโกวินาทีต่อนาโนเมตรต่อกิโลเมตร

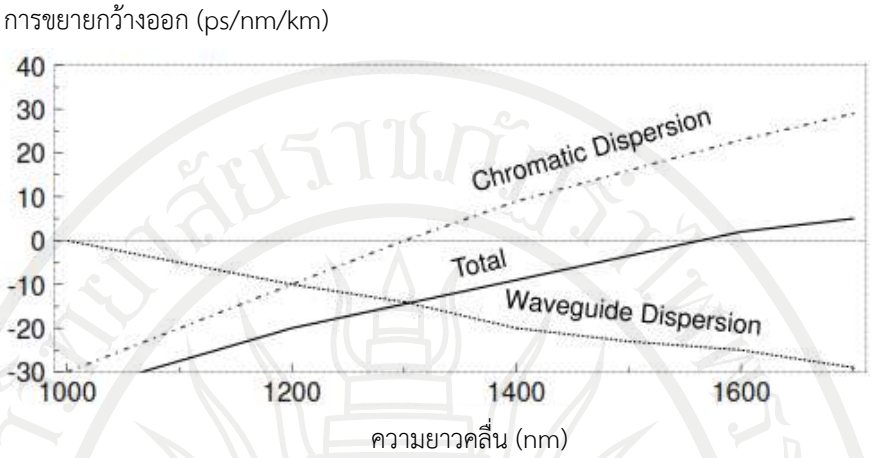
3.3 เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยวแบบมาตรฐาน

การขยายกว้างออกเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องกำจัดออกจากระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นจึงมีการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงโดยเฉพาะเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยวที่สามารถลดผลกระทบจากการขยายกว้างออกได้ ดัททัน เอช เจ อาร์ (Dutton, H. J. R., 1998, p. 62-65) ได้กล่าวถึงเส้นใยแก้วนำแสงเหล่านี้ไว้ดังนี้

3.3.1 เส้นใยแก้วนำแสงแบบดิสเพอร์ชันชิฟท์

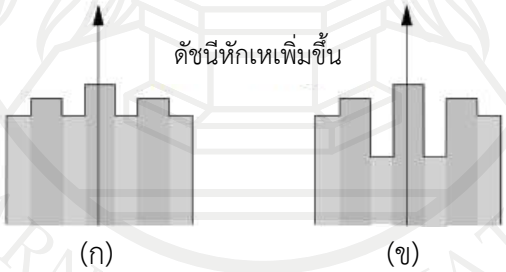
โดยทั่วไปแล้วเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว จะมีจุดที่ค่าการขยายกว้างออกเป็นศูนย์อยู่ที่ 1310 นาโนเมตร ดังภาพที่ 3.12 เป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ในเครือข่ายการสื่อสารระยะไกลส่วนใหญ่ทำงานที่ความถี่นี้ แต่ในช่วงความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร ก็เป็นอีกความยาวคลื่นหนึ่งที่นิยมใช้เช่นเดียวกัน เนื่องจากความยาวคลื่นนี้ มีข้อดีหลายประการ เช่น มีค่าการลดทอนที่ต่ำมากอีดีเอฟเอ

(Erbium doped fiber amplifiers: EDFAs) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณทางแสง ที่แบนด์วิดธ์กว้าง และมีคุณภาพสูง ก็ทำงานในช่วงความยาวคลื่นนี้



ภาพที่ 3.12 การขยายกว้างออกของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยว
ที่มา: Dutton, H. J. R., 1998 : 62

เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยวแบบมาตรฐานทั่วไป จะมีค่าการขยายกว้างออกที่สูงมากถึง 17 พิโกวินาทีต่อนาโนเมตรต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 1550 นาโมเมตร ดังนั้นจะมีการพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยวที่มีค่าการขยายกว้างออกที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร โดยการจัดการกับค่าดัชนีการหักเหของคอร์ดังภาพที่ 3.13 เพื่อให้เกิดการขยายกว้างออกที่หักล้างกับการขยายกว้างออกเนื่องจากวัสดุที่ใช้สร้าง (Chromatic dispersion) เรียกว่าเส้นใยแก้วนำแสงแบบดิสเพอร์ชันชิฟท์ (Dispersion shifted fiber)



ภาพที่ 3.13 ลักษณะของเส้นใยแก้ว (ก) แบบดิสเพอร์ชันชิฟท์ (ข) แบบดิสเพอร์ชันแฟลต
ที่มา: Dutton, H. J. R., 1998 : 62

เส้นใยแก้วนำแสงเส้นใยแก้วแบบดิสเพอร์ชันชิฟท์ ยังมีปัญหาในการนำไปใช้งานในระบบดับเบิ้ลยูดีเอ็ม (Wavelength division multiplexing: WDM) เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะใช้งานได้ดีสำหรับงานที่มีแหล่งกำเนิดแสงแหล่งเดียว จึงไม่เหมาะกับงานที่มีแหล่งกำเนินแสงหลายแหล่ง เช่น ที่ใช้ในระบบดีดับเบิ้ลยูดีเอ็ม (Dense wavelength division multiplexing: DWDM) เพราะจะก่อให้เกิดโฟร์เวฟมิกซิงเอฟเฟค (Four-wave mixing effects) ซึ่งทำให้เกิด

การซ้อนทับแบบแทรกสอดข้าม (Interference crosstalk) ขึ้นระหว่างช่องสัญญาณแสง ปัจจุบันเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้มีการใช้งานน้อยลง โดยมีสายชนิด Non-zero dispersion shifted ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้แทน

3.3.3 เส้นใยแก้วนำแสงแบบดิสเพอร์ชันแฟลต

เส้นใยแก้วนำแสงแบบดิสเพอร์ชันแฟลต (Dispersion flattened fiber) เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่ออกแบบมาเพื่อให้มีค่าการขยายกว้างออกน้อยกว่า 3 5 พิโกวินาทีต่อนาโนเมตรต่อกิโลเมตร ในช่วงความยาวคลื่น 1300 นาโนเมตร ถึง 1700 นาโนเมตร เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานได้ในระบบ 1300 นาโนเมตร และสามารถเปลี่ยนมาใช้ในระบบ 1500 นาโนเมตรได้ แต่เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ชนิดนี้ยังคงมีค่าการลดทอนที่สูงถึง 2 เดซิเบลต่อกิโลเมตร เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จึงยังมีการใช้งานในอุปกรณ์ทางแสงบางชนิดเท่านั้น

3.3.2 เส้นใยแก้วนำแสงแบบนอนซีโรดิสเพอร์ชันชิฟท์

เส้นใยแก้วนำแสง**แบบ**นอนซีโรดิสเพอร์ชันชิฟท์ (Non-zero dispersion-shifted fiber) คุณสมบัติที่เป็นจุดอ่อนของสายแบบดิสเพอร์ชันชิฟท์ได้ถูกแก้ไขขึ้น โดยทำให้มีคุณสมบัติการกระจายตัวของคลื่นแสงเป็นไปอย่างคงที่ตลอดทั้งกลุ่มของคลื่นแสงที่ 1550 นาโนเมตร ทำให้เส้นใยแก้วชนิดนอนซีโรดิสเพอร์ชันชิฟท์ สามารถใช้งานกับแหล่งกำเนิดแสงหลายแหล่ง หรือหลายช่องสัญญาณโดยไม่มีปัญหาเรื่องการแทรกสอดข้าม จึงใช้งานได้ดีกับระบบดีดับเบิ้ลยูดีเอ็มซึ่งช่วยทำให้การสื่อสัญญาณระยะไกลเป็นไปได้มากขึ้นและดีขึ้น ลักษณะของดัชนีหักเหของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้แสดงดังภาพที่ 3.14

ภาพที่ 3.14 ลักษณะเส้นใยแก้วนำแสงแบบนอนซีโรดิสเพอร์ชันชิฟท์
ที่มา: Dutton, H. J. R., 1998 : 63

3.3.4 เส้นใยแก้วนำแสงแบบชดเชยการขยายกว้างออก

เส้นใยแก้วนำแสงแบบชดเชยการขยายกว้างออก (Dispersion compensating fiber) เป็นเส้นใยแก้วนำแสงนำสัญญาณที่มีการออกแบบคุณสมบัติของคอร์ให้เกิดการขยายกว้างออกในทิศทางที่หักล้างกับการขยายกว้างออกเนื่องจากวัสดุเพื่อให้หักล้างกันเป็นศูนย์ โดยเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ที่นิยมใช้กันจะมีค่าการขยายกว้างออกอยู่ที่ -100 พิโกวินาทีต่อนาโนเมตรต่อกิโลเมตร และมีค่าการลดทอนอยู่ที่ 0.5 เดซิเบลต่อกิโลเมตร เส้นใยแก้วชนิดนี้จะมีขนาดของคอร์ที่เล็กกว่าเส้นใยแก้ว

นำแสงแบบโหมดเดี่ยวมาตรฐานทั่วไปเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากปรากฏการณ์ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear effect)

3.3.5 เส้นใยแก้วนำแสงแบบรักษาโพลาไรเซชัน

เส้นใยแก้วนำแสงแบบรักษาโพลาไรเซชัน (Polarization maintaining fiber: PMF) ในกรณีที่มีการส่งสัญญาณที่มีโพลาไรเซชันต่างกันไปในเส้นใยแก้วนำแสงเดียวกัน เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีคุณสมบัติในการรักษาหรือคงสถานะ โพลาไรเซชันของสัญญาณแสงเอาไว้ตลอดการเดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสง เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นด้วยเทคนิคการทำให้เส้นใยแก้วนำแสงมีค่าไบรีฟริงเจนท์ที่สูง ซึ่งหมายความว่าคอร์จะมีช่วงค่าความต่างของดัชนีการหักเหที่มากและมีค่าความเร็วกลุ่ม (Group velocity) ที่ต่างกันมากด้วย โครงสร้างมีลักษณะที่สมมาตร ดังภาพที่ 3.15 เป็นรูปแบบของเส้นใยแก้วนำแสงแบบรักษาโพลาไรเซชันที่นิยมใช้กันอยู่ โดยแบบวงรีเป็นแบบพื้นฐานที่ง่ายที่สุดความแตกต่างของค่าความเร็วกลุ่ม ระหว่างโหมดนี้จะช่วยลดโอกาสเกิดการรบกวนกันของสัญญาณ

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 3.15 เส้นใยแก้วนำแสงแบบรักษาโพลาไรเซชัน (ก) คอร์วงรี (ข) คอร์โบว์ไทย์ (ค) คอร์แพนด้า
ที่มา: Dutton, H. J. R., 1998 : 65

3.4 สรุป

หลักการสำคัญของการออกแบบระบบโครงข่ายการสื่อสารนั้น คือการส่งสัญญาณไปให้ถึงปลายทางด้วยความสมบูรณ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาถึงสาเหตุการลดทอน หรือผิดเพี้ยนของสัญญาณเพื่อใช้ในการหาระยะทางที่เหมาะสมในการทวนสัญญาณแสงให้กลับมามีความสมบูรณ์อีกครั้งก่อนส่งต่อออกไป ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง แม้ว่าจะมีการลดทอนหรือลดทอนที่น้อยแต่ก็ยังคงมีการลดทอนเกิดขึ้นได้ ทั้งการลดทอนที่เกิดจากตัวเส้นใยแก้วนำแสงเองจากกระบวนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสง และการลดทอนที่เกิดจากการติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสง นอกจากการลดทอนแล้วในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง จะพบความผิดเพี้ยงของสัญญาณที่เรียกว่าการขยายกว้างออก ซึ่งเป็นปัญหาหลักในการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง การขยายกว้างออกที่พบในเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยวและแบบหลายโหมด จะมีความแตกต่างกันออกไป สาเหตุของการเกิดการขยายกว้างออกนั้น จะขึ้นอยู่กับทั้งวัสดุที่นำมาสร้าง โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง และโหมดที่ใช้ในการส่งสัญญาณแสง ปัจจุบันได้มีการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงที่ช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากการขยายกว้างออกเป็นเส้นใยแก้วแบบโหมดเดี่ยวมาตรฐานอยู่หลายชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แบบฝึกหัดบทที่ 3

1. การขยายกว้างออกแบบใดที่เกิดกับเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมดเท่านั้น

2. เส้นใยแก้วโหมดเดี่ยว ณ ความยาวคลื่น 1.55 ไมครอน การลดทอนสัญญาณชนิดใดมากที่สุด

3. การที่สัญญาณแสงที่ความยาวคลื่นต่างกันเดินทางในเส้นใยแก้วด้วยความเร็วไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการขยายกว้างออกแบบใด

4. จงอธิบายการเกิดการขยายกว้างออกที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร ของเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว

5. ในการส่งสัญญาณแสงที่กำลังส่งส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสง W_1 ที่มีความยาว k กิโลเมตร วัดค่ากำลังงานที่รับได้ ณ ปลายทางได้ W_2 จงหาค่าการลดทอนในหน่วยเดซิเบลต่อกิโลเมตร

6. การลดทอนของเส้นใยแก้วนำแสงมีกี่ประเภท อะไรบ้าง

7. การคำนวณค่าการลดทอนของสัญญาณมีประโยชน์อย่างไร

8. การแก้ไขปัญหาของการลดทอนและกรขยายกว้างออกที่ไม่เท่ากันแต่ละความยาวคลื่นทำอย่างไร

9. ธาตุเออเบรียมมีคุณสมบัติที่ดีอย่างไร

10. เพราะเหตุใดการขยายกว้างออกจึงทำให้ไม่สามารถแปลผลข้อมูล ณ ปลายทางได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารอ้างอิง

กรมการสื่อสารทหาร. (ม.ป.ป.). **ระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง.** กรุงเทพฯ : ผู้แต่ง.

ธราดล โกมลมิศร์. (2556). **ช่องสื่อสาร.** เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์. (2557). **การสื่อสารทางแสง.** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://cw.rmuti.ac.th. สิงหาคม 2557.

Communications museum of Macao. (n.d.). **Optical Fibres**. (Online). Available: http://macao.communications.museum/eng/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2_8_3_OpticalFibres.html. August 2014.

Dutton, H. J. R. (1998). **Understanding Optical Communication**. . NC : IBM.

Olson technology. (n.d.). **NA Mismatch Loss.** (Online). Available : http://www.olson-technology.com/mr_fiber/glossary-n.htm. August 2014.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 4

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 4 แหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง

4.1 แหล่งกำเนิดแสง
4.2 เลเซอร์
4.3 แอลอีดี
4.4 อุปกรณ์รับแสง
4.5 พินไดโอด
4.6 อวาลานซ์โฟโต้ไดโอด
4.7 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อศึกษาบทที่ 4 แล้วนักศึกษาสามารถ
1. บอกถึงชนิดของแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงได้
2. อธิบายถึงหลักการทำงานของแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงได้
3. เลือกแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับชนิดของการสื่อสารได้

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. บรรยายพร้อมยกตัวอย่างประกอบ
2. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถามข้อสงสัย
3. ซักถามความเข้าใจของผู้เรียนแบบปากเปล่าและแบบฝึกหัดท้ายบท
4. ศึกษาจากเอกสารประกอบการสอน

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อนำเสนอด้วยพาวเวอร์พ้อย
2. สื่อวีดิโอ ประกอบ
3. เอกสารประกอบการสอนที่จัดพิมพ์โดยผู้สอน

การวัดผลและการประเมินผล

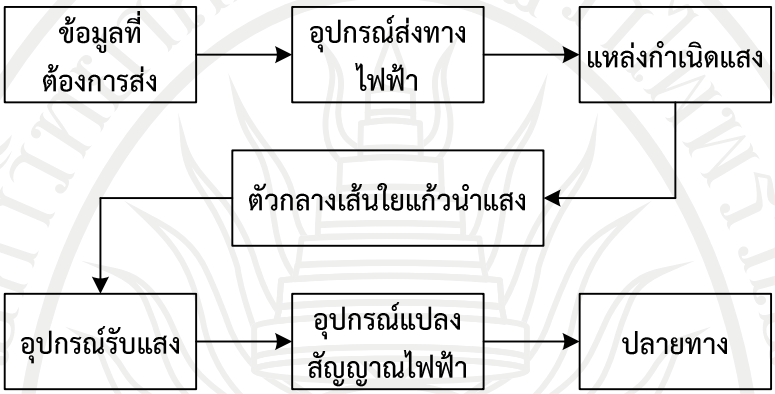
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

1. สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน
2. สังเกตจากการตอบคำถามแบบปากเปล่า
3. สังเกตจากการทำแบบฝึกหัดท้ายบท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทที่ 4
แหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง

ในการส่งสัญญาณแสงเข้าไปสู้เส้นใยแสงจำเป็นต้องใช้เครื่องส่งและเครื่องรับที่เหมาะสมทั้งทางต้นทางและปลายทางของเส้นใยแก้วนำแสงตามลำดับ เพื่อเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าและเปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ดังแสดงในภาพที่ 4.1



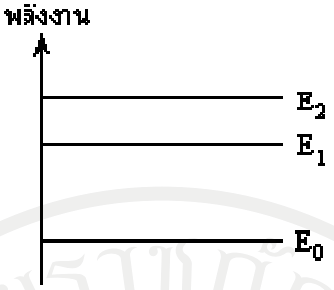
ภาพที่ 4.1 ระบบสื่อสารใยแสงแบบง่าย

4.1 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสง (Light source) คืออุปกรณ์หลักที่ใช้ภาคส่งของการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง เพื่อส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสง

ทัศนัย อากิม (2556) ได้กล่าวถึงแหล่งกำเนิดแสงไว้ว่า เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำให้ระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงแตกต่างจากระบบสื่อสารทั่วไปคืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณแสงที่ใช้นำข้อมูลไปในเส้นใยแก้วนำแสง โดยมีแหล่งกำเนิดแสงเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง (E/O converter) แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงต้องมีคุณสมบัติบางประการเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับเส้นใยแก้วนำแสง

กลุ่มวิจัยทัศนศาสตร์ (ม.ป.ป.) ได้กล่าวถึงการกำเนิดแสงไว้ว่า โครงสร้างของอะตอมซึ่งเป็นหน่วยย่อยของธาตุหรือสสาร นักฟิสิกส์ได้เสนอแบบจำลองอะตอมว่าประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่ตรงกลางซึ่งมีประจุบวกและมีอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบโคจรอยู่โดยรอบ การอยู่หรือการจัดวางของอิเล็กตรอนในอะตอมทำให้อะตอมมีพลังงานค่าหนึ่ง ซึ่งอะตอมจะมีพลังงานได้เพียงบางค่าเท่านั้น เรียกว่าพลังงานควอนไทซ์ (Quantized energy) ขึ้นอยู่กับจำนวนอิเล็กตรอนและประจุบวกที่อยู่ในนิวเคลียสของอะตอมนั้น ถ้าอะตอมได้รับพลังงานกระตุ้นที่เหมาะสมจะมีผลทำให้อะตอมมีพลังงานสูงขึ้น แต่โดยธรรมชาติแล้วเมื่อเวลาผ่านไปอย่างรวดเร็วอะตอมจะคายพลังงานส่วนเกินที่ได้รับออกมาเพื่อให้มีพลังงานต่ำลง เนื่องจากอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสในวงโคจรที่ต่างกันจะมีพลังงานที่แตกต่างกันซึ่งพลังงานดังกล่าวบ่งชี้ถึงพลังงานของอะตอมนั่นเอง เมื่อทำการจัดเรียงพลังงานต่างๆ ของอะตอมที่สามารถมีได้จากค่าน้อยไปหาค่ามากสามารถเขียนแผนภาพชั้นพลังงาน (Energy level) ของอะตอมได้ดังภาพที่ 4.2



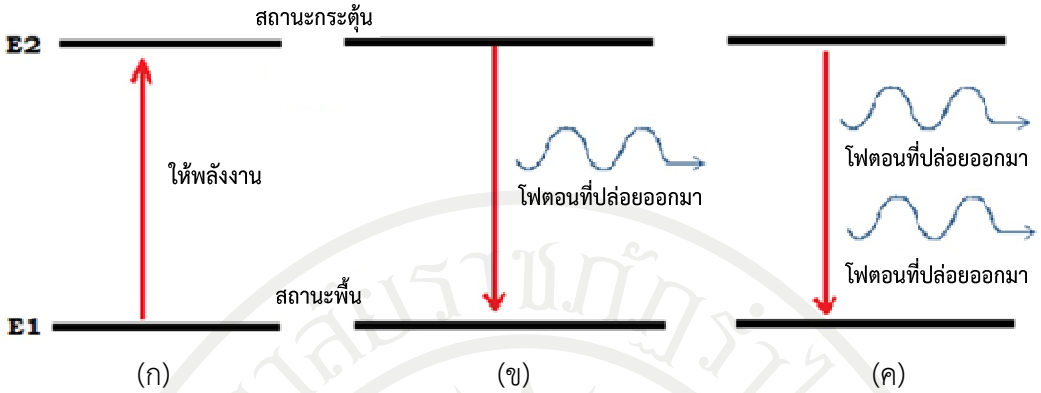
ภาพที่ 4.2 ชั้นพลังงานของอะตอม
ที่มา: กลุ่มวิจัยทัศนศาสตร์, ม.ป.ป.

อะตอมที่มีพลังงาน E_0 เป็นอะตอมที่อยู่ในสถานะพื้น (Ground state) แต่ถ้าอะตอมที่มีพลังงานสูงขึ้นไปจะอยู่ในสถานกระตุ้น (Excited states) ในสภาวะสมดุลความร้อนเมื่อพิจารณาอะตอมหนึ่งๆ จะมีพลังงานอยู่ค่าหนึ่งซึ่งจะสามารถอยู่ในชั้นพลังงานใดชั้นพลังงานหนึ่งได้ แต่ในธรรมชาติธาตุและสารประกอบจะประกอบด้วยอะตอมจำนวนมาก ดังนั้นในชั้นพลังงานของอะตอมสำหรับธาตุหรือสารประกอบจึงมีอะตอมหรือประชากรอะตอมกระจายอยู่ในจำนวนที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยมากแล้วประชากรอะตอมในชั้นพลังงานต่ำจะมีมากกว่าประชากรอะตอมในชั้นพลังงานสูง การเปลี่ยนชั้นพลังงานของประชากรอะตอมสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีพลังงานจากภายนอกมากระตุ้น เช่น การกระตุ้นโดยอนุภาคของแสง (โฟตอนแสง) ที่มีพลังงานเท่ากับความแตกต่างของระดับพลังงานพอดี กล่าวคือถ้าต้องการกระตุ้นอะตอมที่เดิมอยู่ในสถานพื้นให้ไปอยู่ในสถานะกระตุ้นที่ 1 อนุภาคของแสงที่ไปกระตุ้นต้องมีพลังงานเท่ากับขนาดของผลต่าง E_0 - E_1

การเปลี่ยนชั้นพลังงานของอะตอมที่เกิดขึ้นโดยการดูดกลืนโฟตอนแสง เป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การดูดกลืนแสง (Light absorption) แต่อะตอมที่อยู่ในชั้นพลังงาน E_1 จะไม่เสถียร เมื่อเวลาผ่านไปอย่างรวดเร็ว อะตอมนั้นจะกลับมาอยู่ในชั้นพลังงาน E_0 เช่นเดิม โดยปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของโฟตอนแสง ที่มีพลังงานเท่ากับ E_1 - E_0 ปรากฏการณ์ปลดปล่อยโฟตอนโดยธรรมชาตินี้เรียกว่าการปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous emission)

ในปี ค.ศ. 1917 ไอน์สไตน์ได้เสนอว่า นอกเหนือจากปรากฏการณ์ปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเองแล้วยังสามารถทำให้เกิดการปล่อยแสงได้โดยการถูกกระตุ้น (Stimulated emission) ได้ด้วย ลักษณะการปล่อยแสงได้โดยการถูกกระตุ้นแสดงดังภาพที่ 4.3 ซึ่งการปล่อยแสงโดยการถูกกระตุ้นนี้เป็นกลไกหลักในการกำเนิดแสงของเลเซอร์ ในขณะที่อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น เช่น อยู่ในชั้นพลังงาน E_2 ถ้ามีอนุภาคแสงจากภายนอกที่มีพลังงานเท่ากับความแตกต่างของระดับพลังงาน E_2–E_1 เข้ามาชนจะทำให้อะตอมที่อยู่ในชั้นพลังงาน E_2 นี้ ถูกกระตุ้นให้ลงมายังชั้นพลังงาน E_1 โดยมีการคายพลังงานออกมาในรูปของอนุภาคที่มีพลังงานเท่ากับ E_2–E_1 เนื่องจากอนุภาคแสงที่มาชนไม่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมที่ถูกชนทำให้จำนวนโฟตอนเพิ่มขึ้นเป็นสองอนุภาค (โฟตอนที่มากระตุ้นบวกกับโฟตอนที่ได้จากการเปลี่ยนสถานะของอะตอม)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 4.3 ปรากฏการณ์การเกิดแสงทั้ง 3 แบบ (ก) การดูดซับพลังงาน
(ข) ปล่อยแสงแบบเกิดขึ้นเอง (ค) การปล่อยแสงโดยการถูกกระตุ้น
ที่มา: Wikipedia, n.d.

โฟตอนทั้งสองนี้มีพลังงานเท่ากัน มีความถี่เดียวกัน มีเฟสตรงกัน มีโพลาไรเซชันเหมือนกัน และเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งถ้าพิจารณาในมุมมองของคลื่นแล้ว จะพบว่าเมื่อแสงสองขบวนมีความถี่ตรงกัน มีเฟสตรงกัน เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน สามารถที่จะรวมกันในลักษณะที่เสริมกันได้ ทำให้ได้คลื่นรวมที่มีขนาดโตขึ้น เกิดเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การขยายสัญญาณแสง (Light amplification) ขึ้น ถ้าสามารถทำให้เกิดการขยายสัญญาณแสงในลักษณะนี้กับอะตอมเป็นจำนวนมากได้ ก็จะทำให้ได้สัญญาณแสงที่มีความเข้มสูงออกมา

จากที่กล่าวมาเห็นได้ว่าปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการที่จะทำให้เกิดการขยายแสงโดยการกระตุ้นได้มาก คือการทำให้มีประชากรอะตอมในสถานะกระตุ้นมากๆ ซึ่งในธรรมชาติเป็นไปไม่ได้ จึงต้องมีการหาวิธีการที่จะทำให้ประชากรอะตอมในสถานะกระตุ้น E_1 มากกว่าสถานะพื้น E_0

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์ (2555, หน้า 79) ได้กล่าวเพิ่มเติมถึงแหล่งกำเนิดแสงไว้ว่า แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นที่ใช้ในระบบการสื่อสารใยแสงนั้นเป็นอุปกรณ์ที่สร้างมาจากสารกึ่งตัวนำ ได้แก่ แอลอีดี (LED) และเลเซอร์ ในการเลือกใช้งานแบบใดนั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงความต้องการของระบบนั้นด้วย กล่าวคือจะต้องพิจารณาในด้านของย่านความยาวคลื่นที่ใช้งาน กำลังในการรับ-ส่ง คุณสมบัติเชิงเส้น งบประมาณ และความยืดหยุ่นในการใช้งาน เป็นต้น

ทัศนัย อากิม (2556) ได้กล่าวถึงแหล่งกำเนิดแสงผ่านเส้นใยนำแสงในทางปฏิบัติว่า การกำเนิดแสงแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ การปล่อยเอง (Spontaneous emission) และการปล่อยแบบกระตุ้น (Stimulated emission) การกำเนิดโดยการปล่อยแบบกระตุ้น ทำให้ได้แสงที่มีความเข้มสูงซึ่งเป็นหลักการกำเนิดแสงของเลเซอร์ เหมาะกับการสื่อสารทางไกล ในขณะที่แอลอีดีกำเนิดแสงโดยการปล่อยเอง ทำให้แสงที่ได้มีความเข้มต่างๆ ไม่สามารถสร้างลำแสงแบบโหมดเดียวได้ สำหรับงานสื่อสารทางใกล้

จากข้อมูลข้างต้นทำให้สรุปได้ว่าในการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ที่ภาคส่งใช้อุปกรณ์ให้กำเนิดแสง ซึ่งได้แก่ เลเซอร์หรือแอลอีดี เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงเพื่อเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสง การเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงทั้งสองชนิดนี้ให้พิจารณา

จากระยะทางในหารส่งข้อมูลหรือความแม่นยำ ซึ่งหากเป็นการสื่อสารระยะใกล้ การเลือกใช้แอลอีดีจะเหมาะสมกว่า เนื่องจากมีราคาที่ต่ำกว่าเลเซอร์

4.2 เลเซอร์

เลเซอร์หรือเลเซอร์ไดโอด (Laser diode) หรือเลเซอร์กึ่งตัวนำ (Semiconductor lasers) เป็นอุปกรณ์ที่สร้างมาจากสารกึ่งตัวนำที่ผลิตการแผ่รังสีในสเปคตรัมแสงมองเห็นได้หรืออินฟาเรด ตัวอย่างของลักษณะภายนอกของเลเซอร์ แสดงดังภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.4 ลักษณะของอุปกรณ์เลเซอร์
ที่มา: Element 14, n.d.

แทน เชียงแขก (2548) ได้ให้คำจำกัดความของเลเซอร์ไว้ว่า เลเซอร์ (Laser) ย่อมาจาก Light amplification by stimulated emission of radiation หมายถึงเป็นการขยายแสงโดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมา แสงเลเซอร์นี้มีคุณสมบัติแตกต่างกับแสงที่เกิดจากการทำให้ขดลวดทังสเตนของหลอดไฟแบบหลอดไส้ (Incandescent lamp) นั่นคือแสงที่เกิดจากหลอดไส้ หรือหลอดนีออนและหลอดไฟแบบอื่นจะมีความยาวคลื่นและเฟสไม่แน่นอน แต่แสงที่ได้จากเลเซอร์นั้นมีความยาวคลื่นแสงและเฟสเท่ากันเป็นส่วนใหญ่ และยังมีลักษณะเด่นอีกคือมีทิศทาง (Directivity) ของแสงดีมากเหมาะแก่การนำมาใช้ในการสื่อสาร

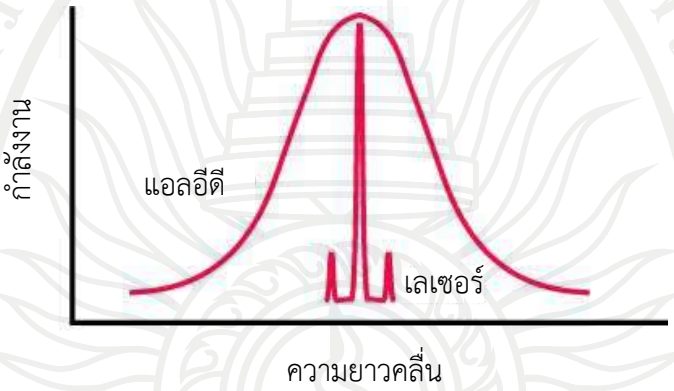
สารที่ให้กำเนิดแสงเลเซอร์ประดิษฐ์ได้ในปี ค.ศ. 1960 สารที่เป็นแก๊ส ได้แก่ แก๊ส He-Ne และอื่นๆ เรียกว่า เลเซอร์แก๊ส (GAS Laser) ประดิษฐ์ได้ในปี ค.ศ.1961 แต่ความต้องกา ในงานสื่อสารนั้น ต้องการเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor laser) ที่มีขนาดเล็กมากกว่า เช่น เลเซอร์โซลิด (Solid laser) แต่เลเซอร์แก๊สผลิตได้จำนวนมากเปลี่ยนไฟฟ้าให้เป็นแสงได้ดี แต่เลเซอร์ ที่ผลิตได้ในปี ค.ศ. 1960 นั้นมีอายุการใช้งานสั้นมากเพียงไม่กี่ชั่วโมง ยิ่งกว่านั้นถ้าหากต้องการให้มันปล่อยแสงต่อเนื่องกันจำเป็นจะต้องรักษาสภาพอุณหภูมิให้ต่ำมากๆ เอาไว้ จึงไม่เหมาะที่จะมาใช้กับงานการสื่อสาร

ดังนั้นในการวิจัยของเลเซอร์หัวข้อสำคัญคือการทำให้อายุการใช้งานของเลเซอร์มากขึ้น ในปี ค.ศ. 1970 ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ประสบผลสำเร็จในการผลิตเลเซอร์ด้วย Ga.Al.As (Gallium aluminum arsenide) ซึ่งสามารถทำงานที่อุณหภูมิปกติ และปล่อยแสงอย่างต่อเนื่องกันได้ จากนั้นมาการพัฒนาเลเซอร์ให้มีอายุการใช้งานนานขึ้นก็ประสบผลสำเร็จก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ปี ค.ศ. 1980 อายุการใช้งานมีค่ามากกว่า 100,000 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ในการสื่อสารใยแสงที่ต้องการคุณภาพการส่งข้อมูลสูง หรือต้องการให้ส่งข้อมูลไปได้ไกลเพื่อลดจำนวนสถานีทวนสัญญาณจะนิยมใช้เลเซอร์มากกว่าแอลอีดี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทเกษม (ม.ป.ป. ข) ได้อธิบายถึงข้อดีของเลเซอร์ไว้ ดังนี้

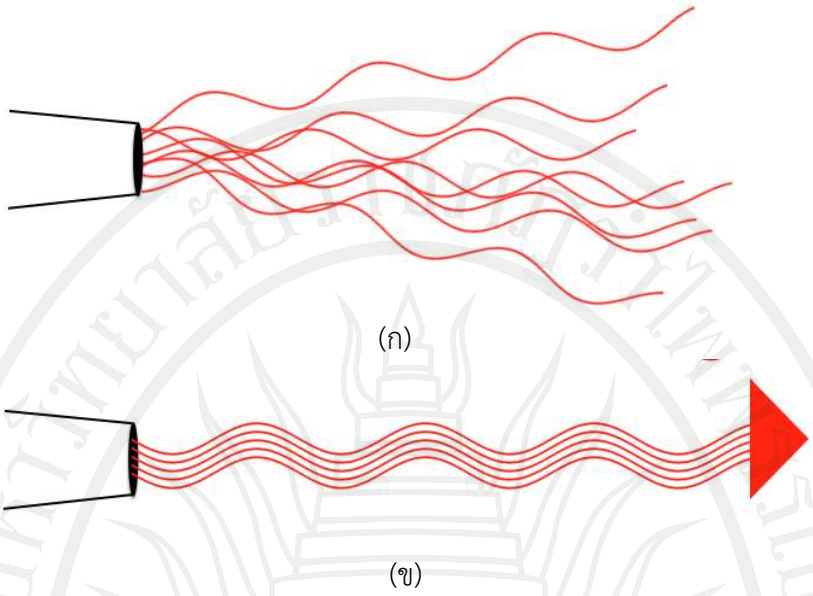
1) ลักษณะเป็นแสงสีเดียว (Monochromaticity) คือ ให้แสงความยาวคลื่นคงที่ แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติเป็นแสงสีเดียว (Monochromatic light) สเปคตรัมของแสงเลเซอร์เปรียบเทียบแอลอีดีแสดงดังภาพที่ 4.5 เนื่องจากแสงเลเซอร์ที่เปล่งออกมาจากการเปลี่ยนชั้นพลังงานที่เป็นชั้นพลังงานเดี่ยว (Discrete energy levels) ในระบบอะตอมหรือโมเลกุล ความถี่ของแสงมีค่าแน่นอนตามผลต่างของชั้นพลังงานทั้งสอง และยังมีส่วนในการเร้าให้เกิดการปล่อยแสงโดยการถูกกระตุ้นโดยอาศัยกลไกของการขยายสัญญาณแสงด้วยออบติคอลคาวิตี้ (Optical cavity) จึงเกิดแสงที่มีความถี่เดียวกันอีกจำนวนมาก จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมแสงเลเซอร์จึงเป็นแสงสีเดียว



ภาพที่ 4.5 ความกว้างของสเปคตรัมของแอลอีดีและเลเซอร์ไดโอด
ที่มา: The fiber optic association, n.d.

สีของแสงเลเซอร์มีครอบคลุมสเปคตรัมตั้งแต่อัลตราไวโอเลตจนถึงอินฟาเรด เช่น ในช่วงอัลตราไวโอเลต ได้แก่ เลเซอร์เอกไซเมอร์ เลเซอร์ไนโตรเจน ซึ่งตามองไม่เห็น ในช่วงแสงที่ตามองเห็นได้แก่ เลเซอร์อาร์กอนซึ่งมีสีเขียว สีฟ้า เลเซอร์ฮีเลียม-นีออนซึ่งมีสีแดง เลเซอร์ทับทิมซึ่งมีสีแดง และในช่วงอินฟาเรด ได้แก่ เลเซอร์แยค เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งตามองไม่เห็นเช่นเดียวกัน เป็นต้น สีหรือค่าความยาวคลื่นที่มีค่าเดียวนี้จึงเป็นลักษณะสมบัติเฉพาะตัวของเลเซอร์แต่ละชนิดและมีประโยชน์ในการระบุแยกออกจากแสงแบล็คการ์ดอื่นๆ ได้ จึงเป็นประโยชน์เมื่อนำมาใช้งานในด้านต่างๆ

2) มีความพร้อมเพรียง (Coherence) หรือมีความต่างเฟสคงที่ตลอดเวลา แสดงดังภาพที่ 4.6 เป็นลักษณะของคลื่นที่มีความเป็นระเบียบ คลื่นที่เป็นระเบียบย่อมมีพลังงานและโมเมนตัม เพราะพลังงานและโมเมนตัมของโฟตอนแต่ละตัวจะเสริมกันและมี (Impact) ในทิศทางเดียวกัน ถ้าเปรียบเทียบกับความพร้อมเพรียงของฝีพายเรือ ถ้าฝีพายเรือมีความพร้อมเพรียงกันดี และออกแรงเท่าๆ กันย่อมสามารถนำเรือวิ่งไปได้เร็วกว่าฝีพายที่แจวกันคนละทีสองทีไม่พร้อมกัน ถึงแม้จะมีฝีพายบางคนที่มีแรงพายมากก็ตามพร้อมเพรียงจึงเป็นสิ่งที่ทรงพลัง และมีประสิทธิภาพด้วย ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เด่นของแสงเลเซอร์



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบหน้าเฟสและลำแสงที่ได้จาก (ก) แอลอีดี (ข) เลเซอร์
ที่มา: Larsen, K., 2014

ในอุดมคติต้องการให้คลื่นแสงที่อยู่ในออบติคอบคาวิตี้มีความพร้อมเพรียงดีอย่างสมบูรณ์แบบ แม้เมื่อแสงนั้นออกจากตัวเลเซอร์ และเคลื่อนที่ไปในบรรยากาศหรือตัวกลางอื่นใดแล้วก็ตาม แต่ในทางปฏิบัติคลื่นแสงที่วิ่งผ่านตัวกลางของเลเซอร์หรือตัวกลางอื่นๆ แล้วมักเกิดปฏิสัมพันธ์กับวัตถุเหล่านั้นอาจสูญเสียพลังงานโมเมนตัมหรือเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ไปบ้าง ทำให้ความพร้อมเพรียงลดน้อยลงได้ ระยะทางที่แสงยังคงมีความพร้อมเพรียงได้สมบูรณ์แบบนี้ เรียกว่าความยาวโคฮีเรนท์ (Coherent length) แสงที่วิ่งผ่านเนื้อวัตถุแต่ละชนิดจะมีความยาวโคฮีเรนท์ไม่เท่ากันขึ้นกับชนิดของวัตถุ ปริมาณจุดบกพร่องในเนื้อสาร และความสม่ำเสมอของเนื้อสาร ดังนั้นตัวกลางของเลเซอร์จึงมีความยาวจำกัด เช่น แท่งทับทิม แท่งผลึกแยค หรือแท่งแก้วที่ใช้ทำเลเซอร์จะมีความยาวที่เหมาะสมต้องเป็นผลึกที่สมบูรณ์แบบ มีจุดบกพร่องน้อย และมีเนื้อที่สม่ำเสมอ ผลึกเหล่านี้จึงมักต้องเป็นผลึกที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ (Artificial grown crystal) เพราะผลึกที่เกิดเองตามธรรมชาติมีจุดบกพร่องมากเกินไป ทำให้มีค่าความยาวโคฮีเรนท์สั้นเกินกว่าที่จะนำมาทำเป็นตัวกลางของเลเซอร์ได้ ส่วนตัวกลางเลเซอร์ที่เป็นก๊าซ จะมีความสม่ำเสมอของเนื้อสารมากกว่าจึงสามารถออกแบบให้มีขนาดยาวได้เพื่อที่จะได้กำลังเลเซอร์สูง แต่ก็มีความหนาแน่นของเนื้อสารน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นของแข็งมาก เนื้อสารของตัวกลางเลเซอร์ที่มีความสม่ำเสมอดี และมีความหนาแน่นของเนื้อสารสูงด้วย ได้แก่ของเหลวหรือดายเลเซอร์ (Dye laser) จึงเป็นเลเซอร์ที่มีขนาดไม่ยาวนักแต่ให้กำลังต่อความยาวหนึ่งหน่วยของตัวกลางได้สูง

3) มีทิศทางที่แน่นอน (Directionality) มีลำแสงที่แคบไม่บานออก ลักษณะดังภาพที่ 4.4 เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงเป็นลำขนาน ขนาดของลำแสงดีเลิศมีความแตกต่างของลำแสงเพียงเล็กน้อย ลำแสงที่ขนานจึงมีทิศทางการเคลื่อนที่ที่แน่นอน และชี้ไปยังทางเดียวกันยังเป้าที่ต้องการได้ จึงมีประโยชน์ทางด้านเรดาร์ และการใช้งานอื่นๆ ที่ต้องอาศัยการมีทิศทางที่แน่นอน

ของสำแสง ลำแสงที่ขนานอย่างสมบูรณ์แบบนี้หากนำไปโฟกัสเพื่อรวมแสงแล้ว จะได้จุดรวมแสงที่มีขนาดเล็กมากและความเข้มสูงมาก จึงมีประโยชน์ทางด้านการเจาะตัดวัสดุที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงและรอยเจาะตัดที่คมชัด

สาเหตุที่ลำแสงเลเซอร์มีทิศทางที่แน่นอนนี้ ซึ่งแสดงถึงการขยายสัญญาณแสงภายในออบติคอลคาวิตี้ โฟตอนที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ในแกนแสง (Optical axis) เท่านั้นที่จะถูกขยายสัญญาณเป็นแสงเลเซอร์ ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงเป็นแสงที่อยู่ในแนวแกนแสง หรือตั้งฉากกับกระจกที่ใช้เป็นออบติคอลคาวิตี้ แต่เนื่องจากกระจกที่ใช้ทำออบติคอลคาวิตี้นี้ มักเป็นกระจกเว้าที่มีจุดโฟกัสยาวพอสมควรเพื่อให้ออบติคอลคาวิตี้นั้นมีเสถียรภาพทางแสงดี ดังนั้นแสงเลเซอร์ที่หลุดพ้นจากคาวิตี้ออกมาจะมีความแตกต่างของลำแสงดังที่กล่าวมาแล้ว การขยายกว้างออกของลำแสงเลเซอร์นี้น้อยมากเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่น เช่น ลำแสงเลเซอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จะบานออกเป็น 10 เซนติเมตร ในระยะทาง 100 เมตร เท่านั้น

4) มีความเข้ม (Intensity หรือ Brightness) สูงมาก การที่แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติเป็นแสงสีเดียวนี้เองทำให้พลังงานที่ป้อนให้กับระบบเลเซอร์ถูกนำออกมาใช้ในการสร้างแสงที่มีความถี่เดียวเท่านั้น ในขณะที่แหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่น เช่น การแผ่รังสีของวัตถุดำ (Black-body radiator) ต้องใช้พลังงานในการสร้างแสงที่มีความถี่ค่าต่างๆ กระจายกันออกไปตามกฎการกระจายของแพลงค์ (Planck distribution) หากตั้งสมมติฐานว่าพลังงานที่ป้อนให้แก่แหล่งกำเนิดแสงทั้งสอง มีค่าเท่ากันและประสิทธิภาพในการกำเนิดแสงของระบบมีค่าเท่ากันด้วย พื้นที่ภายในพีคที่มีสเปคตรัมแคบๆ ของแสงเลเซอร์จะสูงมาก จึงเป็นสาเหตุที่มาของการเป็นแสงที่มีความเข้มสูงที่ค่าความถี่หนึ่ง การเป็นแสงสีเดียวจึงมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติแสงความเข้มสูงของเลเซอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทเกษม. (ม.ป.ป. ก). ได้กล่าวไว้ว่าเลเซอร์ที่ใช้งานในอุตสาหกรรมนั้นมีทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลวและแก๊ส ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการสร้างให้เกิดเลเซอร์ได้จะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่

1) ตัวกลางของเลเซอร์ (Laser medium)

ตัวกลางของเลเซอร์ได้แก่ระบบอะตอมหรือโมเลกุลของสสารที่ใช้ทำเลเซอร์ซึ่งอาจจะมีสภาพเป็น ก๊าซ ของแข็ง ของเหลวก็ได้ เช่น ก๊าซอีเลียมผสมนีออน (He-Ne) ก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซค์ผสมไนโตรเจน และ อีเลียม (CO_2-N_2-He) ก๊าซอีเลียมผสมไอโอหะแคดเมียม (He-Cd) ของแข็ง ได้แก่ ผลึกทับทิม ผลึกแยค ผลึกแก้ว ผลึกสารกึ่งตัวนำ

คุณสมบัติร่วมกันอย่างหนึ่งของตัวกลางเลเซอร์ก็คือ จะต้องมีชั้นพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการป้อนพลังงานให้ชั้นพลังงานที่อยู่สภาพถูกกระตุ้น จะต้องมีเวลาพักสูงเพื่อให้เกิดสภาพป๊อปปูเลชันอินเวอร์ชันได้ง่าย หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าระบบตัวกลางของเลเซอร์จะต้องมีความสามารถในการเก็บกักพลังงานที่ป้อนให้ไว้ได้ในช่วงเวลาที่เหมาะสม จนกว่าจะมีการเร้าให้เกิดการถ่ายเทพลังงานออกจากระบบในรูปของการกระตุ้นให้ปล่อยแสง หากระบบอะตอมหรือโมเลกุลใดที่มีคุณสมบัติดังกล่าวแล้วการเก็บพลังงานจะได้ไม่เกิดขึ้น ระบบจะมีการสูญเสียพลังงานมากกว่าทำให้ไม่สามารถใช้งานในการขยายสัญญาณแสงได้จึงใช้เป็นตัวกลางของเลเซอร์ไม่ได้ หากจะเปรียบเทียบระบบอะตอมหรือโมเลกุลใดที่ใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์ไม่ได้ หากเปรียบเทียบระบบอะตอมหรือโมเลกุลที่ใช้เป็นตัวกลางของเลเซอร์นี้เหมือนกับถังน้ำ ก็ควรเป็นถังน้ำที่ไม่มีรูรั่วไหลสามารถเก็บกักน้ำได้ตามต้องการ และสามารถนำน้ำนั้นออกมาใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพโดยการเปิดก๊อกน้ำได้ในเวลา

ที่ต้องการแต่ถ้าถังน้ำนั้นมีรอยรั่วไหลมาก ให้น้ำเข้าไปเท่าไรก็รั่วไหลหมด การเก็บกักน้ำก็ทำไม่ได้ เมื่อต้องการจะเปิดก๊อกเพื่อเอาน้ำมาใช้งานก็ไม่มีน้ำจะให้ใช้

2) การป้อนพลังให้แก่ตัวกลางของเลเซอร์

เมื่อตัวกลางของเลเซอร์ที่เหมาะสมแล้วต้องหาวิธีการป้อนพลังงาน (Energy pumping) ให้แก่ตัวกลางนี้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้มีการเก็บกักพลังงานในรูปของประชากรผกผัน (Population inversion) ในระบบวิธีการป้อนพลังงานแก่ตัวกลางของเลเซอร์มีได้หลายวิธี ได้แก่

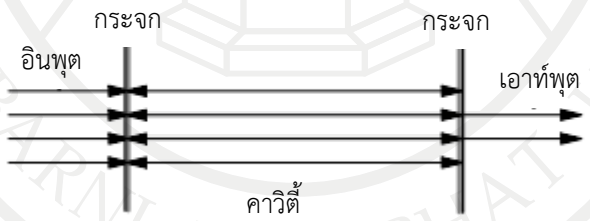
2.1) การป้อนพลังงานแสง (Optical pumping) โดยใช้หลอดไฟแสงสว่างกำลังสูง เช่น หลอดนีออน (Xe-lamp) สำหรับเลเซอร์ทับทิม เลเซอร์แยค เลเซอร์แก้ว หรือใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ด้วยกันเป็นตัวป้อนพลังงานให้แก่เลเซอร์ชนิดหนึ่ง เช่น การใช้เลเซอร์ไนโตรเจน เลเซอร์อาร์กอนในการป้อนพลังงานแก่เลเซอร์ของเหลว (Dry laser) เป็นต้น

2.2) การป้อนพลังงานไฟฟ้า (Electrical pumping) โดยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงในการทำก๊าซดิสชาร์จเมื่อตัวกลางของเลเซอร์มีสภาพเป็นก๊าซ สำหรับเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์อาร์กอน เลเซอร์คาบอนไดออกไซค์ เลเซอร์ไนโตรเจน ฯลฯ หรือใช้แบตเตอรี่ไฟฟ้าในการฉีดกระแสหรือฉีดพาหะเข้าสู่หัวต่อพีเอ็น สำหรับเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ

2.3) การป้อนพลังงานด้วยลำอิเล็กตรอน (Electron beam pumping) โดยใช้สำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงยิงเข้าไปกระตุ้นให้โมเลกุลของก๊าซเกิดการกระตุ้น เช่น กรณีของเลเซอร์เอกไซเมอร์ (Excimer laser) ชนิดต่างๆ

3). การสร้างระบบป้อนกลับทางแสง

ระบบป้อนกลับทางแสง (Optical cavity) เป็นองค์ประกอบสุดท้ายที่ต้องมีเพื่อให้เกิดการขยายทางแสง แสงที่เปล่งออกมาจากตัวกลางสะท้อนกลับไปกลับมาภายในออบติคอลคาวิตี้โดยกำธร (Resonance) ที่ความถี่เดียว ออบติคอลคาวิตี้หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าฟาบี้-พีรอท คาวิตี้ (Fabry-perot cavity) แสดงดังภาพที่ 4.7 จะเลือกสะท้อนแสงเฉพาะที่บางความยาวคลื่น ดังนั้นถ้าหากจะมีการเปล่งแสงออกมาความยาวคลื่นที่ไม่กำธรกับคาวิตี้ก็จะสูญเสียกำลังไป เหลือแต่แสงที่มีความยาวคลื่นหนึ่งค่าเท่านั้น จึงเป็นสาเหตุที่มาของคุณสมบัติเป็นแสงสีเดียวของแสง



ภาพที่ 4.7 โครงสร้างของไดโอดเลเซอร์แบบฟาบี้-พีรอท
ที่มา: Dutton, H. J. R., 1998 : 102

ดัททัน (Dutton, H. J. R., 1998, p. 102) ได้อธิบายเกี่ยวกับการทำงานของฟาบี้-พีรอท ว่า แสงอินพุตจะเดินทางเข้าสู่คาวิตี้ที่ด้านซ้ายผ่านกระจกที่อยู่ทางด้านซ้ายและผ่านออกไปยังกระจกที่อยู่ทางด้านขวา ซึ่งเฉพาะแสงที่มีความยาวคลื่นกำธรกับคาวิตี้เท่านั้นที่จะสามารถผ่านกระจกทางด้านขวาออกไปเป็นสัญญาณเอาต์พุตได้ ส่วนแสงที่ความยาวคลื่นอื่นจะถูกลดทอนลงทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

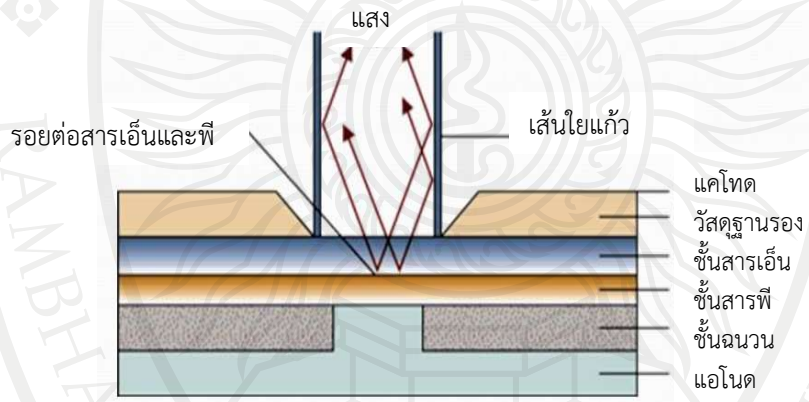
4.3 แอลอีดี

แอลอีดี (Light Emitting Diode: LED) หรือไดโอดเปล่งแสง ใช้การให้กำเนิดแสงโดยการปล่อยเองทำให้แสงที่ได้มีความเข้มต่างๆ ไม่สามารถสร้างลำแสงแบบโหมดเดี่ยวได้

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์ (2555, หน้า 86) ได้ให้ความหมายของแอลอีดีไว้ว่า แอลอีดีที่ใช้ในระบบสื่อสารจะแตกต่างกับแอลอีดีที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป กล่าวคือจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่า ในขณะที่แอลอีดีโดยทั่วไปอาจประกอบด้วยสารพีและเอ็นพียงสองชั้นเท่านั้นก็สามารถกำเนิดแสงได้แล้ว โดยที่ไม่ต้องคำนึงถึงบีมของลำแสงที่กระจายออกทุกทิศทาง ในส่วนของแอลอีดีที่ใช้ในระบบสื่อสารมี 2 ประเภท ได้แก่

4.3.1 แอลอีดีประเภทกำเนิดแสงด้านหน้า

แอลอีดีประเภทกำเนิดแสงด้านหน้า (Surface-emitting LED) ถูกนำมาใช้กับระบบสื่อสารใยแสงชนิดหลายโหมด เนื่องจากในยุคแรกนั้นคุณภาพของการกำเนิดแสงยังไม่ดีนัก บีมของลำแสงที่กำเนิดได้จะค่อนข้างกว้างในขณะที่มุมรับแสงของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวจะแคบ จึงไม่เหมาะกับการใช้อุปกรณ์กำเนิดแสงแบบแอลอีดี ต่อมาได้การพัฒนาแอลอีดีประเภทนี้ให้มีคุณภาพดีขึ้น จึงเริ่มมีการนำมาใช้กับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวด้วย แอลอีดีประเภทกำเนิดแสงด้านหน้ามีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 4.8

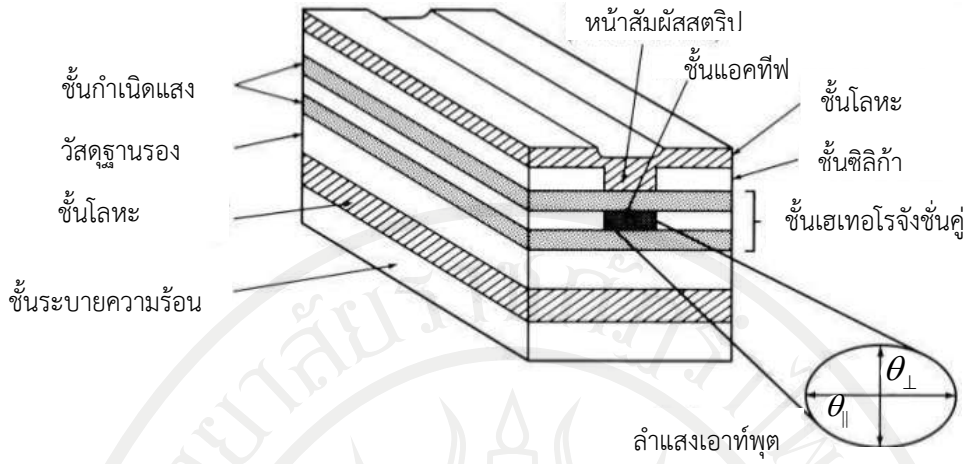


ภาพที่ 4.8 โครงสร้างของแอลอีดีประเภทกำเนิดแสงด้านหน้า
ที่มา: Khan S. A., n.d.

4.3.2 แอลอีดีประเภทกำเนิดแสงด้านข้าง

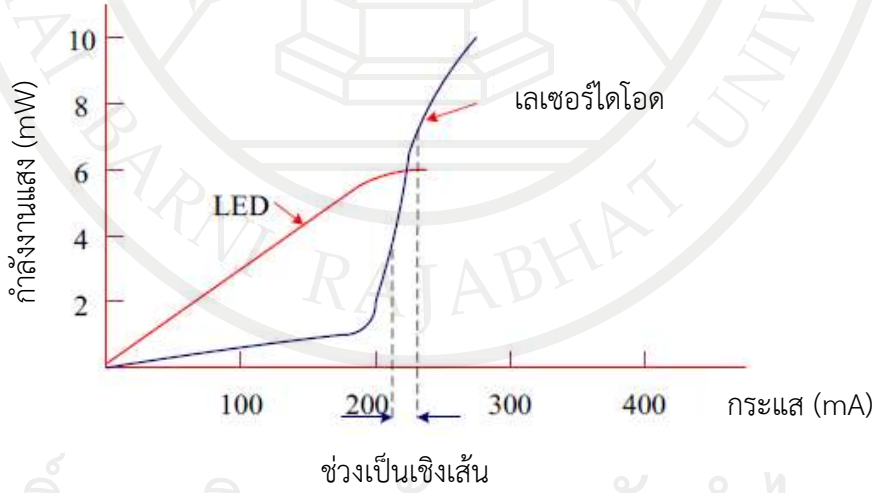
แอลอีดีประเภทกำเนิดแสงด้านข้าง (Edge-emitting LED) นี้ผลิตขึ้นจากวัสดุอินเดียมแกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (InGaArP) มีลักษณะคล้ายคลึงกับโครงสร้างของแอลอีดีประเภทกำเนิดแสงด้านหน้าเพียงแต่แสงที่กำเนิดออกมาถูกบังคับให้ออกทางด้านข้างแทนด้วยการปิดชั้นโลหะด้านบนไว้ โดยชั้นของแอคทีฟมีความหนาในช่วง 0.05-0.25 ไมครอน ซึ่งบางกว่าชั้นแอคทีฟของแอลอีดีเปล่งแสงด้านหน้าดังภาพที่ 4.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 4.9 โครงสร้างของแอลอีดีประเภทกำเนิดแสงด้านข้าง
ที่มา: Khan S. A., n.d.

แทน เชียงแขก (2548) ได้อธิบายได้ผลที่เกิดขึ้นเมื่อป้อนกระแสหรือกระตุ้นสารกึ่งตัวนำไว้ ดังภาพที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าเนื่องจากแอลอีดีใช้ปรากฏการณ์การปล่อยแสงเองตามธรรมชาติ ดังนั้น ปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ป้อนเข้าไปหรือการกระตุ้น แต่สำหรับเลเซอร์นั้นใช้ปฏิกิริยาการออสซิลเลชัน (Oscillation) โดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสง ดังนั้น ปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมานั้นมีลักษณะที่มีการเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเลยค่าของกระแสค่าหนึ่ง (Threshold value current) ไปแล้ว จากการพิจารณาดูคุณสมบัติของแอลอีดีและเลเซอร์ที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่าเกี่ยวกับกำลังงานเอาท์พุตของแสงเลเซอร์จะมีค่ามากกว่า เพราะมีการออสซิลเลชันและการขยายของแสง และเกี่ยวกับกำลังงานอินพุตที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงก็เช่นกัน เนื่องจากเลเซอร์มีคุณสมบัติทิศทางของแสงดีกว่าเป็นผลให้มีการสูญเสียการเชื่อมแสงกับเส้นใยแก้วนำแสงต่ำทำให้กำลังงานของแสงป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้มาก



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 4.10 คุณลักษณะทางด้านกำลังงานแสงและกระแสไบอัส
ที่มา: แทน เชียงแขก, 2548

เนื่องจากความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมานั้นเป็นสัดส่วนกับผลต่างของพลังงานของคอนดักชันแบนด์กับวาเลนซ์แบนด์ แต่ผลต่างของพลังงานนี้จะมีค่าแตกต่างกันตามส่วนประกอบสารกึ่งตัวนำจึงทำให้มีความยาวคลื่นแสงค่าต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับสารประกอบของอุปกรณ์ปล่อยแสง และจาการพิจารณาถึงคุณสมบัติของสารในทางปฏิบัตินั้นสำหรับย่านความยาวคลื่นสั้น 0.85 ไมครอน นิยมใช้แกลเลียมอลูมินัมอาร์เซไนด์ (GaAlAs) และผ่านความยาวคลื่นยาว 1.3 ไมครอน นิยมใช้อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (InGaAsP) ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงการเลือกใช้ความยาวคลื่นแสงถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมาก จึงมีผลจำกัดต่อการเลือกใช้สารประกอบ

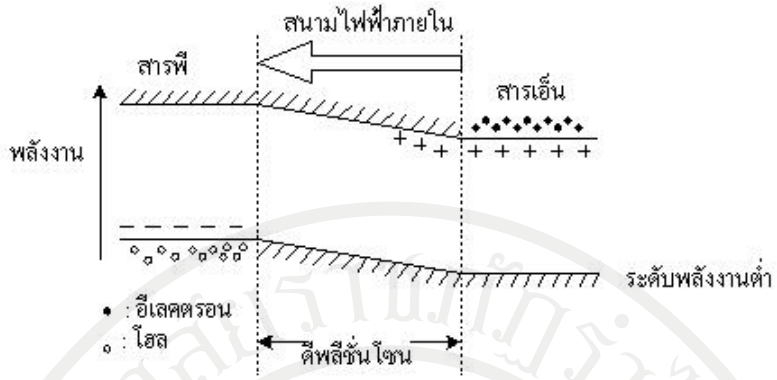
จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 2 ชนิด จะพบว่าแม้ช่วงความยาวคลื่นแสงและกำลังงานเอาท์พุตของของแอลอีดีนั้นเมื่อเทียบกับเลเซอร์ จะมีค่าน้อยกว่า แต่ข้อดีคือโครงสร้างของแอลอีดีนั้นไม่ยุ่งยากทำให้สร้างได้ง่ายและมีราคาถูกมากกว่า ผลตอบสนองของแหล่งกำเนิดแสงต่อค่าแรงดันหรือกระแสพัลส์เป็นสิ่งกำหนดความเร็วในการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ความเร็วของการตอบสนองต่อค่าแรงดันหรือกระแสอินพุตจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้และโครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสง โดยทั่วไปค่าความเร็วของการตอบสนองของแอลอีดีจะต่ำกว่าเลเซอร์ไดโอด ตัวอย่างคุณลักษณะของเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว ที่ใช้อุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบใช้เลเซอร์ส่งข้อมูลได้ไกลไม่เกิน 40 กิโลเมตร เส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด ที่ใช้อุปกรณ์รับส่งแบบใช้เลเซอร์ส่งข้อมูลได้ไกลไม่เกิน 2 กิโลเมตร ดังนั้นการเลือกแหล่งกำเนิดแสงให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานควรพิจารณาเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมเพื่อเกิดความสมดุลในด้านของประสิทธิภาพการใช้งานและการลงทุนในการสร้างระบบได้

4.4 อุปกรณ์รับแสง

อุปกรณ์รับแสง (Photo detector) เป็นอุปกรณ์ที่สร้างมาจากสารกึ่งตัวนำ อยู่ด้านภาครับของระบบการสื่อสารใยแสงทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า การเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ามีอยู่หลายชนิดด้วยกัน อุปกรณ์เหล่านี้มีวิธีการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าอยู่ 2 แบบ คือ วิธีที่แรก เรียกว่า โฟโต้อิเล็กทริกเอฟเฟค (Photo electric effect) วิธีที่ 2 ทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า เรียกว่าเซนซิทีฟฮีทเอฟเฟค (Sensitive heat effect)

กรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 281). ได้อธิบายไว้ว่า หลักการโฟโต้อิเล็กทริกเอฟเฟค เมื่อมีแสงมาตกกระทบสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำจะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงแต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแต่เพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปเท่านั้น และในที่สุดจะไปรวมกันใหม่กับโฮลในระดับพลังงานต่ำอีก ทำให้ไม่ได้รับโฟโตอิเลคทริคเอฟเฟคเพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า จะต้องใช้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับโฮลก่อนที่มันจะรวมกันแสดงดังภาพที่ 4.11

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



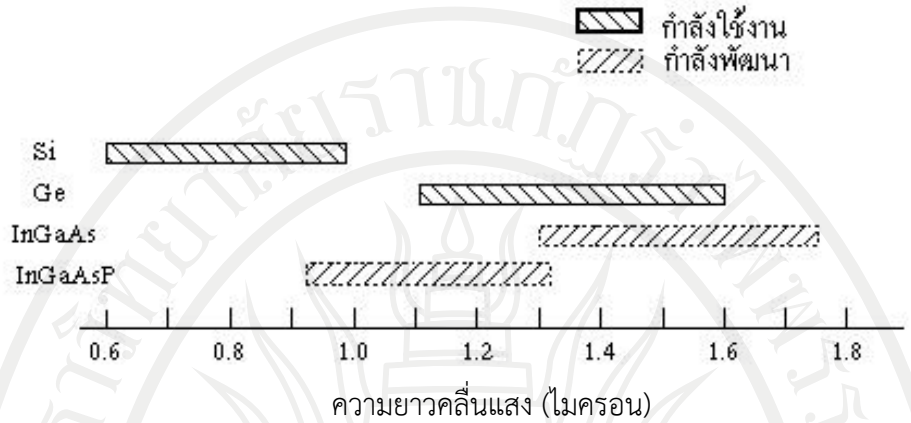
ภาพที่ 4.11 ดีพลีชั่นโซน
ที่มา: กรมการสื่อสารทหาร, ม.ป.ป. : 281

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสงคือ เพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอนกับโฮลนั้นโดยทั่วไปใช้รอยต่อพีเอ็น ที่รอยต่อของพีกับเอ็นนั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าในที่ว่างขึ้น แต่มันจะถูกดึงด้วยอิเล็กตรอนของสารเอ็นและโฮลของสารพีซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบและบวก เป็นผลให้เกิดบริเวณที่ไม่มีอิเล็กตรอนและโฮลขึ้น ตรงรอยต่อบริเวณนี้เรียกว่าดีพลีชั่นโซนดังแสดงในภาพที่ 4.11 ในสภาพนี้เมื่อมีแสงมากระทบจากทางด้านบริเวณสารพีแสงนั้นจะถูกดูดพร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปทางบริเวณสารเอ็น แต่ที่ดีพลีชันโซนอิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากการดูดพลังงานจากแสงจะถูก พื้นที่สนามไฟฟ้าว่าง (Space electric field) แยกไปในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคืออิเล็กตรอนไปทางด้านเอ็นและโฮลไปทางด้านพีที่บริเวณซึ่งอยู่ห่างจากดีพลีชั่นโซนนั้น เนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้าอิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากโฟโตอิเล็กทริคเอฟเฟคจะรวมตัวกันใหม่ ในระหว่างเคลื่อนที่ แต่สำหรับอิเล็กตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่เข้าไปในพื้นที่สนามไฟฟ้าว่างแล้วนั้น จะสามารถเข้าไปยังบริเวณตรงกันข้ามได้ ผลที่ได้ก็คือ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับบริเวณของอิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกแยกขึ้นระหว่างปลายทั้งสองของสารพีและสารเอ็น ถ้าหากนำวงโคจรภายนอกมาต่อกับปลายทั้งสองนี้จะทำให้อิเล็กตรอนและโฮลสามารถรวมตัวกันได้โดยผ่านวงจรภายนอก นั่นคือมีกระแสไหลนั่นเอง กระแสที่เกิดที่ดีพลีชั่นโซนเรียกว่ากระแสดริฟ (Drift current) ส่วนกระแสที่เกิดตรงบริเวณที่อยู่ห่างจากดีพลีชั่นโซน เรียกว่ากระแสดริฟฟิวชัน (Diffusion current) และกระแสนี้เป็นหลักของการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า

4.4.1 โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

กรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 282) ได้อธิบายถึงโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสงโดยทั่วไปไว้ว่า สารที่ใช้สร้างอุปกรณ์รับแสงนั้นมีสารหลายชนิด เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสง ผลต่างของพลังงานของระดับพลังงานสูง และระดับพลังงานต่ำของอุปกรณ์รับแสงมีค่าแตกต่างกันทำให้มีย่านความยาวคลื่นต่างกันที่ดูดสัญญาณที่เข้ามาได้ง่ายหรือความไวในการรับแสงมาก ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะต้องเลือกอุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ใช้เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง สำหรับย่านความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 1 ไมครอน จะใช้สารซิลิกอน สำหรับย่านความยาวคลื่น 1.7 ไมครอน ใช้เจอรมันเนียมเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นในปัจจุบันสำหรับความยาวคลื่นในช่วง 1.55 ไมครอน เป็นความยาวคลื่นมีการสูญเสียในเส้นใยแก้ว

นำแสงน้อยมาก และเป็นความยาวคลื่นที่อยู่ในวินโดวส์ที่สาม (Third window) การใช้งานอุปกรณ์รับแสงชนิดใหม่ที่ทำจากสารที่เป็นสารประกอบของ สารกึ่งตัวนำอินเดียมแกลเลียมอาเซไนส์ และอื่นๆ ซึ่งมีความไวในการรับแสงดีมากนั้น กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ



ภาพที่ 4.12 ความยาวคลื่นในการรับแสงของสารกึ่งตัวนำแต่ละชนิด
ที่มา: กรมการสื่อสารทหาร (มปป). น. 282

การพัฒนาอุปกรณ์รับแสงชนิดสารกึ่งนำ ได้มีการค้นคว้าเพื่อใช้สารกึ่งตัวชนิดต่างๆ มาสร้างเป็นอุปกรณ์รับแสง เพื่อให้สามารถดูซับแสงที่ความยาวคลื่นได้หลากหลายมากขึ้นดังภาพที่ 4.12

4.4.2 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

การเลือกใช้อุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสม จะช่วยให้ระบบการสื่อสารใยแสงเกิดประสิทธิภาพทั้งทางด้านการใช้งานและทางด้านต้นทุนของระบบ อุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสมจะต้องมีความสามารถในการทำงานสูงเพียงพอกับความต้องการ

ทัศนัย อากิม (2556) ได้อธิบายถึงประสิทธิภาพทางควอนตัม (Quantum efficiency) ไว้ว่าเป็นการประเมินคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงอย่างหนึ่ง ซึ่งประสิทธิภาพทางควอนตัมแสดงว่าแสงที่รับมานั้นถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากเท่าไร แลพความไวการรับแสง (ระดับรับแสงต่างๆ สุดที่ต้องการสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบระยะห่าง การถ่ายทอดของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงหรือสถานีทวนสัญญาณ (Repeater station) สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นและความเร็วของการตอบสนองการทำงาน สำหรับประสิทธิภาพทางควอนตัมกำหนดจากสารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสงแสง แต่สำหรับความไวการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ (Bias voltage)

กรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 284) ได้อธิบายถึงหลักการการเลือกอุปกรณ์รับแสงมาใช้งานจะต้องพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ไว้ดังต่อไปนี้

1) มีความไวสูงในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งาน อุปกรณ์รับแสงในยุคแรกจะตอบสนองการใช้งานกับความยาวคลื่นแสงช่วงวินโดว์ที่ 1 แต่ในปัจจุบันระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงนิยมใช้งานในช่วงวินโดว์ที่ 2 และช่วงวินโดว์ที่ 3 ดังนั้นอุปกรณ์รับแสงจะต้องสร้างให้สามารถตอบสนองต่อความยาวคลื่นดังกล่าวได้ดี โดยการเลือกใช้สารที่เหมาะสม

2) ความสามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้าจากสัญญาณแสงได้มาก ความสามารถในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าจากสัญญาณแสงจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพทางควอนตัมของสารที่ใช้สร้าง โดยทั่วไปประสิทธิภาพทางควอนตัมจะถูกกำหนดโดยสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorption coefficient; a_0) ของสารนั้น ค่า a_0 นี้จะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น คือสารแต่ละชนิดจะมีค่า a_0 ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ไม่เท่ากัน

3) มีความไวสูงในการตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตเพื่อให้เหมาะสมกับแบนด์วิดธ์ เนื่องจากในปัจจุบันแบนด์วิดธ์ในการส่งสัญญาณโดยใช้เส้นใยนำแสงจะมีค่าตั้งแต่หลายร้อยเมกะเฮิรตซ์ ดังนั้นอุปกรณ์รับแสงจะต้องมีความไวในการตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตสูงเพื่อให้สามารถทำงานได้ทันกับสัญญาณอินพุตที่ได้รับ

4) สัญญาณรบกวนต่ออุปกรณ์แสงจะต้องมีค่าต่ำ สัญญาณรบกวนที่สำคัญ ได้แก่ สัญญาณรบกวนควอนตัม (Quantum noise หรือ Shot noise) เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกระแสโฟโต โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากแสงที่มาตกกระทบในบางช่วงเป็นแสงที่ไม่มีเฟสเดียวกันหรือมีหลายความยาวคลื่น ทำให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงานไม่เท่ากันจึงทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณกระแสโฟโตจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย สัญญาณรบกวนควอนตัมนี้จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ไบอัสกลับ

5) มีขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้งานได้สะดวก และเชื่อมต่อกับเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งมีขนาดเล็กได้ง่าย

6) ใช้แรงดันไบอัสต่ำ เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า และอายุการใช้งานยาวนาน

7) มีความเชื่อถือได้สูง อุปกรณ์รับแสงจะต้องสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปี

8) มีราคาต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่นๆ เนื่องจากในการออกแบบระบบปัจจัยทางด้านการเงินมักจะเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการออกแบบด้วย

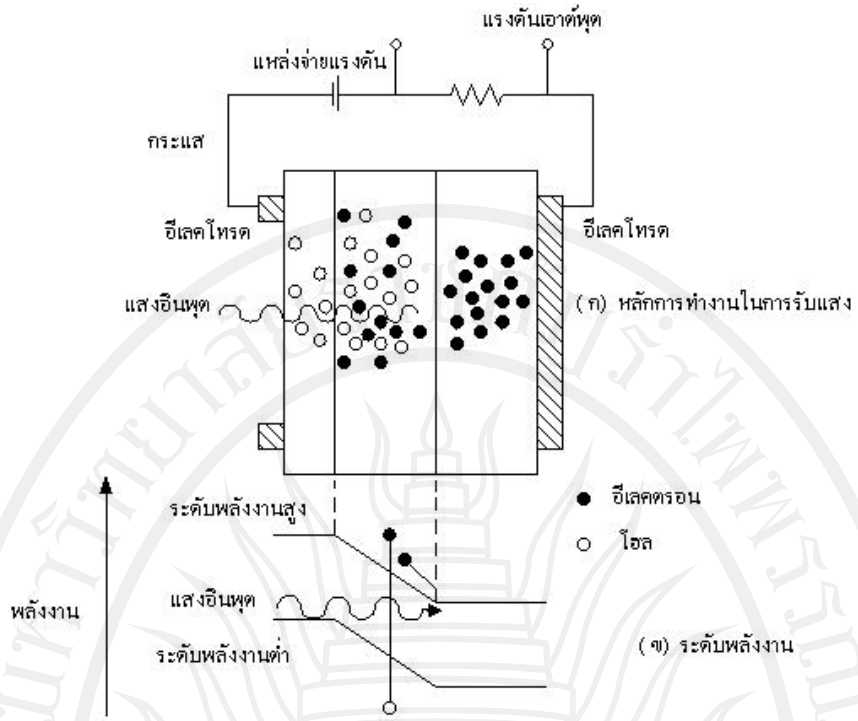
อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ โฟโตไดโอด (Photo diode: PD) และ อวาลานซ์โฟโตไดโอด (Avalanche photo diode: APD)

4.5 โฟโตไดโอด

โฟโตไดโอด (Photo diode: PD) เป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่งที่ต้องการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพีและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส โฟโตไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็นและแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟาเรด ในการรับใช้งานจะต้องต่อโฟโตไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ โฟโตไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง

กรมการสื่อสารทหาร (ม.ป.ป., หน้า 283) ได้กล่าวถึงโฟโตไดโอดไว้ว่า เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ตัวอย่างของโฟโตไดโอด คือ พินโฟโตไดโอด (PIN-photo diode) ดังแสดงในภาพ 4.13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



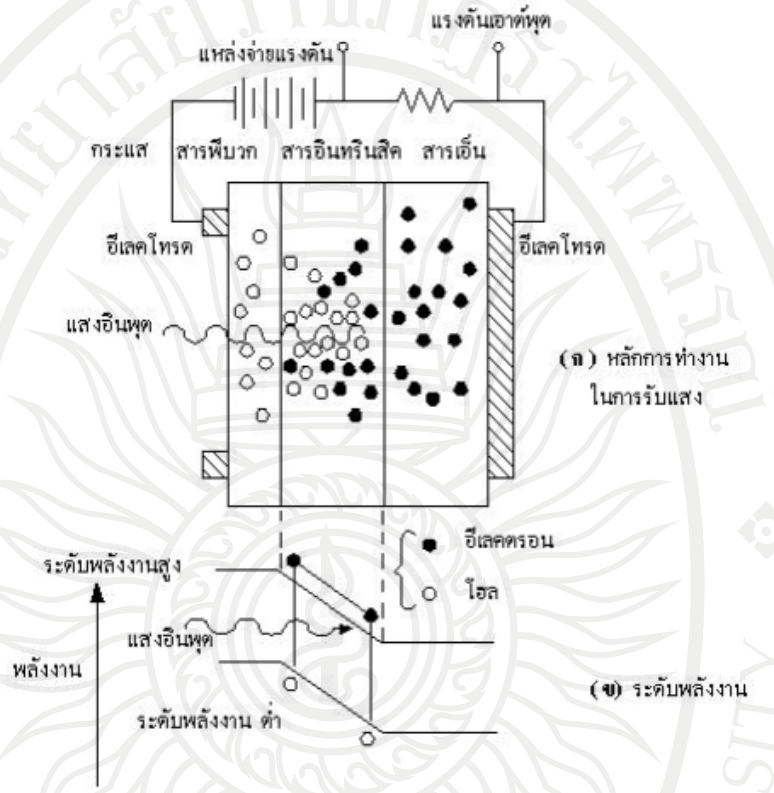
ภาพที่ 4.13 หลักการรับแสงและระดับพลังงานของพินโฟโตไดโอด
ที่มา: กรมการสื่อสารทหาร, ม.ป.ป. : 283

PIN หมายความว่าในระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P - Type) และชนิดเอ็น (N - Type) มีสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า อินทรินสิค (Intrinsic: I) คั่นอยู่ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่ากระแสดริฟ์นั้นเกิดขึ้นในดีพลีชั่นโซนและผลของสนามไฟฟ้าทำให้มีการตอบสนองเร็ว แต่ในทางตรงกันข้ามกระแสดริฟ์ที่เกิดขึ้นภายนอกดีพลีชั่นโซนนั้นมีการตอบสนองช้า ดังนั้นถ้าความกว้างของดีพลีชั่นโซนยิ่งกว้างมากเท่าใดประสิทธิภาพทางควอนตัม และความเร็วในการตอบสนองความถี่ยิ่งดีขึ้น ความกว้างของดีพลีชั่นโซนนี้มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮลของสารพีและสารเอ็นยิ่งต่ำจะยิ่งกว้าง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำแบบอินทรินสิค ที่คั่นกลางระหว่างสารพีกับสารเอ็น จึงมีหน้าที่เพื่อทำให้ความกว้างของดีพลีชั่นโซนกว้างขึ้น เนื่องจากโฟโตไดโอดที่ใช้ในระบบการสื่อสารนั้นโดยทั่วไปต้องการความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้พินโฟโตไดโอด

4.6 อวาลานซ์โฟโตไดโอด

อวาลานซ์โฟโตไดโอด เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก อวาลานซ์โฟโตไดโอดใช้ปฏิกิริยาการขยาย (Avalanche) ของอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำ เมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตไดโอดแล้ว เป็นอุปกรณ์รับแสงที่ให้กระแสจำนวนมาก หลักการทำงานของอวาลานซ์โฟโตไดโอดแสดงดังภาพ 4.14 สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้านสารพีของรอยต่อพีเอ็นจะมีสารกึ่งตัวนำแบบสารพีที่มีความหนาแน่นของโฮลสูงติดอยู่ (ส่วนที่แสดงด้วยสารพีบวกดังภาพ) โดยการทำเช่นนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าภายในของบริเวณใกล้ๆ รอยต่อที่มีสารพีเป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อิเล็กตรอนที่ดูดแสงที่มาตกกระทบทางด้านพีบวก และถูกกระตุ้นจากระดับพลังงานต่ำไปยังระดับพลังงานสูงในระหว่างที่มันได้รับอัตราเร่งและผ่านสารพีนั้น จะได้รับพลังงานจำนวนมากกว่าผลต่างของพลังงาน

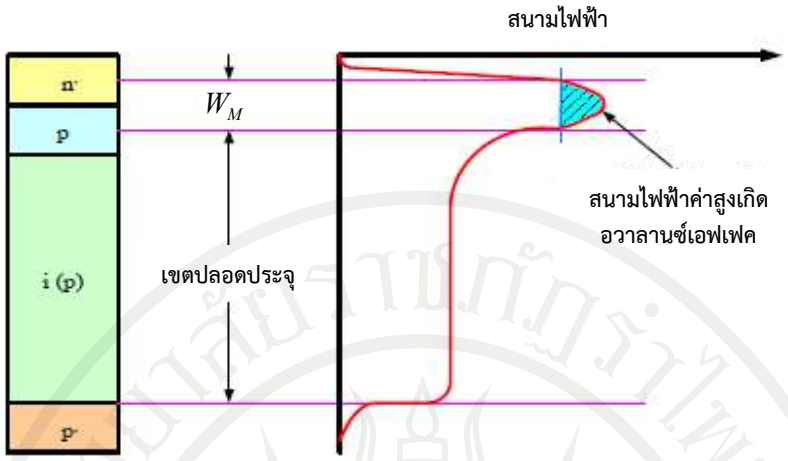
ของระดับพลังงานสูงกับระดับพลังงานต่ำ จากเหตุผลนี้ทำให้สามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำและทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่ได้ และอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่นี้ ยังถูกสนามไฟฟ้าเร่งอัตราเร่งให้อีกทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮลขึ้นมาใหม่อีก เมื่อขบวนการนี้เกิดอย่างต่อเนื่องกันนั้น จำนวนของอิเล็กตรอนกับโฮลจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เป็นผลให้เกิดการขยายที่เรียกว่า อวาลานซ์ มัลติพลิเคชั่น (Avalanche multiplication) ผลนี้ทำให้เกิดกระแสถูกขยาย



ภาพที่ 4.14 หลักการรับแสงและระดับพลังงานของอวาลานซ์โฟโตไดโอด
ที่มา: กรมการสื่อสารทหาร, ม.ป.ป. : 284

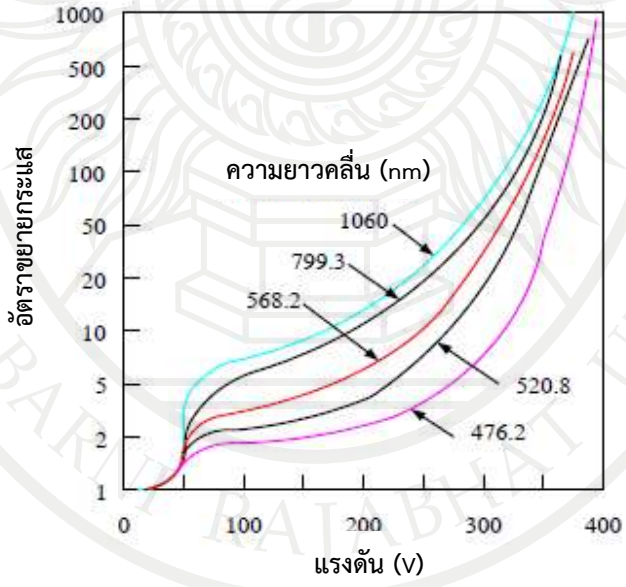
ทัศนัย อากิม (2556) ได้อธิบายถึงอวาลานซ์โฟโตไดโอดไว้ว่า จะมีโครงสร้างคล้ายกับพินไดโอด และลักษณะของสนามไฟฟ้าดังภาพที่ 4.15 จะเห็นว่ามีสาร P+ มาต่อที่ปลายอีกด้านหนึ่งของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์โดยสาร P+ นี้จะหมายถึงสารพีที่มีความหนาแน่นของโฮลสูง เพื่อให้สนามไฟฟ้าบริเวณสารพี-เอ็น มีค่ามากคือ เกิดช่วงที่เรียกว่า ช่วงอัตราขยาย (Gain region) หรือช่วงอวาลานซ์ (Avalanche region)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 4.15 โครงสร้างของอวาลานช์โฟโตไดโอด
ที่มา: ทัศนัย อากิม, 2556

โดยปกติการทวีคูณของกระแสจะเกิดขึ้นเมื่อมีการไบอัสกลับด้วยค่าแรงดันแปรมาณ 15 โวลต์ ขึ้นไป โดยค่าทวีคูณหรืออัตราการขยายอาจมีค่าสูงถึง 1,000 เท่า ดังภาพที่ 4.16 แสดงอัตราการขยายการะแสของอวาลานช์โฟโตไดโอดที่ทำจากสารกึ่งตัวนำซิลิกอนความยาวคลื่นต่างๆ โดยอวาลานช์โฟโตไดโอดมีความไวสูงกว่าพินไดโอด ประมาณ 10-20 เดซิเบล



ภาพที่ 4.16 อัตราการขยายกระแสของอวาลานช์โฟโตไดโอด ณ ความยาวคลื่นต่างๆ
ที่มา: ทัศนัย อากิม, 2556

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สรุปได้ว่าการเลือกใช้อุปกรณ์รับแสงแบบโฟโตไดโอดหรืออวาลานซ์โฟโตไดโอดนั้น ตามปกติจะขึ้นอยู่กับราคาและความไวของเครื่องรับที่ต้องการ (Receiver sensitivity) กระบวนการอวาลานช์ในอวาลานซ์โฟโตไดโอดมีเทรชส์โฮลด์ ซึ่งทำให้มีราคาแพงกว่าโฟโตไดโอดเนื่องจากอวาลานซ์โฟโตไดโอดมีการขยายกำลังได้สูง จึงจะทำให้ความไวของเครื่องรับได้ถึงปริมาณ -15 เดซิเบล ซึ่งมากกว่าโฟโตไดโอด นอกจากนั้นยังพิจารณาถึงระดับสัญญาณระดับต่ำสุดที่จะรับได้ด้วย

4.7 สรุป

แหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในระบบการสื่อสารใยแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณแสงจากสัญญาณที่มอดูเลตกับข้อมูลมาแล้ว ก่อนส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสง แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ เลเซอร์ซึ่งราคาสูงแต่สร้างสัญญาณแสงที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า และแอลอีดีที่มีราคาถูกกว่า แต่มีคุณสมบัติของสัญญาณแสงที่สร้างได้จะด้อยกว่าเลเซอร์จึงเหมาะกับการสื่อสารระยะใกล้ อุปกรณ์รับแสงเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าจะอยู่ที่ภาครับของระบบการสื่อสารใยแสง อุปกรณ์รับแสงที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ โฟโตไดโอด และอวาลานซ์โฟโตไดโอด ซึ่งมีแตกต่างกันที่ความสามารถในการตรวจจับสัญญาณแสง โดยอวาลานซ์โฟโตไดโอดมีความไวในการรับสัญญาที่สูงกว่า แต่ราคาก็สูงตามไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แบบฝึกหัดบทที่ 4

1. วัสดุใดใช้สร้างเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบเลเซอร์ไดโอดได้ดีที่สุด
2. การกำเนิดแสงของเลเซอร์ไดโอดอาศัยหลักการใด
3. การกำเนิดแสงของแอลอีดีอาศัยหลักการใด
4. คำว่าเลเซอร์ย่อมาจากคำว่าอะไร
5. จงเปรียบเทียบเลเซอร์ กับแอลอีดี ในด้านความเหมาะสมในการนำไปใช้งานชนิดใดบ้างอย่างไร
6. อุปกรณ์รับแสงที่มีนิยมใช้ในการสื่อสารใยแสงมีอะไรบ้าง และอุปกรณ์ชนิดใดมีประสิทธิภาพสูงกว่า
7. เพราะเหตุใดอวาลานซ์โฟโตไดโอดจึงมีความไวที่สูงกว่าโฟโตไดโอด
8. จงเปรียบเทียบการเลือกใช้งานอุปกรณ์รับแสงในความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน
9. การเกิดแสงโดยการการกระตุ้นมีหลักการอย่างไร
10. แหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์ที่สร้างมาจากสารกึ่งตัวนำมีข้อดีอย่างไร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารอ้างอิง

กรมการสื่อสารทหาร. (ม.ป.ป.). **ระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง.** กรุงเทพฯ : ผู้แต่ง.

กลุ่มวิจัยทัศนศาสตร์. (ม.ป.ป.). **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเลเซอร์.** ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.sc.mahidol.ac.th/scpy/Optics. สิงหาคม 2557

ทัศนัย อากิม. (2556). **อุปกรณ์กำเนิดแสงและรับแสง.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://tassanai16.blogspot.com. สิงหาคม 2557.

แทน เชียงแขก. (2548). **การสื่อสารด้วยเส้นใยแสง.** เชียงราย: แผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพเทิง.

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทเกษม. (ม.ป.ป. ก). **หลักการของเลเซอร์.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://elec.chandra.ac.th/courses/ELEC2101/termwork/laser2/p41.html. สิงหาคม 2557.

_____. (ม.ป.ป. ข). **คุณสมบัติของแสงเลเซอร์.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://elec.chandra.ac.th. สิงหาคม 2557.

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์. (2555). **การสื่อสารใยแก้วนำแสง.** กรุงเทพ : ทริปเปิ้ล กรุ๊ป.

Dutton, H. J. R. (1998). **Understanding optical communication**. NC: IBM.

Element 14. (n.d.). **Laser coponent 2008368.** (Online). Available: http://th.element14.com/laser-components/adl-65075tl/laser-diode-655nm/dp/1272661. August 2014.

Khan, S. A. (n.d.). **Optical source.** (Online). Available: http://www.slideshare.net/MohammedMannani. August 2014.

Larsen, K. (2014). **LASER vs. LED: what's the difference**?. (Online). Available: https://www.miridiatech.com/news/2014/02/laser-vs-led-whats-the-difference. August 2014.

The fiber optic association. (n.d.). **Fiber optic transmitters and receivers**. (Online). Available: http://www.thefoa.org/tech/ref/appln/transceiver.html. August 2014.

Wikipedia. (n.d.). **Sound amplification by stimulated emission of radiation.** (Online). Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Sound_amplification_by_stimulated_emission_of_radiation. August 2014.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 5

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 5 การรวมสัญญาณ

5.1 การรวมสัญญาณแบบแบ่งช่วงเวลา
5.2 การรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่น
5.3 ระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม
5.4 อุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงอีดีเอฟเอ
5.5 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อศึกษาบทที่ 5 แล้วนักศึกษาสามารถ
1. อธิบายถึงความหมายของการรวมสัญญาณได้
2. อธิบายถึงการรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่นและแบบแบ่งช่วงเวลาได้
3. อธิบายถึงระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม
4. อธิบายถึงอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงอีดีเอฟเอได้

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. บรรยายพร้อมยกตัวอย่างประกอบ
2. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถามข้อสงสัย
3. ซักถามความเข้าใจของผู้เรียนแบบปากเปล่าและแบบฝึกหัดท้ายบท
4. ศึกษาจากเอกสารประกอบการสอน

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อนำเสนอด้วยพาวเวอร์พ้อย
2. สื่อวีดิโอ ประกอบ
3. เอกสารประกอบการสอนที่จัดพิมพ์โดยผู้สอน

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน
2. สังเกตจากการตอบคำถามแบบปากเปล่า
3. สังเกตจากการทำแบบฝึกหัดท้ายบท
4. คะแนนจากแบบทดสอบย่อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทที่ 5
การรวมสัญญาณ

ความต้องการใช้งานการสื่อสารข้อมูลในปัจจุบันที่มากขึ้นอย่างรวดเร็ว จากการใช้งานแอพพลิเคชั่นในแต่ละองค์กร มีการใช้แบนด์วิทธ์ในการสื่อสารมากขึ้น เช่น มีการประชุมผ่านวิดีโอคอนเฟอเรนซ์ มีการใช้ห้องเรียนอิเล็กทรอนิกส์ตามสถาบันอุดมศึกษา อีกทั้งการขยายตัวของเครือข่ายไวไฟเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งหมดนี้ทำให้เกิดความต้องการสื่อสารข้อมูลสารสนเทศเป็นปริมาณสูง จึงมีการขยายตัวของเครือข่ายเพื่อรองรับความต้องการที่มากขึ้น วิธีการที่ใช้เพื่อรองรับความต้องการบนเครือข่ายใยแก้วนำแสงเดิม คือการติดตั้งสายใยแก้วนำแสงเพิ่มเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลเพิ่มขึ้น ต่อมาจึงได้มีการนำเทคนิคการรวมสัญญาณเข้ามาใช้เพื่อเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลให้สูงขึ้น เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงนั้นมีแบนด์วิดธ์ที่สูงมาก ดังนั้นในการส่งสัญญาณไปในเส้นใยแก้วนำแสงจึงจำเป็นต้องรวมเอาสัญญาณสื่อสารหลายๆ สัญญาณไปด้วยกันเพื่อให้เป็นการใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงให้คุ้มค่า และเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด วิธีการที่จะรวมเอาสัญญาณหลายๆ สัญญาณไว้ด้วยกันนั้น คือ การรวมสัญญาณหรือการมัลติพล็กซ์ (Multiplexing)

ปรเมศ ห่อแก้ว (2554, หน้า 66) ได้ให้ความหมายของการรวมสัญญาณไว้ว่า คือเทคนิคที่ใช้สำหรับบริหารจัดการตัวกลางการสื่อสาร 1 เส้นทางเพื่อให้สามารถใช้ส่งสัญญาณหลายสัญญาณร่วมกันได้ ส่วน ณ ปลายทางจะมีการแยกสัญญาณ (Demultiplexing) เพื่อกระจายสัญญาณที่รวมไว้ไปยังคู่สื่อสารด้านรับที่เหมาะสม

ปริญญา น้อยดอนไพร (2556, หน้า 140) ได้ให้ความหมายของการรวมสัญญาณไว้ว่า คือวิธีการใช้ในการส่งข้อมูลจากสถานีหลายสถานีไปพร้อมกันผ่านช่องสัญญาณกลางที่มีประสิทธิภาพสูงอย่างเดียว ทำให้สถานีส่งแต่ละสถานีสามารถใช้ช่องสัญญาณกลางร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นสรุปได้ว่าการรวมสัญญาณหรืออาจเรียกว่าการผสมสัญญาณ หมายถึงการรวมสัญญาณหลายๆ ช่องสัญญาณเข้าด้วยกัน เพื่อใช้ตัวกลางในการส่งร่วมกัน การรวมสัญญาณ จะช่วยลดปริมาณเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในการส่งสัญญาณลง โครงสร้างของการรวมสัญญาณโดยทั่วไป แสดงดังภาพที่ 5.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

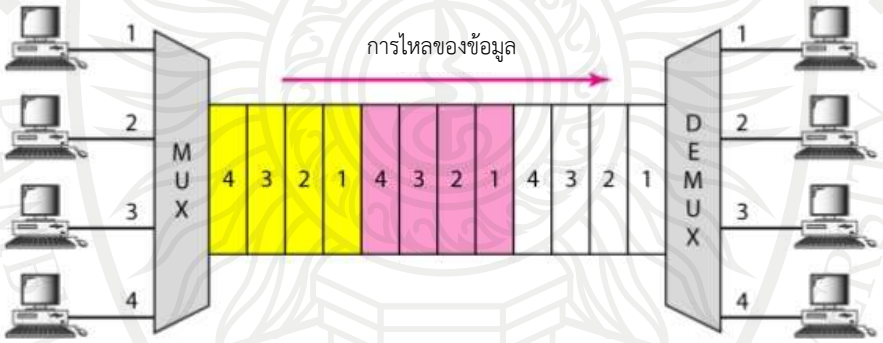
ภาพที่ 5.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของการรวมสัญญาณ

เทคนิคการรวมสัญญาณ โดยทั่วไปแล้วเทคนิคในการผสมสัญญาณมี 3 เทคนิค คือการรวมสัญญาณประเภทแบ่งตามความถี่หรือเอฟดีเอ็ม (FDM) การรวมสัญญาณประเภทแบ่งตามความยาวคลื่นของสัญญาณหรือดับเบิลยูดีเอ็ม (WDM) และการผสมสัญญาณประเภทแบ่งช่วงเวลาหรือทีดีเอ็ม (TDM) แต่เทคนิคที่นิยมใช้สำหรับระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ได้แก่ ทีดีเอ็ม และดับเบิ้ลยูดีเอ็ม ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเทคนิคที่ใช้ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงเท่านั้น

5.1 การรวมสัญญาณแบบแบ่งช่วงเวลา

ปรเมศ ห่อแก้ว (2554, หน้า 69) ได้อธิบายถึงการการรวมสัญญาณแบบแบ่งช่วงเวลา (Time division multiplex: TDM) ไว้ว่า คือกระบวนการทางดิจิตอลสำหรับการใช้งานแบนด์วิดธ์ของตัวกลางร่วมกัน การเชื่อมต่อในแต่ละคู่การสื่อสารจะใช้ช่องเวลา (Timeslot) หนึ่งช่องในตัวกลาง

วิธีนี้เป็นการรวมสัญญาณทางเวลาโดยที่สัญญาณหลายๆ สัญญาณ จะเข้าสู่อุปกรณ์รวมสัญญาณ (Multiplexer) พร้อมๆ กันในลักษณะขนาน (Multiple parallel signals) แต่ละสัญญาณจะถูกส่งออกจากอุปกรณ์รวมสัญญาณจะส่งสัญญาณที่ละสัญญา ผ่านไปยังตัวกลางของการสื่อสาร โดยจะทำการระบุช่วงเวลาสำหรับการส่งแต่ละสัญญาณที่แน่นอน สัญญาณอินพุตหลายๆ สัญญาณถูกเรียงเป็นสัญญาณเดียวก่อนส่ง ดังภาพที่ 5.2 สัญญาณที่ผ่านการรวมสัญญาณแบบทีดีเอ็มแล้วนั้นสามารถส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมดได้

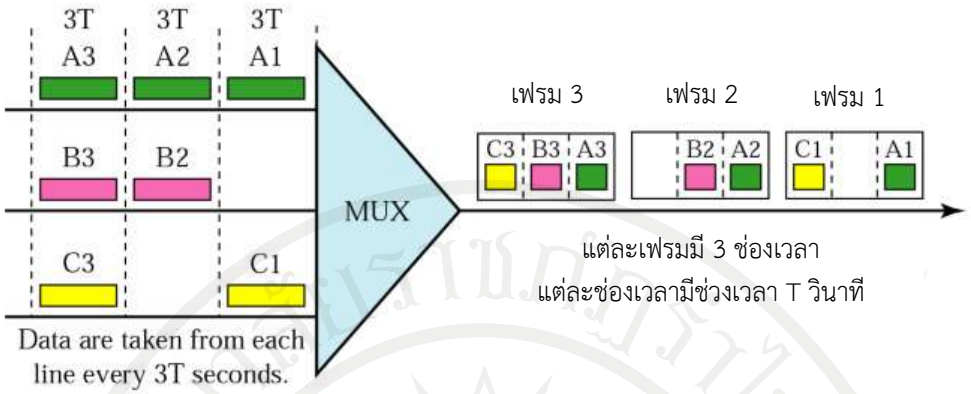


ภาพที่ 5.2 แผนผังของการรวมสัญญาณแบบแบ่งเวลา
ที่มา: ปรเมศ ห่อแก้ว, 2554 : 69

5.1.1 ช่องเวลาและกรอบข้อมูล

ปรเมศ ห่อแก้ว (2554, หน้า 69) ได้อธิบายไว้ว่า ข้อมูลในแต่ละเส้นทางการเชื่อมต่อสัญญาณ (Signal) จะถูกแบ่งเป็นหน่วยซึ่งใช้ช่วงเวลาในแต่ละสัญญาณ 1 ช่องเวลา อุปกรณ์รวมสัญญาณจะรวมข้อมูลแต่ละหน่วยสำหรับทุกการเชื่อมต่อ เรียกว่ากรอบข้อมูลเฟรม (Frame) เพื่อควบคุมอัตราการไหลของข้อมูล อัตราเร็วของสัญญาณต้องมีขนาดเป็น n เท่าของอัตราเร็วของข้อมูลเมื่อ n คือจำนวนการเชื่อมต่อ หรืออีกนัยหนึ่งระยะห่างระหว่างบิต (Bit interval) ของข้อมูลที่อุปกรณ์ต้องกว้างเป็น n เท่าของระยะห่างระหว่างบิตของ การรวมสัญญาณดังรูปที่ 5.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏราไพพรรณี



ภาพที่ 5.3 การรวมสัญญาณด้วยวิธีการทีดีเอ็ม
ที่มา : ปรเมศ ห่อแก้ว, 2554 : 70

5.1.2 การเข้าจังหวะ

ปรเมศ ห่อแก้ว (2554, หน้า 70) ได้อธิบายไว้ว่า เมื่อมีการใช้เครือข่ายทีดีเอ็มต้องคำนึงถึงปัญหาการจับจังหวะ (Synchronize) ด้านเวลาและความล่าช้าด้วย (Delay) มิฉะนั้นการสื่อสารอาจผิดพลาดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตีความหมายของบิตข้อมูล ดังนั้นวิธีการควบคุมให้เกิดการเข้าจังหวะที่เที่ยงตรง ได้แก่ การเพิ่มบิตจำนวนหนึ่งที่ จุดเริ่มต้นของเฟรม (Framing bits) ตามรูปแบบที่กำหนด (Synchronization pattern) ซึ่งโดยมากจะกำหนดให้วนซ้ำรูปแบบ 1 บิต ต่อเฟรม ตามลำดับ เช่น ถ้ากำหนดรูปแบบมี ขนาด 3 บิต เป็น 101 แล้วที่ตำแหน่งต้นเฟรมที่ 1 ถึง 3 จะมีการแทรกบิต 1 0 และ 1 ตามลำดับ และวนซ้ำเป็นคาบสำหรับเฟรมถัดมา (ความยาวคาบเท่ากับ 3 เฟรม)

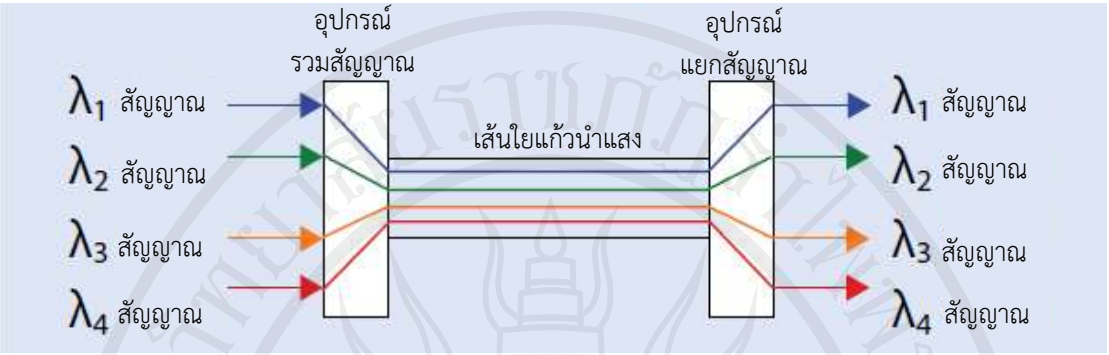
5.2 การรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่น

การรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่น (Wavelength-division multiplexing: WDM) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้เพิ่มขนาดแบนด์วิดธ์ การส่งข้อมูลบนเครือข่ายใยแก้วนำแสง

สารานุกรมเสรี (ม.ป.ป.) ได้อธิบายถึงการรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่นไว้ว่า คือ การนำสัญญาณที่มีความยาวคลื่นต่างกันมารวมกัน แล้วทำการส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงโดยการรวมส่งข้อมูลหลายชุดพร้อมกัน ใช้วิธีผสมแสงแถบความถี่แคบๆ เข้าด้วยกันเป็นแถบกว้างคล้าย เอฟดีเอ็ม (Frequency division multiplexing: FDM) คือ ทำการรวมข้อมูลโดยใช้สัญญาณพาหะต่างความถี่แตกต่างจากเอฟดีเอ็มตรงที่ดับเบิลยูดีเอ็มจะใช้ความถี่ค่าสูงมาก คือ ย่านความถี่แสง โดยข้อมูลแต่ละชุด ใช้แสงที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันส่งไปบนเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียว

ปริญญา น้อยดอนไพร (2556, หน้า 146).ได้อธิบายถึงการรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่นไว้ว่าเป็นการผสมสัญญาณที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับใช้กับการส่งสัญญาณ ทั้งแบบแอนะล็อคและแบบดิจิตอลผ่านสายใยแก้วนำแสง พาหะที่ใช้ส่งสัญญาณเป็นคลื่นแสงโดยที่ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะถูกแบ่งตามความยาวคลื่นแสงที่มีความถี่ไม่เท่ากัน ซึ่งมีหลักการทำงานคล้ายกับการผสมสัญญาณประเภทแบ่งตามความถี่ เพียงแต่ใช้กับคลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่ามาก การส่งสัญญาณในทุกช่องจึงเกิดขึ้นพร้อมกันได้เพราะใช้ความยาวคลื่นแสง (λ) ไม่เท่ากัน

ดังนั้นสรุปได้ว่า การรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่น เป็นการรวมสัญญาณด้านอินพุตหลายๆ สัญญาณ ซึ่งเป็นสัญญาณทางแสง สัญญาณแต่ละสัญญาณจะมีอัตราการส่งข้อมูลที่ต่างกัน แสดงดังภาพที่ 5.4 ดังนั้นเมื่อรวมเป็นสัญญาณเดียวแล้วจึงทำให้มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงมาก



ภาพที่ 5.4 แผนผังของการรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่นแบบ 4 ช่องสัญญาณ
ที่มา: Fiber transceiver solution, 2014

แนวคิดเกี่ยวกับเทคนิคดับเบิลยูดีเอ็มถูกเผยแพร่ครั้งแรกในปี 2513 และในปี 2521 ระบบได้ถูกพัฒนาต่อในห้องปฏิบัติการ ระบบดับเบิลยูดีเอ็มเริ่มแรกนั้น เป็นการรวมสัญญาณเพียง 2 สัญญาณเท่านั้น แต่ระบบดับเบิลยูดีเอ็มสมัยใหม่นี้สามารถรวมสัญญาณได้ถึง 160 สัญญาณ และสามารถขยายความเร็วในการส่งขั้นต่ำได้อยู่ที่ 10 กิกะบิตต่อวินาที (Gbit/s) ส่วนระบบที่ใช้งานในเส้นใยแก้วนำแสงแบบคู่ (Single fiber pair) สามารถส่งได้มากกว่า 1.6 เทอระบิตต่อวินาที (Tbit/s)

ระบบดับเบิลยูดีเอ็มส่วนใหญ่ทำงานบนเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 ไมครอนแต่บางรูปแบบของดับเบิลยูดีเอ็มก็สามารถทำงานบนเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมดได้ด้วย ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์อยู่ที่ 50 หรือ 62.5 ไมครอน ปัจจุบันเทคโนโลยีดับเบิลยูดีเอ็ม ได้เข้ามาเป็นส่วนสำคัญบนอุปกรณ์เครือข่ายใยแก้วนำแสง เพราะด้วยแบนด์วิดธ์ที่เพิ่มขึ้นมากทำให้สามารถใช้งานแอปพลิเคชันใหม่ได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถติดตั้งเข้ากับโครงสร้างพื้นฐานของระบบเดิมที่มีอยู่ก่อนได้ง่าย และด้วยการที่ดับเบิลยูดีเอ็มเป็นเทคโนโลยีในชั้นกายภาพ จึงสามารถใช้เทคโนโลยีนี้กับระบบต่างๆ ได้ เช่นทั้งอุปกรณ์, ATM switch หรือแม้แต่เร้าเตอร์ไอพี (IP router) ในการทำงานของระบบดับเบิลยูดีเอ็ม จะต้องมีการส่งและรับสัญญาณดังนี้

1) ทางด้านส่ง อุปกรณ์รวมสัญญาณ (MUX) ต้องทำการรวมแสงที่ความยาวคลื่นต่างกันเข้าด้วยกัน หรือรวมสัญญาณที่ใช้ในการรวมแสงมีหลายลักษณะ เช่น คัปเปลอร์เส้นใยแก้ว หรือคัปเปลอร์แบบระนาบ สัญญาณอินพุตทางไฟฟ้าแต่ละสัญญาณจะถูกกำหนดให้ใช้ความยาวคลื่นเฉพาะของตนเองซึ่งถูกผสมรวมกันเป็นสัญญาณเดียว เพื่อส่งออกไปยังเส้นใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียว สัญญาณอินพุตแต่ละสัญญาณสามารถส่งได้ด้วยอัตราความเร็วที่เป็นอิสระต่อกันและไม่เกิดการแทรกสอดหรือซ้อนทับกับสัญญาณอินพุตอื่นๆ

2) ทางด้านรับ อุปกรณ์แยกสัญญาณ (DEMUX) สัญญาณเมื่อเดินทางมาถึงฝั่งรับต้องทำการแยกสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันออกจากกัน แล้วส่งไปยังอุปกรณ์รับของแต่ละช่องสัญญาณต่อไป

ธราดล โกมลมิศร์ (2548) ได้กล่าวถึงระบบดับเบิลยูดีเอ็มไว้ว่า แต่เดิมระบบนี้มักนิยมใช้แสงที่ความยาวคลื่น 1.33 และ 1.55 ไมครอน แทนช่องสัญญาณอิสระรวมกันทางแสงแล้วส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียวกัน ซึ่งวิธีนี้ทำให้ไม่สามารถเพิ่มช่องสัญญาณที่อยู่ในเทอมของความยาวคลื่นแสงได้มากนัก เพราะแสงในแต่ละช่องสัญญาณที่มีความยาวคลื่นต่างกันมากจะมีค่าการลดทอนสัญญาณไม่เท่ากัน ทำให้ระยะทางสูงสุดที่สามารถส่งข่อมูลได้ไม่เท่ากันด้วย ผลลัพธ์ก็คือในระบบสื่อสารทางไกลมากๆ ต้องใช้สถานีทวนสัญญาณแยกกันสำหรับแต่ละความยาวคลื่น เป็นผลทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นและระบบมีความยุ่งยาก การแก้ปัญหาทำได้โดยเลือกช่องสัญญาณให้มีค่าความยาวคลื่นแสงใกล้ๆ กันโดยเป็นแสงในช่วงของหน้าต่างความยาวคลื่นแสงค่าหนึ่ง เช่น ในระบบปัจจุบันมักจะเลือกช่องหน้าต่างความยาวคลื่นแสงในช่วง 1.55 ไมครอน และความยาวคลื่นแสงของแต่ละช่องสัญญาณจะมีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ (Channel spacing)

ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการรวมสัญญาณดับเบิลยูดีเอ็ม โดยใช้หลักการแบ่งช่วงความยาวคลื่นของแต่ละช่องสัญญาณเพื่อให้สามารถส่งสัญญาณพร้อมกันได้มากขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบซีดับเบิลยูดีเอ็มและดีดับเบิลยูดีเอ็ม ซึ่งมีหลักการคล้ายกันเพียงมีข้อแตกต่างกันที่ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ ซึ่งแต่ละระบบมีข้อแตกต่างกันดังนี้

1) ระบบซีดับเบิลยูดีเอ็ม (Coarse wavelength division multiplexing: CWDM) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยที่ให้แต่ละช่องสัญญาณใช้ความยาวคลื่นที่มีช่วงระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณต่างกันที่ช่วง 15-30 นาโนเมตร รองรับการส่งสัญญาณได้ตั้งแต่ 4 ถึง 16 ช่องสัญญาณ ต่อเส้นใยแก้วนำแสงหนึ่งเส้น ซึ่งจะมีแบนวิดธ์น้อยกว่าระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม

2) ระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม (Dense wavelength division multiplexing: DWDM) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยจะมีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณต่ำกว่า 1 นาโนเมตร ซึ่งตามมาตรฐานของไอทียู ระบบดีดับเบิลยูดีเอ็มที่ความถี่ 50 กิกะเฮิรตซ์ ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเท่ากับ 0.39 นาโนเมตร

เทคโนโลยีดับเบิลยูดีเอ็ม ซึ่งเดิมสามารถรองรับการส่งข้อมูลที่อัตรา 2.5 ถึง 10 กิกะบิตต่อวินาที ที่ 32 ถึง 64 ช่องสัญญาณ ดีดับเบิลยูดีเอ็มพัฒนาขึ้นโดยการเพิ่มจำนวน ช่องสัญญาณเป็น 160 ช่องสัญญาณ โดยที่กำหนดให้ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณถี่ขึ้น คืออยู่คืออยู่ที่ 25 ถึง 50 กิกะเฮิรตซ์ และรองรับอัตราการส่งข้อมูลที่ 1 เทอระบิตต่อวินาที ในระบบดับเบิลยูดีเอ็มเดิมแบบคลาสสิค มักนิยมใช้แสงที่ความยาวคลื่น 1.33 ไมครอน และ 1.55 ไมครอน แทนช่องสัญญาณอิสระรวมกันทางแสงแล้วส่งไป แสงในแต่ละช่องสัญญาณที่มีความยาวคลื่นต่างกันมาก จะมีค่าการลดทอนสัญญาณไม่เท่ากันทำให้ระยะทางสูงสุดที่สามารถส่งข้อมูลได้ไม่เท่ากัน

อธิคม ฤกษบุตร (ม.ป.ป.) ได้กล่าวถึงการรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่นไว้ว่า ในระบบสื่อสารทางไกลมากๆ ต้องใช้สถานีทวนสัญญาณแยกกันสำหรับแต่ละความยาวคลื่น เป็นผลทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น และระบบมีความยุ่งยากดับเบิลยูดีเอ็ม แก้ปัญหาทำได้โดยเลือกช่องสัญญาณให้มีค่าความยาวคลื่นแสงใกล้ๆ กัน เช่น ในระบบปัจจุบัน มักจะเลือกช่องหน้าต่างความยาวคลื่นแสงในช่วง 1.55 ไมครอน และความยาวคลื่นแสงของแต่ละช่องสัญญาณจะมีระยะห่างของช่องสัญญาณไม่มากอาจไม่ถึง 1 ไมครอนหรือมากกว่า 1 ไมครอน เล็กน้อย เช่น ระบบดีดับเบิลยูดีเอ็มระบบหนึ่ง

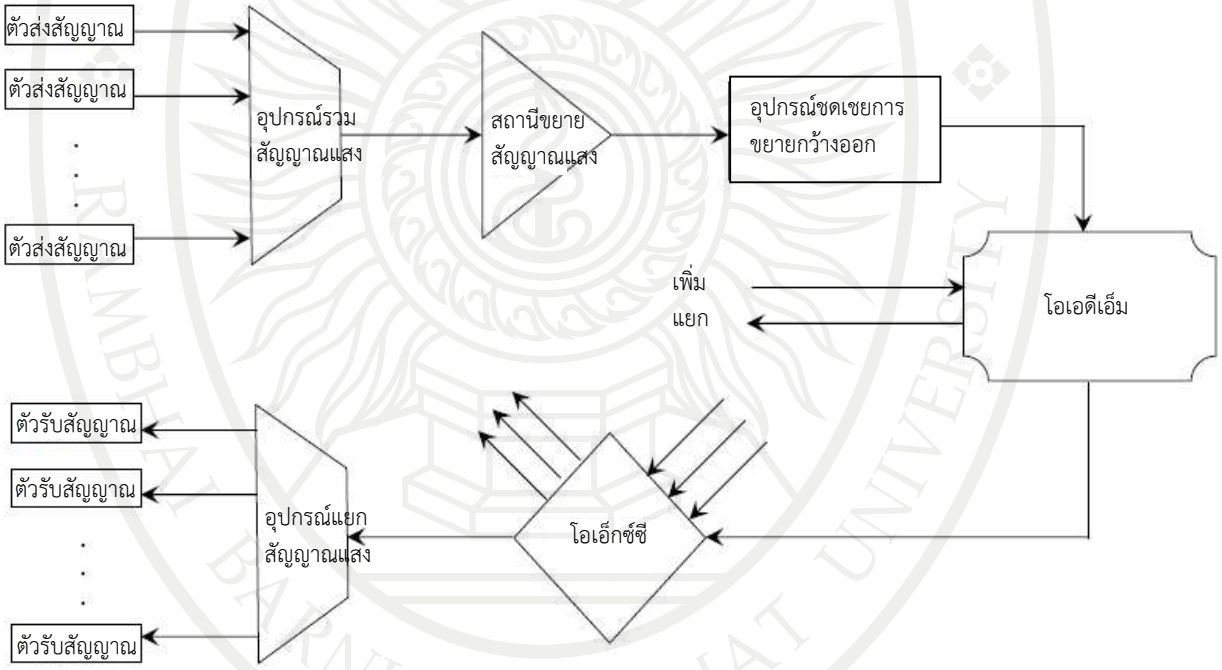
มี 8 ช่องสัญญาณ อาจประกอบไปด้วยความยาวคลื่นแสง 1550, 1551, 1552, ..., 1557 ไมครอน ซึ่งหมายถึงมีช่วงของระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเท่ากับ 1 ไมครอน เป็นต้น

5.3 ระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม

ธราดล โกมลมิศร์ (2548) ได้กล่าวถึงระบบดีดับเบิลยูดีเอ็มไว้ว่า เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถใช้กับระบบสื่อสารได้ทั้งระบบเล็กและใหญ่ หรือสื่อสารกันแบบจุดต่อจุด หรือระบบแลนก็ได้ หรือจะใช้กับโครงข่ายขนาดใหญ่ เช่น ระบบ เอสดีเอช/โซเน็ต ก็จะสามารถทำได้

5.3.1 โครงสร้างของระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม

การใช้งานระบบแต่ละงานอาจมีอุปกรณ์ (Component) ที่ประกอบเป็นระบบมากหรือน้อย แตกต่างกันทั้งอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ (Passive component) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ต้องมีการป้อนพลังงานจาก ภายนอกและอุปกรณ์ประเภทแอคทีฟ (Active component) ที่สามารถทำงานได้เลย โดยไม่ต้องการพลังงานจากภายนอก โครงสร้างของระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม แสดงเป็นแผนผังหลักๆ ได้ ดังภาพที่ 5.5



ภาพที่ 5.5 โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสารโทรคมนาคมแบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม
ที่มา : ธราดล โกมลมิศร์, 2548

ธราดล โกมลมิศร์ (2548) ได้อธิบายถึงอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบดีดับเบิลยูดีเอ็มไว้ว่า มีหน้าที่ดังนี้

1) ตัวส่งสัญญาณ (Transmitter) ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเดินทางด้วยแสงในระบบนี้ ซึ่งเลเซอร์ที่ใช้ต้องมีค่าความกว้างแถบสเปกตรัมของแสงที่เปล่งออกหรือที่เรียกว่า ไลน์วิดธ์ (Line width) ที่แคบมากเพื่อลดผลของการขยายกว้างออกในระบบดับเบิลยูดีเอ็ม

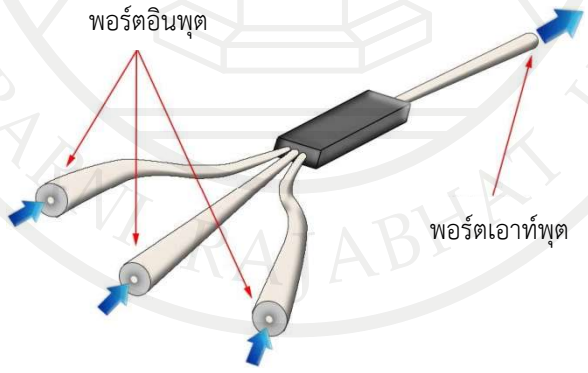
ไลน์วิดธ์ของเลเซอร์ต้องมีค่าแคบมากแต่ต้องไม่มากกว่าระยะห่างของช่องสัญญาณ เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวน (Interference) ระหว่างช่องสัญญาณ กล่าวคือถ้าระยะห่างของช่องสัญญาณของระบบมีค่า 1 นาโนเมตร เลเซอร์ต้องมีไลน์วิดธ์น้อยกว่า 1 นาโนเมตรด้วย

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคการมอดูเลตเพื่อรวมข้อมูลเข้ากับแสง ในรูปของสัญญาณแสงโดยตรง เรียกว่าการมอดูเลตแบบภายนอก (External modulation) กล่าวคือ แสงเดินทางอยู่ในตัวกลางหนึ่งซึ่ง อาจเป็นอากาศหรือภายในเส้นใยแก้ว ในช่วงหนึ่งที่ถูกกระทำให้ตำแหน่งที่แสงเดินทางในช่วงนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพบางประการ ทำให้ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางในช่วงที่แสงเดินทางนั้นเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติของแสงที่เดินทางถูกเปลี่ยนแปลงไปด้วย หากสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหนี้ได้ ก็จะสามารถควบคุมคุณสมบัติของแสงที่เดินทางได้เช่นกัน ในทางปฏิบัติจะใช้สัญญาณข้อมูลไฟฟ้าที่ต้องการสื่อสารเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเห ผลลัพธ์ก็คือแสงถูกมอดูเลตเข้ากับข้อมูลทางไฟฟ้านั้นหลังจากที่แสงเดินทางผ่านออกจากส่วนของตัวกลางที่เกิดการเปลี่ยนแปลง หรือเมื่อตัวกลางที่แสงเดินทางช่วงหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเห ซึ่งควบคุมโดยสัญญาณข้อมูลแสงที่เดินทางออกจากตัวกลางในช่วงนั้นจะมีสัญญาณข้อมูลผสมรวมเข้ามาด้วย โดยทั่วไปอุปกรณ์ในการมอดูเลตแบบภายนอกนี้จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ อุปกรณ์ประเภทอิเล็กโตรออปติกส์ (Electro-optic devices) ซึ่งอาศัยสนามไฟฟ้าในการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของท่อนำสัญญาณแสงโดยตรง และอุปกรณ์ประเภทอะคูสโตออปติกส์ (Acousto-optic devices) ซึ่งอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของท่อนำสัญญาณแสง โดยที่การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลนี้ถูกควบคุมด้วยสัญญาณทางไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง

2) อุปกรณ์รวมสัญญาณทางแสง

อุปกรณ์รวมสัญญาณทางแสง (Optical multiplexer) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการรวมแสงหลายช่องสัญญาณให้เป็นสัญญาณเดียวกัน โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น

2.1) คับเปลอร์เส้นใยแก้ว (Optical fiber coupler) เป็นอุปกรณ์การรวมแสงจากแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วโดยตรง



ภาพที่ 5.6 คับเปลอร์รวมสัญญาณแสงแบบ 3x1
ที่มา Gofoton, n.d.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตัวอย่างของคับเปลอร์เส้นใยแก้วแบบ 3x1 แสดงดังภาพที่ 5.6 สัญญาณแสง 3 ช่องสัญญาณที่มีความยาวคลื่นต่างกันจะถูกส่งเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงต่างเส้นกัน เมื่อแสงเดินทางผ่านคับเปลอร์แสงทั้ง 3 ความยาวคลื่นจะถูกรวมกันหลังจากเดินทางออกจากคับเปลอร์ ในกรณีที่ต้องการรวมแสงหลายช่องสัญญาณสามารถเลือกใช้คับเปลอร์มีจำนวนเส้นใยแก้วด้านอินพุตเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณ

2.2) คัปเปลอร์แบบระนาบ (Optical planar coupler) มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับคับเปลอร์เส้นใยแก้ว แต่มีลักษณะเป็นท่อนำสัญญาณแสงระนาบเส้นหนาฝังตัวอยู่บนแผ่นฐานรูปสี่เหลี่ยมที่อาจเป็นแผ่นแก้วสไลด์หรือแผ่นเวเฟอร์ หากต้องการให้คับเปลอร์ทำงานรวมช่องสัญญาณแสงหลายช่องอาจเพิ่มโครงสร้างของมันให้มีความซับซ้อน ขนาดของคับเปลอร์แบบระนาบมักมีขนาดเล็กกว่านิ้วก้อยของคน

3) สถานีขยายสัญญาณแสง

สถานีขยายสัญญาณแสง (Optical amplifier) มีหลักการทำงานในทำนองเดียวกับการสร้างแสงเลเซอร์ ซึ่งอาศัยหลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์ที่ใช้การกระตุ้นพลังงานจากภายนอกเข้าไปในสสารแล้วทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอะตอมเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่เนื่องจากธรรมชาติของอิเล็กตรอนจะไม่สามารถดำรงอยู่ในสภาวะอื่นที่ไม่ใช่สภาวะเดิมของมันได้ อิเล็กตรอนได้รับพลังงานกระตุ้นจากภายนอกที่ป้อนให้ก่อนหน้านั้น จะต้องคายพลังงานส่วนเกินนั้นออกมาในรูปของพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่นขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของสสาร เพื่อทำให้อิเล็กตรอนกลับสู่สภาวะเดิมได้ ดังนั้นหากเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม พลังงานส่วนเกินที่อิเล็กตรอนคายออกก็จะกลายเป็นพลังงานของแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการได้ การสร้างสถานีขยายสัญญาณแสงให้เกิดขึ้นบนเส้นใยแก้วนำแสงนั้น เรียกว่าเป็นสถานีขยายสัญญาณบนใยแก้วนำแสง (Optical fiber amplifier: OFA) วัสดุที่สามารถเปล่งแสงสีเดียวกับแสงที่ใช้ในระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วในกระบวนการของสถานีขยายสัญญาณบนใยแก้วนำแสงมีหลายชนิด เช่น ธาตุเออร์เบียม (Erbium) จะให้แสงออกมาในช่วงความยาวคลื่น 1.55 ไมครอน และธาตุนีโอดีเมียม (Neodymium) จะให้แสงออกมาในช่วง ความยาวคลื่น 1.33 ไมครอน เป็นต้น

ในทางปฏิบัติเส้นใยแก้วนำแสงชนิดพิเศษ จะถูกสร้างขึ้นให้มีส่วนประกอบของสารเหล่านี้อยู่ในส่วนของคอร์ของเส้นใยแก้ว ระบบสื่อสารปัจจุบันมักเลือกใช้ธาตุเออร์เบียมผสมเข้ากับเนื้อแก้วในส่วนของคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสง ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ถูกเรียกว่า (Erbium-doped fiber: EDF) ซึ่งโครงสร้างทางกายภาพจะมีลักษณะ เช่นเดียวกับเส้นใยแก้วธรรมดาทั่วไป และเมื่อนำอีดีเอฟมาใช้ในการขยายสัญญาณแสงจะเรียกว่า (Erbium-doped fiber amplifier: EDFA)

4) อุปกรณ์ชดเชยการขยายกว้างออก

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับชดเชยการขยายกว้างออก (Dispersion compensator) ทำหน้าที่ชดเชยปรากฏการณ์การขยายกว้างออกที่เกิดขึ้นกับสัญญาณพัลส์แสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งมีหลักการที่ค่อนข้างซับซ้อนและแปลกใหม่ ตัวอย่างของการชดเชยการขยายกว้างออกที่ใช้ในระบบสื่อสารพื้นฐาน มีรูปแบบดังนี้

4.1) การใช้เส้นใยแก้วต่างชนิดกันแทรกไปในระหว่างระยะสายส่ง

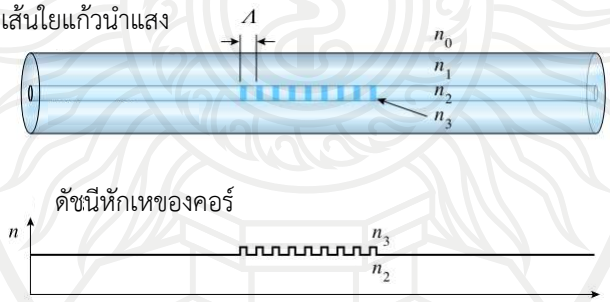
วิธีการนี้อาศัยหลักการที่ว่าการขยายกว้างออกในเส้นใยแก้วนั้น มีทั้งที่มีค่าเป็นเครื่องหมายบวกและลบ กล่าวคือหากเปรียบเทียบตะเกียบสีแดงและสีน้ำเงินอย่างละแท่งประกบเป็นคู่ซ้อนกันเสมือนเป็นสัญญาณพัลส์แสงเล็กๆ ที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งเมื่อพัลส์แสง (ในที่นี้คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

คู่ตะเกียบ) เดินทางไปได้เป็นระยะทางหนึ่ง ตะเกียบสีแดงกับสีน้ำเงินจะค่อยๆ แยกจากกัน เสมือนว่าพัลส์บานออก ซึ่งความกว้างของตะเกียบที่บานออกมีความเป็นไปได้ว่าตะเกียบแท่งสีแดงอยู่ด้านซ้ายและตะเกียบสีน้ำเงินอยู่ด้านขวาหรืออาจเป็นสีแดงอยู่ขวาและสีน้ำเงินอยู่ซ้าย นั่นก็คือตะเกียบทั้งสองแยกกันไปคนละทาง (ซ้ายหรือขวา) ซึ่งลักษณะนี้เปรียบเสมือนเกิดการขยายกว้างออกเป็นบวกและลบ ซึ่งไม่ว่าจะเป็นบวกหรือลบ ก็ล้วนแต่ทำให้พัลส์เกิดการบานออกทั้งสิ้น ดังนั้นหากนำเส้นใยแก้วนำแสงสองเส้นมาต่อเข้าด้วยกันโดยที่เส้นใยแก้ว แต่ละเส้นมีคุณสมบัติการเกิดการขยายกว้างออกที่ตรงข้ามกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้การขยายกว้างออกเกิดการชดเชย (Compensate) ทำให้ขนาดความกว้างพัลส์มีค่าน้อยมากหรือเป็นศูนย์ได้

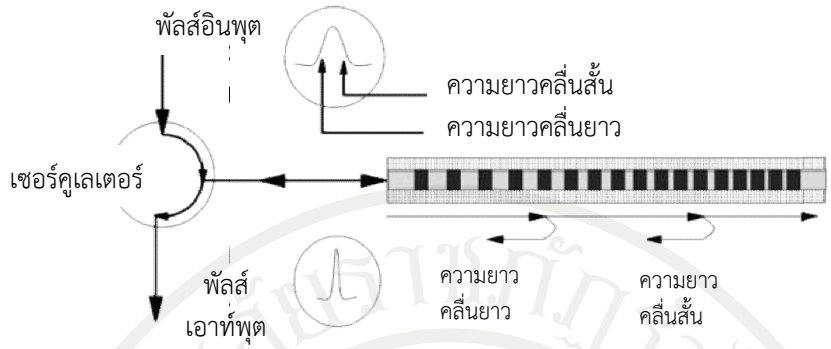
4.2) การใช้เกรดติ้งเส้นใยแก้ว (Fiber grating)

เกรดติ้งเส้นใยแก้ว (Fiber grating) มีโครงสร้างภายนอกเหมือนเส้นใยแก้วนำแสงทั่วไป แต่ถูกทำให้ค่าดัชนีหักเหของคอร์ตามความยาวของเส้นใยมีค่าดัชนีหักเหเปลี่ยนแปลงตามระยะทางแต่ะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงที่แน่นอน ซึ่งในช่วงระหว่างจุดที่มีค่าดัชนีหักเหมากและน้อย ค่าดัชนีหักเหของคอร์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องจากมากไปหาน้อยและจากน้อยไปหามาก ช่วงระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่มีค่าดัชนีหักเหมากสุดที่อยู่ใกล้กันเรียกว่า คาบของเกรดติ้ง (Grating period) ซึ่งจะมีค่าไม่สูงมาก คือมีหน่วยเป็นนาโนเมตรถึงไมครอน สำหรับความยาวของช่วงที่ดัชนีหักเหของคอร์มีโครงสร้างเป็นเกรดติ้งเรียกว่า ความยาวเกรดติ้ง (Grating length) เกรดติ้งเส้นใยแก้วที่มีโครงสร้างดังกล่าวนี้ ถือเป็นเกรดติ้งเส้นใยแก้วแบบแบรก (Fiber bragg grating: FBG) ดังภาพที่ 5.7 อย่างไรก็ตามยังมีเกรดติ้งเส้นใยแก้วที่มีโครงสร้างแตกต่างจากนี้ที่ไม่ได้กล่าวถึงอีก



ภาพที่ 5.7 เกรตติ้งเส้นใยแก้วแบบแบรก
ที่มา: สารานุกรมเสรี, ม.ป.ป.

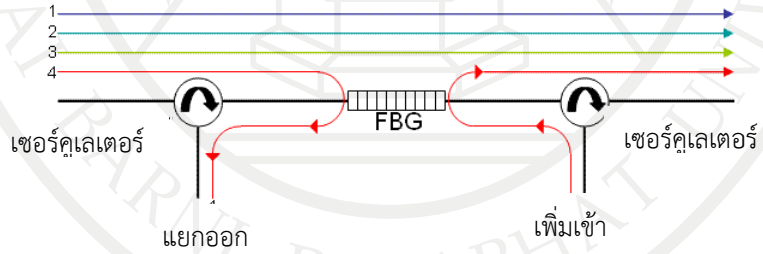
เกรดติ้งเส้นใยแก้วมีคุณสมบัติพื้นฐานคล้ายกับระนาบกระจก คือ สามารถปล่อยให้แสงที่มีความยาวคลื่นแสงบางค่าเดินทางผ่านออกไปได้ในขณะเดียวกันแสงในช่วงของความยาวคลื่นที่เหลือจะสะท้อนกลับมา เมื่อนำเกรดติ้งเส้นใยแก้วแบบแบรกมาประกอบเข้ากับอุปกรณ์ทางแสงบางอย่างจะทำให้ได้อุปกรณ์ที่เป็นอุปกรณ์ชดเชยการขยายกว้างออก ดังภาพที่ 5.8 สำหรับอุปกรณ์ที่เป็นเซอคูเลเตอร์ (Circulator) ที่เห็นในรูปนั้น มีหลักการทำงานคล้ายกับวงเวียนให้แสงเดินทางวนตามเข็มนาฬิกา เมื่อวนไปเจอทางออกใดก่อน แสงก็จะเดินทางออกไปทางนั้น สำหรับหลักการของเซอคูเลเตอร์



ภาพที่ 5.8 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ชดเชยการขยายกว้างออกที่ใช้เกรตติ้ง
ที่มา: Fiberstore, 2014

5) โอเอดีเอ็ม

โอเอดีเอ็ม (Optical add/drop multiplexer) ทำหน้าที่ให้สถานีในระบบสื่อสารสามารถรับข้อมูลแสงเฉพาะช่องสัญญาณที่กำหนด และใส่ข้อมูลไปยังปลายทางโดยใช้ช่องสัญญาณ (ความยาวคลื่นแสง) ที่กำหนด อีกทั้งโอเอดีเอ็มยังสามารถแทรกเพิ่มเข้าไปในสายส่งเดิมในช่วงระหว่างสถานีได้ หลักการทำงานพื้นฐานของโอเอดีเอ็มแสดงดังภาพที่ 5.9 ซึ่งจะใช้เกรดติ้งเส้นใยแก้วแบบแบรกเป็นอุปกรณ์หลักในการเลือกช่องสัญญาณที่เกรดติ้งเส้นใยแก้วแบบแบรกสะท้อนความยาวคลื่นแสงกลับผ่านเซอคูเลเตอร์เพื่อนำช่องสัญญาณออกไป (Drop) ในทำนองเดียวกันข้อมูลในช่องสัญญาณจะถูกส่งเพิ่ม (Add) เข้าไปที่อีกด้านหนึ่งของเกรดติ้งเส้นใยแก้วแบบแบรก ซึ่งแสงจะเดินทางผ่านเซอคูเลเตอร์ผ่านเข้าไปในเกรดติ้งเส้นใยแก้วแบบแบรกแล้ว สะท้อนกลับผ่านเซอคูเลเตอร์ส่งออกไปยังปลายทาง ลักษณะของเกรดติ้งเส้นใยแก้วแบบแบรกและเซอคูเลเตอร์ที่เป็นเส้นใยแก้วในทางปฏิบัติ ดังภาพมีขนาดเล็กประมาณด้ามดินสอ และมีความยาวของอุปกรณ์เพียง 5 ถึง 15 เซนติเมตรเท่านั้น



ภาพที่ 5.9 โครงสร้างพื้นฐานของโอเอดีเอ็ม
ที่มา: สารนุกรมเสรี, ม.ป.ป.

6) โอเอ็กซ์ซี

อับรามัน (Ab-Rahman, M. S., 2010) ได้ให้ความหมายของ โอเอ็กซ์ซี (Optical cross connect: OXC) ไว้ว่า เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เลือกเส้นทางไปยังปลายทางของแต่ละช่องสัญญาณ โครงสร้างพื้นฐานของโอเอ็กซ์ซีอย่างง่ายแสดงดังภาพที่ 5.10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

(ก) (ข)

ภาพที่ 5.10 โอเอ็กซ์ซีแบบ (ก) บาร์สเตท (ข) ครอสสเตท
ที่มา: Dutton, H. J. R., 1998 : 238

โอเอ็กซ์ซีแบบอย่างง่ายชนิด 2x2 ประกอบด้วยพอร์ทอินพุต 2 พอร์ท และพอร์ทเอาต์พุต 2 พอร์ท โอเอ็กซ์ซีจะทำหน้าที่เลือกเส้นทางเอาท์พุตให้กับแต่ละสัญญาณ ซึ่งจะมีอยู่ 2 สถานะ ได้แก่: ครอสสเตท (Cross states) และบาร์สเตท (Bar states) ซึ่งในสถานะครอสสเตทสัญญาณจากพอร์ทอินพุตด้านบนจะถูกเลือกเส้นทางเอาท์พุตเป็นพอร์ทเอาท์พุตด้านล่าง และสัญญาณจากพอร์ทอินพุตด้านล่างจะถูกเลือกเส้นทางเอาท์พุตเป็นพอร์ทเอาท์พุตด้านบน ในสถานะบาร์สเตท สัญญาณจากพอร์ทอินพุตด้านล่างจะถูกเลือกเส้นทางเอาท์พุตเป็นพอร์ทเอาท์พุตด้านล่าง และสัญญาณจากพอร์ทอินพุตด้านบนจะถูกเลือกเส้นทางเอาท์พุตเป็นพอร์ทเอาท์พุตด้านบน

7) อุปกรณ์แยกสัญญาณทางแสง

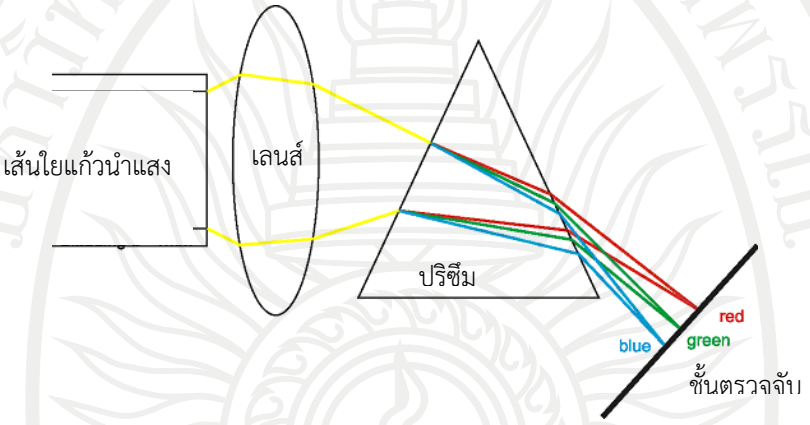
อุปกรณ์แยกสัญญาณทางแสง (Optical demultiplexer) มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับการมัลติเพล็กซ์เซอร์ โดยปรกติอุปกรณ์ที่เป็นมัลติเพล็กซ์เซอร์ สามารถทำงานเป็นมัลติเพล็กซ์เซอร์ได้ด้วย

สรุปได้ว่าระบบดีดับเบิลยูดีเอ็มเป็นระบบสื่อสารแบบทางเดียว (Simplex) โครงสร้างของระบบดีดับเบิลยูดีเอ็มประกอบด้วย เครื่องส่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลทางไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงแล้วส่งเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสง เครื่องส่งหนึ่งชุดจะส่งแสงออกมา 1 ความยาวคลื่น ถือเป็น 1 ช่องสัญญาณ ซึ่งข้อมูลแสงหนึ่งช่องสัญญาณนี้ อาจถูกรวมสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ให้มีอัตราการส่งข้อมูลสูงมากๆ ในหน่วยกิกะบิตต่อวินาที สัญญาณจากเครื่องส่งหลายๆ เครื่องจะถูกส่งเข้ามายังอุปกรณ์รวมสัญญาณทางแสง ทำหน้าที่รวมแสงทุกช่องสัญญาณที่มีความยาวคลื่นต่างกันเข้าด้วยกัน โดยกระบวนการทางแสงด้วยเพื่อส่งไปยังปลายทางด้วยเส้นใยแก้วเพียงเส้นเดียว สัญญาณแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงจะเกิดการลดทอนลงเรื่อยตามระยะทาง ดังนั้นจึงต้องมีสถานีทวนสัญญาณทำหน้าที่ขยายสัญญาณแสงทุกช่องสัญญาณพร้อมกันโดยไม่ต้องแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ให้มีความเข้มแสงมากพอที่จะเดินทางต่อไปได้ไกล นอกจากการลดทอนแล้วพัลส์สัญญาณแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงจะเกิดปรากฏการณ์ขยายกว้างออกด้วย ซึ่งตามระยะทางที่เดินทางดังนั้นจึงต้องมีการชดเชยการขยายกว้างออกของพัลส์ข้อมูล การขยายกว้างออกเป็นตัวจำกัดปริมาณข้อมูลหรือทำให้อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดของระบบลดลง เพื่อทำหน้าที่ปรับขนาดของพัลส์ที่ขยายกว้างออกให้มีขนาดคงที่ตลอดการเดินทางอยู่เสมอ ซึ่งในระบบดีดับเบิลยูดีเอ็มมีความยาวคลื่นแสงหลายค่า ผลของการขยายกว้างออกที่เกิดย่อมมีผลกระทบกับทุกระบบ การเพิ่มช่องสัญญาณหรือแยกบางช่องสัญญาณออกในสายส่งเดิมในช่วงระหว่างสถานีจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าโอเอดีเอ็มทำหน้าที่ให้สถานีในระบบสื่อสารใยแสงสามารถรับข้อมูลแสงเฉพาะช่องสัญญาณที่กำหนด และใส่ข้อมูลไปยังปลายทางโดยใช้ช่องสัญญาณ ที่กำหนดด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ โอเอ็กซ์ซี ทำหน้าที่ตัดต่อ

หรือเลือกเส้นทางของทางเดินข้อมูลให้ไปสู่ปลายทางในโครงข่ายที่ซับซ้อนได้ สุดท้ายที่เครื่องรับปลายทางจะมีอุปกรณ์ดีมัลติเพล็กซ์ทำหน้าที่แยกช่องสัญญาณที่มีความยาวคลื่นต่างกันออกจากกันเพื่อนำสัญญาณไปใช้งานต่อไป

5.3.2 การรวมสัญญาณและการแยกสัญญาณ

เอ็ม.วี.ที. คอมมิวนิเคชัน (2549) ได้กล่าวถึงการรวมสัญญาณและการแยกสัญญาณไว้ว่า วิธีการของดับเบิลยูดีเอ็ม เป็นวิธีหนึ่งที่ผู้พัฒนาประสบความสำเร็จโดยใช้หลักการแยกลำแสงและรวมลำแสงโดยอาศัยหลักการว่าแสงสีต่างกัน (ความยาวคลื่นต่างกัน) จะเกิดการหักเหต่างกันในปริซึม (Prism) ดังภาพที่ 5.11



ภาพที่ 5.11 ลักษณะการแยกสัญญาณ
ที่มา: Fischer, U.H.P. and Haupt, M., n.d.

หลักการดังกล่าวของปริซึมที่รู้จักกันมานานแล้ว กับการสร้างสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันได้ โดยเฉพาะแสงเลเซอร์ที่มีความถี่เดียวกัน แสงที่ความถี่ค่าหนึ่งจะได้ความยาวคลื่นค่าหนึ่ง และเมื่อรวมแสงจากหลายที่เข้าด้วยกันด้วยผ่านอุปกรณ์รวมสัญญาณ โดยจะรวมแสงเข้าด้วยกันด้วยหลักการของปริซึมแสงทุกช่องสัญญาณจะวิ่งบนใยแก้วนำแสงเส้นเดียวกัน ทำให้สามารถส่งข้อมูลปริมาณมหาศาลบนใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวได้และที่ปลายทางจะมีอุปกรณ์แยกสัญญาณทำหน้าที่การกระจายแสงออกไปตามช่องสัญญาณต่างๆ โดยอาศัยหลักการการแยกแสงจากปริซึมเช่นเดียวกัน

สรุปคือ การใช้ปริซึมเป็นการใช้หลักการที่ว่าแสงที่ความยาวคลื่นต่างกัน จะมีมุมหักเหไม่เท่ากันเมื่อผ่านปริซึมทำให้สามารถแยกแสงที่ความยาวคลื่นต่างกันออกจากกันได้ หลังจากแยกแสงออกจากกันแล้ว จะใช้เลนส์เพื่อโฟกัสสัญญาณแสงในแต่ละความยาวคลื่น ไปยังเส้นใยแก้วนำแสงปลายทางต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

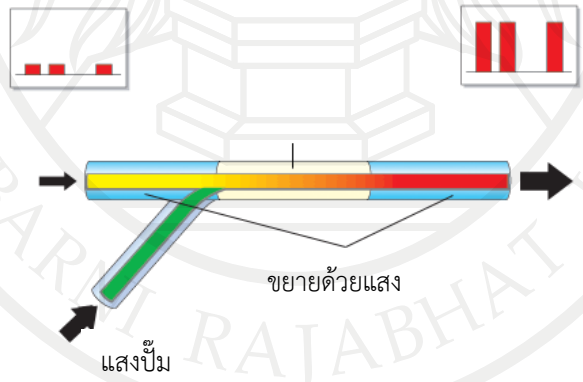
5.4 อุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงอีดีเอฟเอ

ข้อเสียของระบบดับเบิลยูดีเอ็มอีกอย่างหนึ่ง คือ ความยากในการออกแบบระบบสถานีทวนสัญญาณเชิงแสง เนื่องจากค่าความยาวคลื่นที่ต่างกันจะทำให้ ระยะทางของสถานีทวนสัญญาณแต่ละความยาวคลื่นนั้นแตกต่างกัน

เอ็ม.วี.ที. คอมมิวนิเคชัน. (2549) ได้กล่าวถึงอีดีเอฟเอไว้ว่า ในการส่งข้อมูลระยะไกลจะเกิดการลดทอนของสัญญาณเกิดขึ้น การส่งข้อมูลในใยแก้วนำแสงก็เช่นเดียวกัน จำเป็นต้องใช้ขยายสัญญาณเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลเป็นระยะทางไกลขึ้น ในเทคโนโลยียุคเก่าตัวขยายสัญญาณทำงานโดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ขยายสัญญาณไฟฟ้านั้นและจึงแปลงกลับมาเป็นสัญญาณแสงอีกครั้งหนึ่ง การทำงานดังกล่าวมีความเร็วในระดับอิเล็กทรอนิกส์ ถือว่าช้ามากจนเป็นคอขวด สำหรับการส่งข้อมูลบนใยแก้วนำแสงจึงมีการพัฒนาตัวขยายสัญญาณขึ้นมาโดยใช้แสงที่เรียกว่าอีดีเอฟเอ

เทคโนโลยีอีดีเอฟเอ เกิดขึ้นในช่วงทศวรรษ 1980 และใช้งานอย่างแพร่หลายในช่วงทศวรรษ 1990 ถัดมา อีดีเอฟเอช่วยขยายสัญญาณแสงหลายๆ ความยาวคลื่นที่อยู่ในช่วงแบนด์วิดท์ใช้งานของอีดีเอฟเอได้พร้อมกันโดยตรง ซึ่งแบนด์วิดท์ของอีดีเอฟเอโดยปกติคือ 40 นาโนเมตร ตั้งแต่ความยาวคลื่น 1525 - 1565 นาโนเมตร อีดีเอฟเอมีระยะการติดตั้งที่ไกลกว่าสถานีทวนสัญญาณแสงแบบเดิมคือทุก 80 ถึง 120 กิโลเมตร ในขณะที่ระยะการติดตั้งของอุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบเดิมอยู่ที่ 50 ถึง 100 กิโลเมตร

หลักการของอีดีเอฟเอแสดงได้ดังภาพที่ 5.12 คือใช้แสงที่ได้จากการกระตุ้นจากสารเออเบรียมยิงเข้าไปในเส้นเดียวกับเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ส่งข้อมูลแสงดังกล่าวเรียกว่า ปั๊มไลท์ (Pump light) เมื่อปล่อยลำแสงปั๊มไลท์ เข้ามาในใยแก้วนำแสงที่ใช้ส่งข้อมูลจะเกิดการชนกันของอนุภาคแสงทำให้ลำแสงที่ใช้ส่งข้อมูลถูกกระตุ้นจนมีพลังงานสูงขึ้น ดังนั้นเทคโนโลยีอีดีเอฟเอจึงเป็นการขยายสัญญาณแสงด้วยแสงที่มีความเร็วในการทำงานสูงมาก



ภาพที่ 5.12 การขยายสัญญาณแสงด้วยอีดีเอฟเอ
ที่มา : เอ็ม. วี. ที. คอมมิวนิเคชัน, 2549

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ธราดล โกมลมิศร์ (2548) ได้อธิบายถึงการทำงานของอีดีเอฟเอเอไว้ว่า แสงที่เดินทางผ่านเส้นใยแก้วชนิดอีดีเอฟจะมีพฤติกรรมเหมือนเดินทางในเส้นใยแก้ว ทั่วไปคือเกิดการลดทอนสัญญาณและเกิดการขยายกว้างออก โดยจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ กับสัญญาณข้อมูล แต่ถ้าทำการกระตุ้น

เส้นใยแก้วอีดีเอฟเอนี้ ด้วยการป้อนพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตรให้ ข้อมูลแสงที่ความยาวคลื่น 1.55 ไมครอน ที่เดินทางผ่านเข้าไปในอีดีเอฟเอจะถูกทำให้มีพลังงานเพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจากการรวมกันทางความเข้มแสงของสัญญาณเดิมที่นำข้อมูลกับสัญญาณแสงที่เปล่งออกมาใหม่จากการกระตุ้นพลังงานเข้าไป ซึ่งแสงทั้งสองนี้ต้องมีขนาดความยาวคลื่นที่ตรงกัน จึงเสมือนกับการขยายสัญญาณข้อมูลแสงที่เดินทางในระบบสายส่งให้มีความเข้มแข็งแสงเพิ่มขึ้น พร้อมที่จะเดินทางไปในระยะทางที่ไกลออกไปได้

โครงสร้างของสถานีทวนสัญญาณแสงที่ใช้อีดีเอฟเอจะต่อแทรกเข้าไปในระบบสายส่งข้อมูลในระบบสื่อสารที่มีความยาวคลื่น 1.55 ไมครอน จะเดินทางผ่านคับเปลอร์เส้นใยแก้ว (Fiber coupler) ออกไป ในขณะที่สัญญาณอินพุตอีกทางหนึ่งของคับเปลอร์เส้นใยแก้วจะถูกป้อนด้วยแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 980 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการกระตุ้นอีดีเอฟเอ แสงทั้งสองที่เดินทางรวมกันออกจากคับเปลอร์ในช่วงของเส้นใยแก้วนำแสงธรรมดาจะไม่มีอะไรเกิดขึ้น ข้อมูลแสงเดิมก็ยังคงมีความเข้มแสงไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อแสงเดินทางผ่านเข้าไปในส่วนของอีดีเอฟเอแสงที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร จะกระตุ้นอิเล็กตรอนให้มีพลังงานที่สูงขึ้น เรียกว่าเป็นการปั๊ม และเมื่ออิเล็กตรอนคายพลังงานออกมาเพื่อรักษาสภาวะของตัวมันจะได้แสงที่มีความยาวคลื่น 1.55 ไมครอน เมื่อรวมกับข้อมูลแสงที่มีความยาวคลื่นเท่ากัน ก็จะทำให้สัญญาณพัลส์ แสงมีค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นตามความยาวของอีดีเอฟเอและสามารถเดินทางเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงธรรมดาที่เป็นสายส่งได้ต่อไป ในขณะเดียวกันพลังงานของแสงที่นำมาปั๊มก็จะมีค่าลดลงและจางหายไปในที่สุด อย่างไรก็ตาม ขนาดความยาวของอีดีเอฟเอที่มีค่ามากๆ มิได้หมายความว่าจะทำให้ความสามารถในการขยายสัญญาณแสงมีค่าเพิ่มขึ้นเสมอด้วย แต่จะขึ้นอยู่กับขนาดความยาวที่เหมาะสมค่าหนึ่งเท่านั้น

สรุปได้ว่าอีดีเอฟเอคือใช้หมู่ธาตุเออเบียม (Erbium) ซึ่งเป็นธาตุหมู่หายากที่ทำให้ความยาวคลื่นที่ 1550 นาโนเมตร ที่สามารถขยายสัญญาณแสงในช่วงความถี่ดังกล่าวมาสร้างเป็นเส้นใยแก้วนำแสง โดยเหมือนกับเป็นสถานีทวนสัญญาณเชิงแสงนั้นเอง อีดีเอฟเอเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เทคโนโลยีดีดับเบิลยูดีเอ็ม สามารถส่งข้อมูลได้ระยะไกลและช่วยเพิ่มแบนด์วิดท์ให้กับระบบสื่อสารได้เป็นอย่างมาก

5.5 สรุป

การรวมสัญญาณหรือเป็นการรวมเอาสัญญาณสื่อสารจากหลายๆ ต้นทางเข้าไว้ด้วยกันเป็นสัญญาณเดียวกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งไปพร้อมกันในช่องสัญญาณเดียวกัน เพื่อเป็นการใช้ช่องสัญญาณให้เกิดประโยชน์สูงสุด วิธีการรวมสัญญาณที่นิยมใช้ในระบบการสื่อสารใยแสงนั้น ได้แก่ การรวมสัญญาณแบบแบ่งความยาวคลื่น (WDM : Wavelength division multiplexing) ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาขึ้นมาเป็นระบบที่เรียกว่า ดีดับเบิลยูดีเอ็ม (Dense wavelength division multiplexing) ซึ่งเป็นระบบที่ออกแบบมาให้รองรับให้สามารถส่งสัญญาณได้หลายความยาวคลื่นมากขึ้น ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้มากขึ้นด้วย และอีกเทคโนโลยีหนึ่ง ที่ทำให้การสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงมีความรวดเร็วยิ่งขึ้น คืออีดีเอฟเอ หรือ Erbium doped fiber amplifier เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณแสงได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนเป็นสัญญาไฟฟ้าก่อนทำให้ช่วยลดเวลาและต้นทุนในการขยายสัญญาณลงได้จากเดิมมาก

แบบฝึกหัดบทที่ 5

1. การรวมสัญญาณคืออะไร ต่างจากการมอดูเลชันอย่างไร
2. ระบบดับเบิลยูดีเอ็มต่างจากระบบเอฟดีเอ็มอย่างไร
3. โดยส่วนใหญ่นิยมใช้ ระบบดับเบิลยูดีเอ็มกับเส้นใยแก้วนำแสงโหมดใด
4. ในระบบดับเบิลยูดีเอ็มเดิมนิยมใช้แสงความยาวคลื่นเท่าใด
5. ดีดับเบิลยูดีเอ็มพัฒนาขึ้นจากระบบดับเบิลยูดีเอ็มอย่างไร
6. ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณคืออะไร
7. ทำไมในระบบดีดับเบิลยูดีเอ็มต้องมีอุปกรณ์ชดเชยการขยายกว้างออก
8. อีดีเอฟเอมีประโยชน์อย่างไร
9. ในระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม 16 ช่องสัญญาณ ด้วยความถี่ 1.55 ไมคอรน จะใช้แสงความยาวคลื่นเท่าใดบ้าง
10. ถ้าในระบบดับเบิลยูดีเอ็มที่ใช้ความยาวคลื่นแสงต่างกันมากจะมีข้อเสียอย่างไร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารอ้างอิง

ธราดล โกมลมิศร์. (2548). **WDM, DWDM.** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.ee.eng.cmu.ac.th/~tharadol/ ฃteach/ee341. สิงหาคม 2557.

ปรเมศ ห่อแก้ว. (2554). **บทที่ 6 การรวมสัญญาณ (Multiplexing).** นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. หน้า 66-72.

ปริญญา น้อยดอนไพร. (2556). **การผสมสัญญาณ การตรวจสอบความผิดพลาด และการควบคุมการไหลข้อมูล.** สุราษฎร์ธานี : สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี.

สารานุกรมเสรี. (ม.ป.ป.). **การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://th.wikipedia.org. สิงหาคม 2557.

อธิคม ฤกษบุตร. (ม.ป.ป.). **ระบบสื่อสัญญาณแสงหลายช่องแบบ DWDM.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Dense_Wavelength_Division_Multiplexing/index.php. สิงหาคม 2557 .

เอ็ม. วี. ที. คอมมิวนิเคชั่น. (2549. **เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลบนใยแก้วนำแสงความเร็วสูงด้วย DWDM.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.mvt.co.th. สิงหาคม 2557.

Ab-Rahman, M. S. (2008). The asymmetrical architecture of new optical switch device. **Proceeding of advanced international conference on telecommunications.** 8-13 June 2008 .

Dutton, H. J. R. (1998). **Understanding optical communication**. NC: IBM.

Fiberstore. (2014). **Control of dispersion in single mode fiber links**. (Online). Available: http://www.fiberopticshare.com/control-of-dispersion-in-single-mode-fiber-links.html. August 2014.

Fiber transceiver solution (2014) **Fiber saving-wave division multiplexing (WDM) Technology.** (Online). Available: http://www.fiber-optic-transceiver-module.com/fiber-saving-wave-division-multiplexing-wdm-technology.html. August 2014

Fischer, U.H.P. and Haupt. M. (n.d.) **WDM over POF – The inexpensive way to break through the limitation of bandwidth of standard POF communication.** (Online). Available: http://www.harzoptics.de/wdm-over-pof.html. August 2014

Gofoton. (n.d.). **Tapered fiber power combiner**. (Online). Available: https://welcome.gofoton.com/product/tapered-fiber-power-combiner. August 2014.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 6

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 6 การผลิตเส้นใยแก้วนำแสง

6.1 การสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์ม
6.2 วิธีเอาต์ไซต์เวเพอร์เฟสออกซิเดชัน
6.3 วิธีเวพอร์เฟสแอคเชียลดีโพซิชัน
6.4 วิธีโมดิฟายด์เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน
6.5 วิธีพลาสมา-แอคทิเวท เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน
6.6 การหุ้มเส้นใยแก้วนำแสง
6.7 เครื่องมือวัดขนาดของเส้นใยแก้วนำแสง
6.8 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อศึกษาบทที่ 6 แล้วนักศึกษาสามารถ
1. อธิบายถึงวิธีการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 4 แบบได้
2. อธิบายถึงความแตกต่างของการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละแบบ ได้
3. อธิบายถึงการวัดขนาดของเส้นใยแก้วนำแสงได้
4. อธิบานถึงกระบวนการวัดขนาดของเส้นใยแก้วนำแสงได้

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. บรรยายพร้อมยกตัวอย่างประกอบ
2. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถามข้อสงสัย
3. ซักถามความเข้าใจของผู้เรียนแบบปากเปล่าและแบบฝึกหัดท้ายบท
4. ศึกษาจากเอกสารประกอบการสอน

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อนำเสนอด้วยพาวเวอร์พ้อย
2. สื่อวีดิโอ ประกอบ
3. เอกสารประกอบการสอนที่จัดพิมพ์โดยผู้สอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน
2. สังเกตจากการตอบคำถามแบบปากเ
3. สังเกตจากการทำแบบฝึกหัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทที่ 6
การผลิตเส้นใยแก้วนำแสง

ลักษณะของเส้นใยแก้วนำแสงดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 คือ เป็นแท่งแก้วทรงกระบอกขนาดเล็กและยาว ทำมาจากวัสดุประเภทซิลิกาเป็นหลัก มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณเส้นผมของคนเท่านั้น เส้นใยแก้วนำแสงประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแกนหรือคอร์และเปลือกหุ้มหรือแคลดดิ้ง ซึ่งทำด้วยวัสดุที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำ ส่วนคอร์จะเป็นเนื้อแก้วที่มีดัชนีหักเหสูงกว่าแคลดดิ้งเล็กน้อย

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์ (2557) ได้กล่าวถึงการเลือกวัสดุที่นำมาใช้ทำเส้นใยแก้วนำแสงไว้ว่า การผลิตเส้นใยแก้นำแสงเพื่อให้ได้ใยแก้วนำแสงที่มีคุณภาพสูง ปัจจัยที่ควรพิจารณาคือ วัสดุที่นำมาใช้สร้างต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1) วัสดุที่ใช้สร้างต้องเป็นสารไดอิเล็กตริก ที่มีค่าดัชนีการหักเหที่สามารถเปลี่ยนค่าได้อย่างน้อย 2 ค่า เพื่อให้เกิดความแตกต่างของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์และแคลดดิ้ง

2) วัสดุที่ใช้ต้องมีคุณภาพสูง มีค่าการลดทอนสัญญาณในย่านอินฟาเรดต่ำ คือ ย่านความยาวคลื่น 0.8-0.9 ไมครอนและ 1.3-1.6 ไมครอน

3) วัสดุที่ใช้ต้องสามารถใช้ทำดัชนีหักเหแบบแกรดอินเด็กซ์ในคอร์ได้

4) วัสดุที่ใช้ต้องสามารถใช้ทำการหยดเป็นเส้นใยได้โดยมีอัตราการหยดและความหนืดสอดคล้องกับระดับของอุณหภูมิที่ใช้ทำการหลอมละลาย

6.1 การสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์ม

การสร้างเส้นใยแก้วนำแสงจะเริ่มจากการสร้างแท่งแก้วจากวัสดุที่เหมาะสม ให้มีลักษณะเช่นเดียวกับเส้นใยแก้วนำแสง แต่มีขนาดใหญ่กว่าเรียกว่าแท่งแก้วต้นแบบ หรือแท่งแก้วพรีฟอร์ม (Preform) ให้มีค่าดัชนีการหักเหตามที่ต้องการการ จากนั้นดึงแก้วพรีฟอร์มที่กำลังหลอมออกมาให้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงขนาดเล็ก

เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ (2552) ได้กล่าวถึงวิธีการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงไว้ว่า การสร้างเส้นใยแก้วนำแสงจากแท่งแก้วพรีฟอร์ม มีขั้นตอนในการสร้างเริ่มต้นด้วยการนำสารที่ใช้ในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงมาผ่านกระบวนการสร้างแท่งแก้วที่มีความโปร่งใสและความบริสุทธิ์สูง (Vapor phase deposition) จากนั้นจึงนำแท่งแก้วที่ได้มาให้ความร้อนเพื่อทำให้บริเวณปลายของแท่งแก้วเกิดการยุบตัวกลายเป็นแท่งแก้วพรีฟอร์ม และนำแท่งแก้วพรีฟอร์มที่ได้มาทำการดึงเป็นเส้นใยแสงต่อไป โดยแท่งแก้วพรีฟอร์มที่สร้างได้นั้นจะมีความยาวประมาณ 60 ถึง 120 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 ถึง 25 มิลลิเมตร สำหรับวิธีการดึงแท่งแก้วพรีฟอร์มเพื่อทำให้เป็นเส้นใยแก้วนำแสง ที่ปลายด้านที่ยุบตัวของแท่งแก้วพรีฟอร์มจะอยู่ภายในเตาหลอม (Drawing furnace) และถูกดึงเป็นเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งการทำงานต่างๆ จะควบคุมอัตโนมัติไม่ว่าจะเป็นความเร็วในการดึงหรือขนาดของเส้นใยแก้วนำแสง จากนั้นเส้นใยแก้วนำแสงจะถูกหุ้มด้วยวัสดุที่มีความยืดหยุ่นเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากฝุ่นและไอน้ำก่อนที่จะทำการม้วนเก็บ

แทน เชียงแขก (ม.ป.ป.) ได้กล่าวถึงวิธีการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงไว้ว่า โดยทั่วไปแล้วเส้นใยแก้วนำแสงเป็นสิ่งที่มีขนาดเล็กมากประมาณ 125 มิลลิเมตร ถ้าหากจะทำการผลิตเส้นใยแสงขนาดเล็ก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

125 มิลลิเมตร โดยตรงทันทีเลยนั้นจะเกิดความยุ่งยากมากในการควบคุม ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหให้เหมาะสมถูกต้องตามต้องการ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหานี้ในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะต้องผ่านขั้นตอนต่างๆ จำนวนหนึ่งก่อนที่จะได้เส้นใยแก้วนำแสงออกมา กล่าวคืออันดับแรกจะทำแท่งแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ตั้งแต่หลายๆ มิลลิเมตร ไปจนถึงหลายสิบมิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 30-100 เซนติเมตร โดยแท่งแก้วนี้มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหเหมือนกันกับของเส้นใยแก้วนำแสงทุกประการ แท่งแก้วนี้เรียกว่าแท่งแก้วพรีฟอร์ม อันดับต่อไปโดยการให้ความร้อนแก่แท่งแก้วพรีฟอร์มนี้ และการดึงแท่งแก้วพรีฟอร์มให้ยืดออกเป็นเส้นยาวขนาดเล็กตามต้องการ พร้อมทั้งรักษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้คงที่สม่ำเสมอตลอดความยาวที่ทำการดึงยืดออก โดยการทำเช่นนี้ จะได้เส้นใยแก้วนำแสงตามที่ต้องการ สำหรับแท่งแก้วพรีฟอร์มหนึ่งแท่งนั้น จะสามารถดึงให้เป็นเส้นใยแสงได้ยาวตั้งแต่หลายกิโลเมตรไปจนถึงหลายร้อยกิโลเมตร

ดังนั้นจึงสามารถสรุปขั้นตอนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่

1) การสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์ม ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 6.1 ด้วยกระบวนการสร้างแท่งแก้วที่มีความโปร่งใสและความบริสุทธิ์สูง

2) การดึงเส้นใยแก้วนำแสง (Threading) จากแท่งแก้วพรีฟอร์มโดยให้ความร้อนเพื่อทำให้บริเวณปลายของแท่งแก้วเกิดการยุบตัว มาทำการดึงเป็นเส้นใยแก้วนำแสง จากนั้นเส้นใยแก้วนำแสงจะถูกหุ้มด้วยวัสดุที่มีความยืดหยุ่นเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากฝุ่นและไอน้ำก่อนที่จะทำการม้วนเก็บ

3) การทดสอบเส้นใยแก้ว คือการทดสอบคุณสมบัติทางแสงและทางกลของเส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างขึ้นมาก่อนนำไปใช้งานจริง

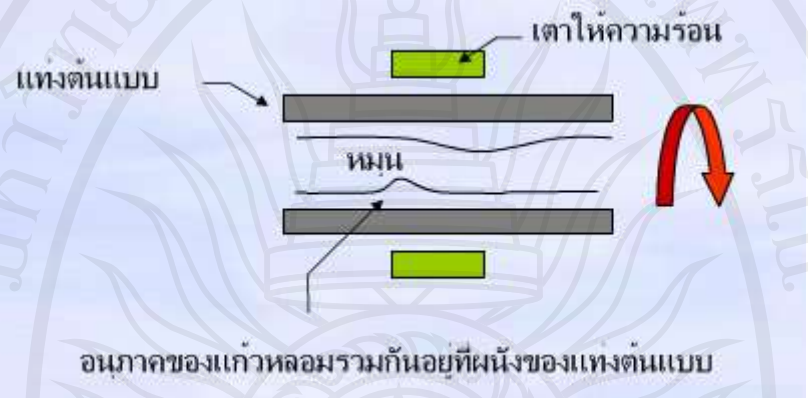
ภาพที่ 6.1 ลักษณะของแท่งแก้วพรีฟอร์ม
ที่มา: เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ, 2552

6.1.1 การผลิตเส้นใยแก้วแบบอินไซด์

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์ (2557) ได้กล่าวถึง การผลิตเส้นใยแก้วนำแสงแบบอินไซด์ (Inside) ไว้ว่า วิธีการนี้จะใช้แท่งแก้วพรีฟอร์มที่มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกแต่ภายในกลวง ขั้นตอนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีนี้สามารถทำได้โดยการปล่อยอนุภาคของแก้วเข้าไปภายในแท่งต้นแบบ โดยมีเตา

ให้ความร้อนทำให้อนุภาคของแก้วหลอมรวมเป็นเนื้อเดียว และเนื่องจากโครงสร้างของใยแก้วนำแสงจะต้องมีทั้งคอร์และแคลดดิ้ง ดังนั้นอนุภาคของแก้วที่ถูกปล่อยออกไปในชั้นแรกที่รวมกับผนังของแท่งต้นแบบจะเป็นชั้นของแคลดดิ้ง จึงต้องให้มีค่าดัชนีหักเหที่น้อยกว่า โดยแท่งต้นแบบจะหมุนอยู่ตลอดเวลา ดังภาพที่ 6.2 เพื่อให้ความหนาของเนื้อแก้วเท่ากันโดยตลอด หลังจากนั้นทำการปล่อยอนุภาคของแก้วที่มีค่าดัชนีหักเหมากกว่าครั้งแรกเข้าไปในแท่งต้นแบบจนเต็ม

ขั้นตอนต่อมานำแท่งใยแก้วที่ได้จากแท่งต้นแบบ มารีดให้ได้ขนาดตามต้องการจึงจะได้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่พร้อมนำไปใช้งาน อย่างไรก็ดีเส้นใยแก้วนำแสงที่ได้ จะต้องมีฉนวนห่อหุ้มอย่างน้อยหนึ่งชั้นเพื่อป้องกันการขูดขีดจากวัสดุอื่นๆ



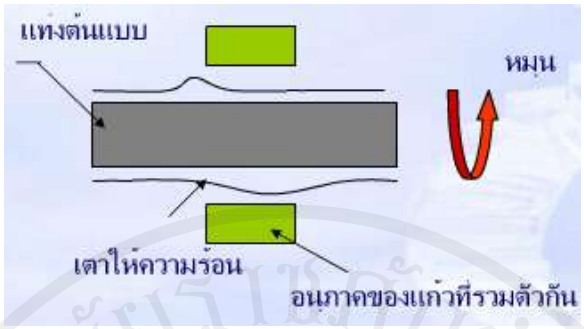
ภาพที่ 6.2 การผลิตเส้นใยแก้วแบบอินไซต์
ที่มา: สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์, 2557

6.1.2 การผลิตเส้นใยแก้วแบบเอาต์ไซด์

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์ (2557) ได้กล่าวถึง การผลิตเส้นใยแก้วนำแสงแบบเอาต์ไซด์ (Outside) การผลิตเส้นใยแก้วนำแสงด้วยนี้ จะใช้แท่งต้นแบบที่มีลักษณะทรงกระบอกตัน โดยให้อนุภาคของแก้วที่จะใช้จับตัวกันอยู่ที่ผิวภายนอกของแท่งต้นแบบ อนุภาคของแก้วที่ปล่อยออกมาในชั้นแรก จะเป็นส่วนของคอร์ ดังนั้นจึงต้องใช้แก้วที่มีค่าดัชนีหักเหมากกว่าชั้นที่ 2 โดยแท่งต้นแบบจะหมุนอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้อนุภาคของแก้วที่มารวมตัวกันมีความหนาเท่ากันตลอด โดยมีเตาให้ความร้อนทำหน้าที่หลอมละลายอนุภาคของแก้วให้เป็นเนื้อเดียวกัน

เมื่อทำการปล่อยอนุภาคออกมาอีกชั้นหนึ่งซึ่งเป็นส่วนของแคลดดิ้งมาทับกับชั้นแรกแล้ว จึงนำแท่งต้นแบบออกซึ่งจะได้ใยแก้วที่มีรูตรงกลางในลักษณะคล้ายโดนัท หลังจากนั้นจึงนำแท่งแก้วที่ได้มารีดจนได้ขนาดตามต้องการ ซึ่งรูตรงกลางก็จะหายไป การผลิตเส้นใยแก้วแบบเอาต์ไซต์แสดงดังภาพที่ 6.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

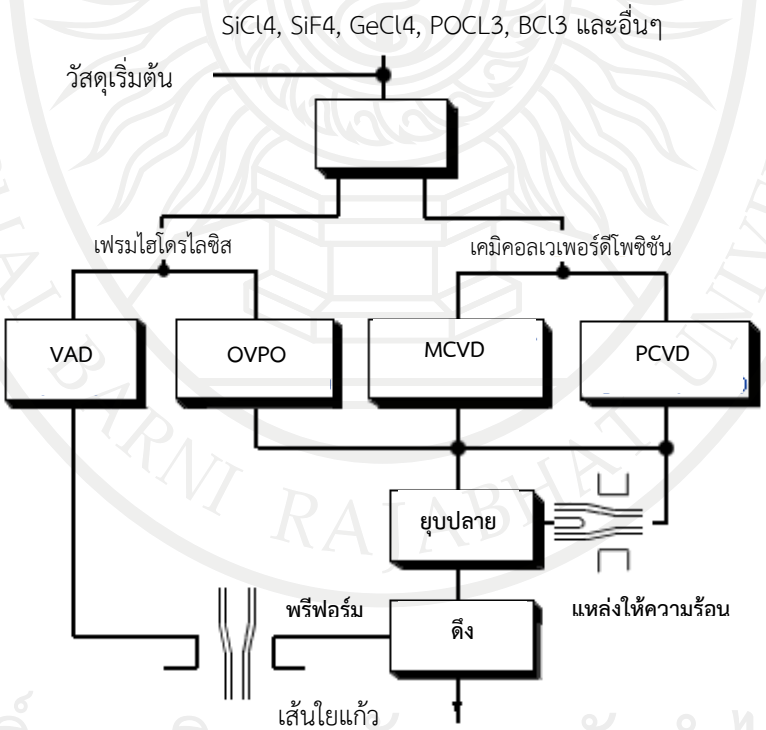


ภาพที่ 6.3 การผลิตเส้นใยแก้วแบบเอาต์ไซต์
ที่มา: สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์, 2557

เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ (2552) ได้กล่าวถึงวิธีการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงไว้ว่า สำหรับวิธีการสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์มมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธี ดังภาพที่ 6.4 ได้แก่

1) วิธีเอาต์ไซต์เวเพอร์เฟสออกซิเดชัน
2) วิธีเวพอร์เฟสแอคเชียลดีโพซิชัน
3) วิธีโมดิฟายด์เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน
4) วิธีพลาสมา-แอคทิเวท เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน

แทน เชียงแขก (ม.ป.ป.) ได้กล่าวไว้ว่าเสริมไว้ว่า วิธีการผลิตแท่งแก้วพรีฟอร์มนั้นมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ วิธีเวพอร์เฟสแอคเชียลดีโพซิชัน และ โมดิฟายด์เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

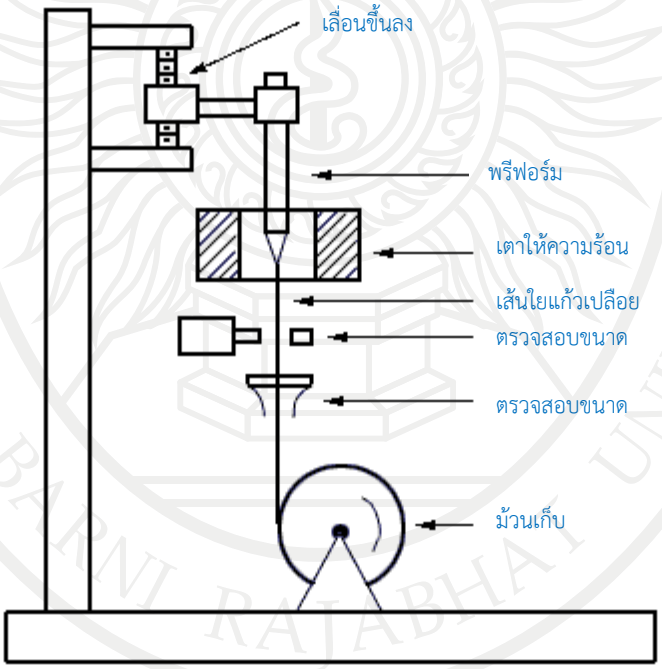
ภาพที่ 6.4 แผนผังการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงจากแท่งแก้วพรีฟอร์ม
ที่มา: เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ, 2552

6.2 วิธีเอาต์ไซต์เวเพอร์เฟสออกซิเดชัน

การสร้างเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีเอาต์ไซต์เวเพอร์เฟสออกซิเดชัน (Outside vapor phase oxidation: OVPO) หรือโอวีพีดี เป็นวิธีดั้งเดิมในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสง

เศรษฐพงค์ มะลิสุวรรณ (2552) ได้กล่าวถึงการสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์มด้วยวิธีการโอวีพีโอนี้ว่าเป็นวิธีแรกที่ใช้สร้างเส้นใยแก้วนำแสงมีการสูญเสียต่ำกว่า 20 เดซิเบลต่อกิโลเมตร โดยขั้นตอนในการสร้างนั้นจะสร้างชั้นของแก้ว (SiO_2) บนแท่งกราไฟต์หรือเซรามิคซึ่งหมุนรอบตัวเอง อนุภาคของแก้วจะถูกปล่อยออกมาจากเตาให้ความร้อนซึ่งมีการเคลื่อนที่ไปมาเหนือแท่งกราไฟต์ ทำให้เกิดการตกผลึก (Deposition) โดยจะทำการสร้างชั้นของแก้วประมาณ 200 ชั้น และต้องมีการควบคุมค่าดัชนีการหักเหของคอร์และแคลดดิ้งของแท่งแก้วให้เหมาะสม เมื่อสร้างชั้นแก้วเสร็จเรียบร้อยแล้ว แท่งกราไฟล์จะถูกดึงออกไป แล้วนำแท่งแก้วดังกล่าวไปทำให้มีความบริสุทธิ์และใสขึ้นด้วยการให้ความร้อนที่สูงกว่า 1400 องศาเซลเซียส ในห้องที่มีบรรยากาศแห้ง

จากนั้นจะนำแท่งแก้วพรีฟอร์มที่บริสุทธิ์ ไปทำการดึงเป็นเส้นใยแสงตามวิธีการ ซึ่งในขั้นตอนนี้เราจะควบคุมค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแสงได้ด้วย กระบวนการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีโอวีพีดีแสดงดังภาพที่ 6.5 การควบคุมความร้อนของแก๊สที่ให้แก่แท่งแก้วพรีฟอร์มความบริสุทธิ์ของเส้นใยแสงที่สร้างด้วยวิธีโอวีพีโอนี้ จะขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของสารที่ป้อนเข้ามาและปริมาณการเจือปนของไอน้ำเนื่องจากเป็นระบบเปิด



ภาพที่ 6.5 การสร้างเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีโอวีพีดี
ที่มา: เศรษฐพงค์ มะลิสุวรรณ, 2552

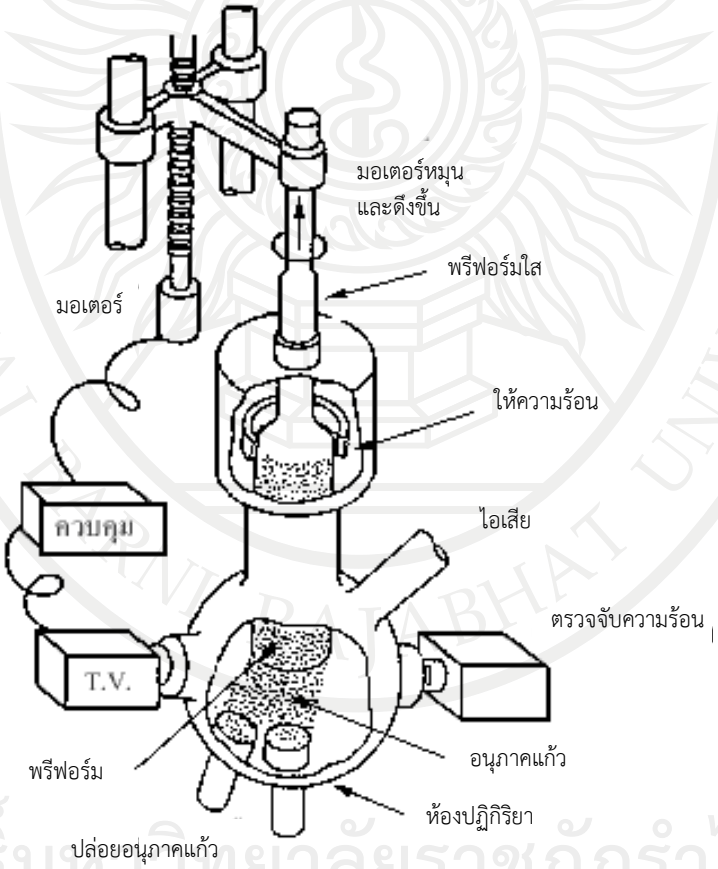
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

นอกจากนี้การใช้แท่งกราไฟล์เป็นแกนกลางในการสร้างแท่งแก้วจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์ม เนื่องจากในการดึงแท่งกราไฟล์ออกอาจทำให้เกิดรอยแตกขึ้นที่ผิวภายในของแท่งแก้วได้ และการมีรูตรงกลางของแท่งแก้วก็จะทำให้การควบคุมลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห (Refractive index profile) ทำได้ยาก ส่วนปริมาณการผลิตที่ได้จากวิธีโอวีพีโอนี้ก็มีจำนวนจำกัด ทำให้ปัจจุบันวิธีโอวีพีโอไม่เป็นที่นิยมในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสง

6.3 วิธีเวพอร์เฟสแอคเชียลดีโพซิชัน

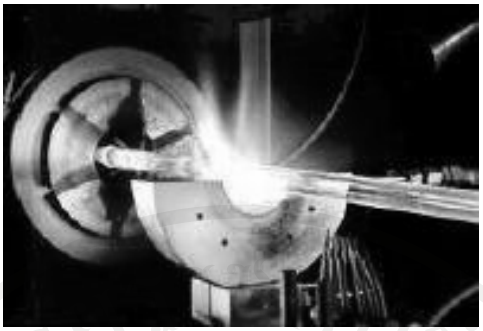
การสร้างเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีเวพอร์เฟสแอคเชียลดีโพซิชัน (Vapor phase axial deposition: VAD) หรือวีเอดีเป็นวิธีที่พัฒนามาจากโอวีพีดี

เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ (2552) ได้กล่าวถึงวิธีนี้ว่า เป็นวิธีที่คล้ายกับโอวีพีโอต่างกันตรงที่การสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์มจะทำในแนวตั้ง และเป็นระบบที่มีความต่อเนื่องกล่าวคือ สามารถที่จะสร้างเส้นใยแก้วนำแสงได้เลยหลังจากที่สร้างแท่งแก้วพรีฟอร์ม โดยการดึงจากด้านบนของระบบ ส่วนการสร้างแท่งแก้วแบบพรีฟอร์ม จะทำได้โดยการปล่อยอนุภาคของแก้วออกมาที่ด้านล่าง โดยมีการหมุนแท่งแก้วรอบตัวเองเพื่อให้เกิดความสมมาตรของรูปทรงกระบอก ส่วนที่ด้านบนของระบบจะมีอุปกรณ์ให้ความร้อน (Ring heater) ซึ่งให้ความร้อนประมาณ 1500 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้แก้วมีความใสขึ้นก่อนที่จะทำการดึงเป็นเส้นใยแก้วนำแสงดังภาพที่ 6.6 (ก)



(ก)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



(ข)

ภาพที่ 6.6 วิธีวีเอดี (ก) กระบวนการสร้าง (ข) การเชื่อมด้วยก๊าซ
ที่มา: เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ, 2552

วิธีวีเอดีนี้สามารถที่จะสร้างเส้นใยแสงซึ่งมีความยาวประมาณ 100 กิโลเมตร โดยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีโอวีพีดีแล้ว วิธีวีเอดีจะใช้ต้นทุนในการผลิตที่ถูกกว่าและแท่งแก้วพรีฟอร์มที่ได้ก็มีความบริสุทธิ์มากกว่า เนื่องจากเป็นระบบที่ปิดทำให้สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า แต่ระบบดังกล่าวนี้ก็ยังคงมีปัญหาเรื่องไอน้ำอยู่ เส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างจากวิธีวีเอดีนี้จะมีค่าลดทอนสัญญาณแสงต่ำสุดอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 2 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่มีความยาวคลื่น 1181 นาโนเมตร

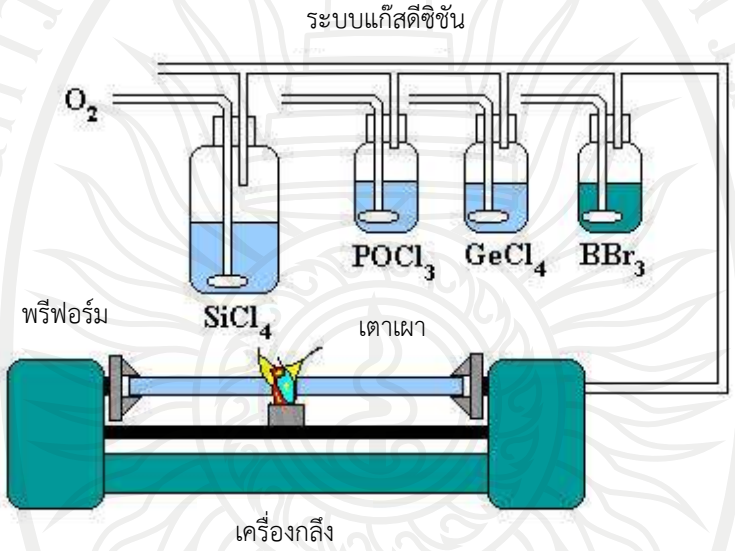
แทน เชียงแขก (ม.ป.ป.) ได้กล่าวถึงวิธีการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงแบบวีเอดีไว้ว่า วิธีนี้เป็นวิธีที่บริษัทเอ็นทีที (Nippon telegraph and telephone) ของประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนาขึ้นมา มีข้อดีคือขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยาก สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถผลิตแท่งแก้วพรีฟอร์มให้มีขนาดใหญ่ได้ตามต้องการ

การนำสารที่เป็นวัตถุดิบของเส้นใยแสง เช่น เจอเมเนียมคลอไรด์ (Germanium chloride: $GeCl_4$) เป็นต้น นำไปพ่นรวมกับก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) โดยพ่นติดเข้าไปตรงส่วนของแท่งแก้วควอตซ์ (Quartz) ที่กำหลังหมุนอยู่และทำให้เกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันเป็นน้ำ (Hydrolysis) ด้วยหัวเชื่อมก๊าซ (Oxhydrogen burner) ดังภาพที่ 6.6 (ข) จะเห็นว่ามีโดยการทำเช่นนี้จะทำให้ส่วนล่างของแท่งแก้วควอตซ์ขึ้นข้างบนไปด้วย และขณะเดียวกันให้ความร้อนแก่แท่งแก้วควอตซ์นี้ด้วยตัวทำความร้อน (Heater) ที่มีรูปร่างเป็นวงแหวนจะทำให้แท่งแก้วพรีฟอร์มที่เป็นรูพรุนกลายเป็นแก้วใส สามารถผลิตเป็นแท่งแก้วพรีฟอร์มได้

6.4 วิธีโมดิฟายด์เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน

เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ (2552) ได้กล่าวถึงการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีโมดิฟายด์เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน (Modified chemical vapor deposition : MCVD) ว่าการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงวิธีนี้ประยุกต์มาจากวิธีการซีวีดี ซึ่งในการสร้างแผ่นฟิล์มซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) บนแผ่นซิลิกอน ในการผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำและวงจรวิธีเอ็มซีวีดีเป็นระบบปิดชนิดเดียวกับวิธีวีเอดี โดยแท่งแก้วพรีฟอร์มจะถูกสร้างขึ้นภายในหลอดแก้วซิลิกา ซึ่งวิธีการนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อินไซต์เวเพอร์เฟสออกซิเดชัน (Inside vapor phase oxidation: IVPO) เพราะเป็นวิธีการสร้างแบบเวเพอร์เฟสออกซิเดชัน (Vapor phase oxidation) ซึ่งแท่งแก้วถูกสร้างขึ้นภายในหลอดแก้ว ส่วนของหลอดแก้วซิลิกานั้น อาจนำมาเป็นส่วนประกอบของแคลดดิ้งก็ได้ แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีไว้

เพื่อความแข็งแรงทางโครงสร้างของแท่งแก้วพรีฟอร์ม สำหรับความร้อนที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างแท่งแก้วของซิลิกอนคลอไรด์ ($SiCl_4$), เจอร์เมเนียมคลอไรด์ ($GeCl_4$) หรือสารเคมีอื่นๆ จะเกิดจากเปลวไฟของออกซิเจนและไฮโดรเจนซึ่งมีค่าประมาณ 1400 องศาเซลเซียส ถึง 1600 องศาเซลเซียส โดยอุปกรณ์ให้ความร้อนจะเคลื่อนที่ไปตามแนวยาวของหลอดแก้ว ดังภาพที่ 6.7 ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นภายในทำให้อนุภาคของแก้วตกลงบนผนังของหลอดแก้ว และเกิดเป็นแผ่นฟิล์มขึ้น ซึ่งแก้วส่วนนี้ก็จะเป็นส่วนของแคลดดิ้ง ในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสง และยังช่วยลดการแพร่กระจายของน้ำจากหลอดแก้วด้วย โดยแผ่นฟิล์มที่สร้างขึ้นนี้จะมีความหนาประมาณ 10 มิลลิเมตร และมีการรักษารูปทรงและความสม่ำเสมอของแท่งแก้วโดยการหมุนหลอดแก้ว เมื่อได้ความหนาตามต้องการจะเติมสารที่ใช้สำหรับสร้างคอร์ซึ่งได้แก่ ไอคลอไรด์ของเยอรมันเนียม (Vaporized chlorides of germanium : $GeCl_4$) หรือของฟอสฟอรัส ($POCl_3$)

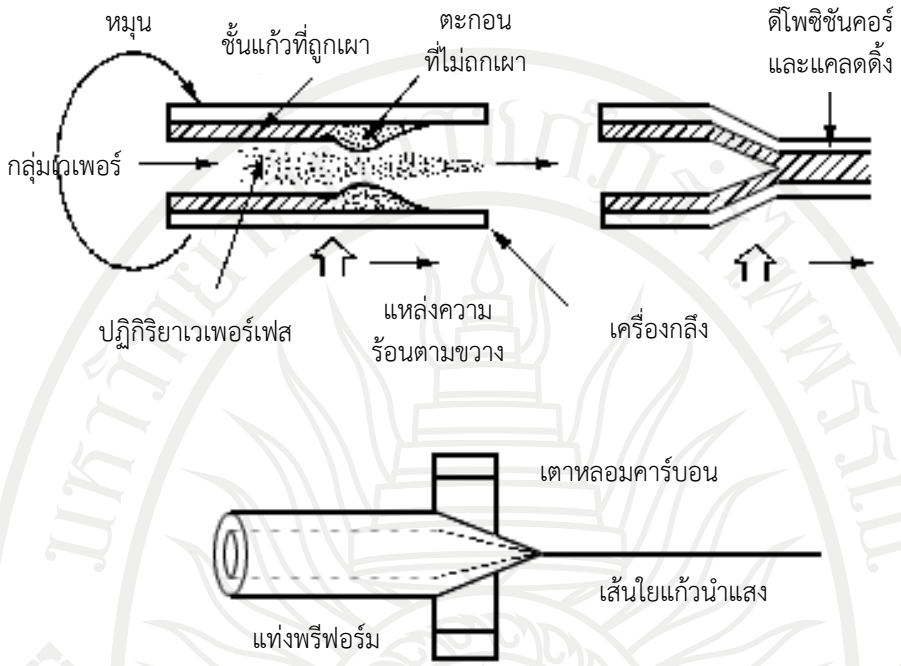


ภาพที่ 6.7 การสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์มด้วยวิธีเอ็มซีวีดี
ที่มา: เศรษฐพงค์ มะลิสุวรรณ, 2552

เมื่อได้ความหนาของคอร์ตามต้องการแล้วจะเพิ่มความร้อนที่ให้เป็น 1700 องศาเซลเซียส ถึง 1900 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการยุบตัวบริเวณปลายแท่งแก้ว ทำให้ได้แท่งแก้วพรีฟอร์ม จากนั้นจึงนำแท่งแก้วดังกล่าวมาดึงเป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่อุณหภูมิประมาณ 2000 องศาเซลเซียส ถึง 2200 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 6.8

วิธีการนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถสร้างเส้นใยแก้วนำแสงที่มีการสูญเสียต่ำที่สุด เพราะสามารถลดการสูญเสียที่เกิดจากไอน้ำและเป็นระบบปิดที่ทำให้สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมในการสร้างได้ ถึงแม้ว่าวิธีเอ็มซีวีดีนี้จะไม่ใช่ระบบที่ต่อเนื่องเหมือนวิธีวีเอดี แต่เนื่องจากเป็นวิธีที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยแสงได้ยาวถึง 200 กิโลเมตร โดยสามารถสร้างเส้นใยแสงโหมดเดียวที่โด๊ปด้วยเจอร์เมเนียมออกไซด์ (GeO_2) ซึ่งมีการสูญเสียที่ต่ำสุดที่ 0.2 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่มีความยาวคลื่น 1.55 ไมครอน และยังสามารถสร้างเส้นใยแก้วนำแสงหลายโหมดชนิดแกรดอินเด็กซ์ ซึ่งใช้สารเยอรมันเนียมหรือฟอสฟอรัสที่มีค่าการสูญเสียใกล้กับค่าการสูญเสียทางทฤษฎีของสารดังกล่าว คือ 2.8 เดซิเบลต่อกิโลเมตร 0.45 เดซิเบลต่อกิโลเมตร

และ 0.35 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่มีความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร 1300 นาโนเมตร และ 1500 นาโนเมตร ตามลำดับ



ภาพที่ 6.8 การดึงแท่งแก้วพรีฟอร์มให้เป็นเส้นใยแก้ววิธีเอ็มซีวีดี
ที่มา: เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ, 2552

แทน เชียงแขก (ม.ป.ป.) ได้กล่าวถึงวิธีการนี้ไว้ว่า สามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งคือวิธีอินเนอร์ซีวีดี (Inner - CVD method) วิธีนี้เป็นวิธีที่ประเทศอเมริกาพัฒนาขึ้นมาเมื่อปี ค.ศ. 1974 โดยการใช้ซิลิกอนคลอไรด์($SiCl_4$) เจอเมเนียมคลอไรด์ ($GeCl_4$) และสารอื่นๆ เป็นวัตถุดิบของเส้นใยแก้วนำแสง และสารโด๊ปผสมปนกับก๊าซออกซิเจนพ่นเข้าไปที่ผิวด้านในของท่อแก้วควอตซ์ ทำให้เกิดแก้วขึ้นภายในท่อแก้วควอตซ์ ในวิธีการผลิตนี้เนื่องจากชั้นแก้วจะเกิดขึ้นในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยการควบคุมอัตราส่วนผสมของสารโด๊ปตามเวลาจะทำให้ได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหตามต้องการ หลังจากที่ทำให้เกิดชั้นแก้วหนาตามขนาดที่ต้องการแล้วจะยุบท่อแก้วควอตซ์ได้เป็นแท่งแก้วพรีฟอร์มออกมา

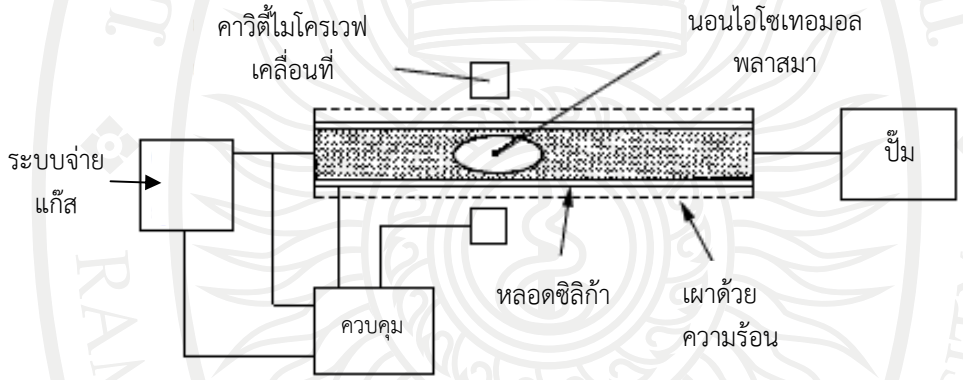
โดยทั่วไปแล้วในวิธีเอ็มซีวีดีนั้น ขนาดของแท่งแก้วพรีฟอร์มถูกจำกัดด้วยขนาดของท่อแก้วควอตซ์และแท่งแก้วควอตซ์ ดังนั้นการผลิตแท่งแก้วพรีฟอร์มขนาดใหญ่จึงมีขีดจำกัด และทางด้านการผลิตจำนวนมากด้อยกว่าวิธีวีเอดีด้วยแท่งแก้วพรีฟอร์มหนึ่งแท่งที่ผลิตด้วยวิธีวีเอดี สามารถดึงให้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงได้ยาวที่สุดหลายร้อยกิโลเมตร แต่แท่งแก้วพรีฟอร์มที่ผลิตด้วยวิธีเอ็มซีวีดีนั้นสามารถดึงให้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงได้ยาวประมาณหลายสิบกิโลเมตรแค่นั้น ตัวอย่างของแท่งแก้วพรีฟอร์มที่ผลิตโดยวิธีวีเอดีและเอ็มซีวีดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

6.5 วิธีพลาสมา-แอคทิเวท เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน

การสร้างเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีพลาสมา-แอคทิเวท เคมิคอลเวเพอร์ดีโพซิชัน (Plasma-activated chemical vapor deposition process: PCVD) หรือพีซีวีดีเป็นวิธีการสร้างที่คล้ายกับวิธีเอ็มซีวีดี

เศรษฐพงค์ มะลิสุวรรณ (2552) ได้กล่าวถึงวิธีนี้ว่า วิธีการนี้จะคล้ายกับวิธีพีซีวีดีต่างกันตรงขั้นตอนในการสร้างชั้นแก้วซึ่งวิธีพีซีวีดี จะใช้คลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ทำให้เกิดพลาสมาไปกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีภายในหลอดแก้ว โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันต่ำ วิธีการสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์มด้วยวิธีพีซีวีดี ซึ่งตัวกำเนิดความถี่ไมโครเวฟจะเคลื่อนที่ไปมาตามแนวนอนของหลอดแก้ว โดยไม่ต้องมีการหมุนของหลอดแก้วเหมือนวิธีพีซีวีดี วิธีการนี้จะทำให้ได้ฟิล์มของแก้วที่มีความบางมากและสามารถสร้างได้ถึง 2000 ชั้น จึงเหมาะกับการสร้างเส้นใยแสงที่มีดัชนีการหักเหแบบแกรดอินเด็กซ์ที่ต้องการ ให้มีการสูญเสียสัญญาณจากการขยายกว้างออกและการลดทอนต่ำ กระบวนการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีพีซีวีดี แสดงดังภาพที่ 6.9



ภาพที่ 6.9 การสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์มด้วยวิธีพีซีวีดี
ที่มา: เศรษฐพงค์ มะลิสุวรรณ, 2552

6.6 การหุ้มเส้นใยแก้วนำแสง

แทน เชียงแขก (ม.ป.ป.) ได้อธิบายถึงการหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงไว้ว่า เพื่อเป็นการป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงที่ดึงเป็นเส้นแล้วปราศจากรอยขีดข่วน ซึ่งจะทำให้ความแข็งแรงของมันลดลง ดังนั้นจึงเพิ่มวัสดุหุ้ม (Cover) ชั้นที่หนึ่งให้แก่เส้นใยแก้วนำแสง นอกจากนั้นยังเพื่อช่วยทำให้สะดวกในการจำแนกในการใช้งานเส้นใยแสง โดยการหุ้มด้วยวัสดุที่มีสีต่างกันและรักษาความแข็งแรงที่ต้องการ ในตอนการทำงานต่อเชื่อมเส้นใยแก้วนำแสงจะทำการหุ้มอีกครั้งหนึ่ง การหุ้มอีกครั้งนี้เรียกว่า การหุ้มครั้งที่สอง (Second cover) ดังแสดงในรูป 6.10 จะเห็นว่าในกรณีของเส้นใยแสงที่มีโครงสร้างแบบไทท์ (Tight structure) นั้น จะหุ้มครั้งที่สองลงไปบนชั้นป้องกัน (Protecting layer) ส่วนเส้นใยแก้วนำแสงที่มีโครงสร้างเป็นแบบลูส (Loose structure) นั้น จะนำเส้นใยแก้วนำแสงที่หุ้มครั้งแรกด้วยเท่านั้น จำนวนประมาณ 1-10 เส้นรวมกันใส่ในท่อในกรณีนี้อากาศหรือสารเชิงซ้อน (Compound) ภายในท่อจะทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกัน

ภาพที 6.10 เส้นใยแก้วนำแสงที่ผ่านการหุ้มแล้ว
ที่มา: แทน เชียงแขก, 2548

6.7 เครื่องมือวัดขนาดของเส้นใยแก้วนำแสง

แท่งแก้วพรีฟอร์มที่สร้างมาได้แล้วนั้นจะถูกนำมาหลอมละลายให้ยืดออกมาเป็นเส้นใยแก้วนำแสง การควบคุมขนาดของเส้นใยแก้วที่ถูกดึงให้คงที่ตลอดจึงเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นจะต้องมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เฉพาะ

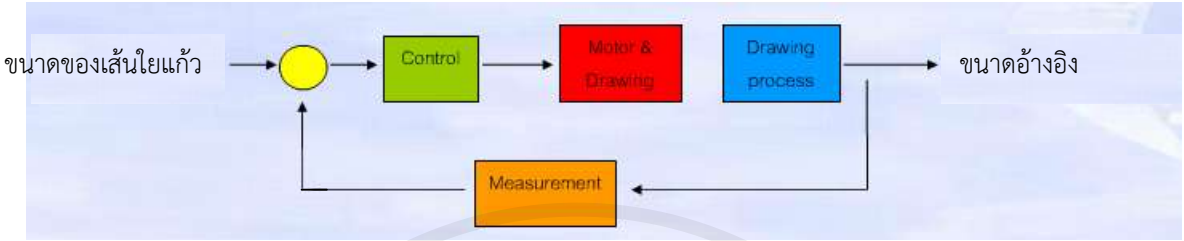
สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์ (2557) ได้กล่าวถึงการดึงเส้นใยแก้วนำแสงว่า ต่อเนื่องด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การดึง (Drawing) หรือการหยดโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องดึงเส้นใยแก้ว (Fiber drawing machine) ดังภาพที่ 6.10 ขั้นตอนการดึงเส้นใยแก้วนำแสง จะต้องใช้เครื่องมือเพื่อทำการวัดขนาดเส้นใยแก้วนำแสงให้คงที่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่ใช้ในการวัดโดยการวัดขนาดเส้นใยแก้วนำแสงในกระบวนการหยด มีเครื่องมือที่ใช้เทคนิคการวัดอยู่ 2 แบบ คือ การใช้เลเซอร์สแกนนิ่งและไลท์สแก็ตเตอร์ริง

6.7.1 เลเซอร์สแกนนิ่ง

เลเซอร์สแกนนิ่ง (Laser scanning) เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยการสแกนแสงเลเซอร์ไปยังอุปกรณ์ตรวจจับ (Detector) ผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่กำลังหยด ความเข้มของแสงจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของเส้นใยแก้วนำแสงที่บดบังแสง โดยที่ขอบจะมีความเข้มแสงมากกว่าตอนกลาง เมื่อนำความเข้มข้นที่เกิดขึ้น มาเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการสแกน ก็สามารถนำไปใช้หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วนำแสงได้อย่างละเอียดในช่วง 90-150 ไมครอน ด้วยความเที่ยงตรงไม่ต่ำกว่า 0.3% ด้วยอัตราการวัดไม่ต่ำกว่า 100 ครั้งต่อความยาว 1 เมตร

6.7.2 ไลท์สแก็ตเตอร์ริง

ไลท์สแก็ตเตอร์ริง (Light scattering) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่องสว่างของแสงเลเซอร์ไปยังเส้นใยแก้วนำแสงที่กำลังหยดลงมา และใช้อุปกรณ์ตรวจจับความเข้มข้นของแสงที่กระจัดกระจายออกมา และนำไปเปรียบเทียบกับมุมของมัน เทคนิคการสแกนด้วยวิธีนี้ช่วยให้สามารถตรวจจับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วนำแสงในช่วง 50-225 ไมโครเมตร ด้วยความละเอียดถึง 0.2 ไมครอน ความเที่ยงตรงอยู่ที่ 0.26% และมีอัตราการวัด 1,000 ครั้งต่อวินาที แผนผังการทำงานของวิธีการวัดแบบนี้แสดง ดังภาพที่ 6.11



ภาพที่ 6.11 แผนผังการทำงานของไลท์สแก็ตเตอร์ริง
ที่มา: สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์, 2557

6.8 สรุป

การผลิตเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะเริ่มจากการสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์มขึ้นมาก่อน แท่งแก้วพรีฟอร์มนี้จะมีคุณสมบัติทางด้านค่าดัชนีหักเหเหมือนกับเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการจะสร้าง แตกต่างกันที่ขนาดของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะเล็กกว่ามาก จากนั้นนำแท่งแก้วพรีฟอร์มมาทำการดึงเป็นเส้นใยเส้นเล็กตามขนาดที่ต้องการ ก่อนที่จะห่อหุ้มด้วยฉนวนและทำการทดสอบคุณสมบัติทางแสงและคุณสมบัติทางกลของเส้นใยแก้วนำแสงที่ผลิตขึ้นมา วิธีการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ละวิธีจะมีข้อดีข้อเสียที่ต่างกัน วิธีที่เป็นที่นิยมมากที่สุดได้แก่ วิธีวีเอดีและเอ็มซีวีดี ในกระบวนการดึงเส้นใยแก้วนำแสงต้องมีการควบคุมขนาดของเส้นใยแก้วให้มีค่าคงที่สม่ำเสมอ หลังจากนั้นต้องทำการหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงด้วยฉนวนชั้นหนึ่ง เพื่อเป็นการป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงและเพิ่มความยืดหยุ่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แบบฝึกหัดบทที่ 6

1. แท่งแก้วพรีฟอร์มมีลักษณะอย่างไร
2. ในการดึงเส้นใยแก้วนำแสงหากเส้นใยแก้วมีขนาดใหญ่กว่าที่ต้องการ ต้องแก้ไขระบบอย่างไร
3. การสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์มแบบอินไซต์และเอาต์ไซต์ต่างกันอย่าง
4. การผลิตเส้นใยแก้วด้วยวิธีใด เป็นการสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์มแบบอินไซด์
5. คำว่าเคเบิลเส้นใยแก้วมีความหมายต่างจากเส้นใยแก้วนำแสงอย่างไร
6. การเคลือบเส้นใยแก้วด้วยโค้ดติ้งกระทำตอนไหนในกระบวนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสง
7. ขั้นตอนการทำให้แท่งแก้วพรีฟอร์มยุบตัวเพื่อประโยชน์อย่างไร
8. ในการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงวิธีเอ็มซีวีดีย่อมาจากคำว่าอะไร
9. วิธีการสร้างแท่งแก้วแบบใดเหมาะกับการสร้างเส้นใยแก้วนนำแสงที่มีดัชนีการหักเหแบบแกรดอินเด็กซ์
10. จงยกตัวอย่างวิธีการสร้างแท่งแก้วพรีฟอร์มที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหแบบแกรดอินเด็กซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารอ้างอิง

แทน เชียงแขก. (2548). **วิธีผลิตเส้นใยแสง.** เชียงราย: แผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพเทิง.

เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ. (2552). **ใยแก้วนำแสง ทำมาจากอะไรและมีวิธีการอย่างไร** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.bloggang.com. สิงหาคม 2557.

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์. (2557). **การสื่อสารทางแสง.** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://cw.rmuti.ac.th. สิงหาคม 2557.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 7

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 7 วงจรในระบบการสื่อสารใยแสง

7.1 ระบบการส่งสัญญาณแสงสู่เส้นใยแก้วนำแสง
7.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อร่วมทางแสง
7.3 การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง
7.4 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อศึกษาบทที่ 7 แล้วนักศึกษาสามารถ
1. อธิบายถึงส่วนต่างๆ ในระบบระบบการส่งสัญญาณทางแสงได้
2. อธิบายถึงอุปกรณ์เชื่อมต่อร่วมทางแสงแต่ละชนิดได้
3. อธิบายถึงวิธีการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงได้
4. สามารถคำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆ ของอุปกรณ์เชื่อมต่อร่วมทางแสงได้

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. บรรยายพร้อมยกตัวอย่างประกอบ
2. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถามข้อสงสัย
3. ซักถามความเข้าใจของผู้เรียนแบบปากเปล่าและแบบฝึกหัดท้ายบท
4. ศึกษาจากเอกสารประกอบการสอน

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อนำเสนอด้วยพาวเวอร์พ้อย
2. สื่อวีดิโอ ประกอบ
3. เอกสารประกอบการสอนที่จัดพิมพ์โดยผู้สอน

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน
2. สังเกตจากการตอบคำถามแบบปากเปล่า
3. สังเกตจากการทำแบบฝึกหัดท้ายบท
4. คะแนนจากแบบทดสอบย่อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทที่ 7
วงจรในระบบการสื่อสารใยแสง

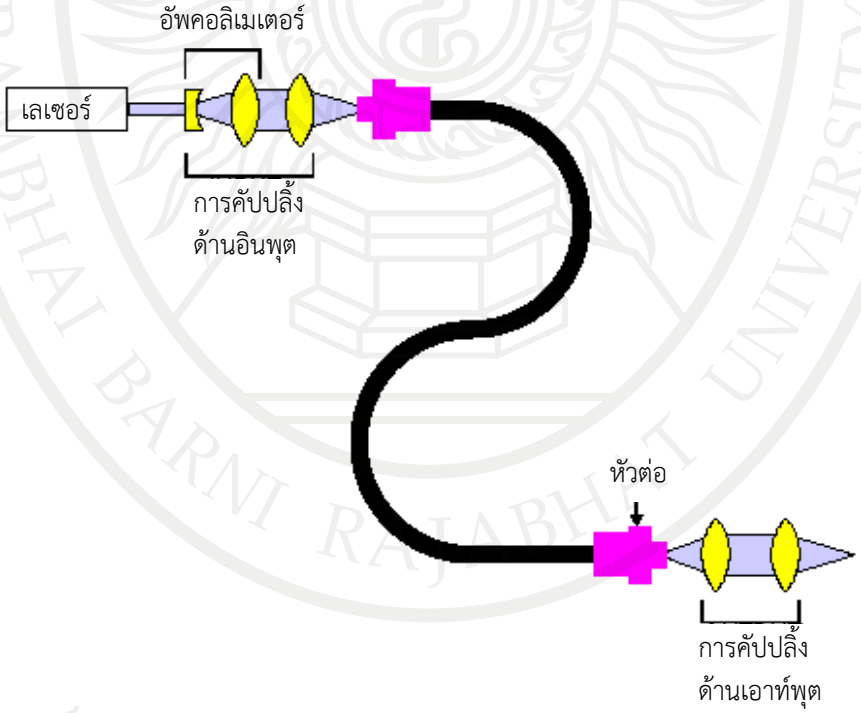
เส้นใยแก้วนำแสงเป็นเพียงตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลเท่านั้น การนำเส้นใยแก้วนำแสงไปใช้งานจริง ในระบบการสื่อสารจะต้องนำเส้นใยแก้วนำแสงไปประกอบกับอุปกรณ์อื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์รับแสง อุปกรณ์เชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเข้าด้วยกัน หรืออุปกรณ์รวมและแยกสัญญาณแสง ในบทนี้จะกล่าวถึงวงจรและอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในระบบการสื่อสารใยแก้วนำแสง

7.1 ระบบการส่งสัญญาณแสงสู่เส้นใยแก้วนำแสง

การที่จะส่งคลื่นแสงหรือลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสง เข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะต้องมีอุปกรณ์ช่วยรวมแสงให้เดินทางเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้

ยูเอส เลเซอร์ ครอป (US Laser corp, 2011) ได้กล่าวถึงระบบการรับและส่งสัญญาณแสงให้กับเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber optic beam delivery systems: FOBD) ไว้ดังภาพที่ 7.1 ระบบเอฟโอบีดีนี้ นอกเหนือจากเส้นใยแก้วนำแสงแล้วประกอบด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วนย่อยด้วยกัน คือ

1) ส่วนการคัปปลิ้งด้านอินพุต (Input coupling optics)
2) ส่วนการเชื่อมต่อปลายเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber end connections)
3) ส่วนการคัปปลิ้งด้านเอาต์พุต (Output coupling optics)



ภาพที่ 7.1 ระบบการรับและส่งสัญญาณให้กับเส้นใยแก้วนำแสง
ที่มา: US Laser corp, 2011

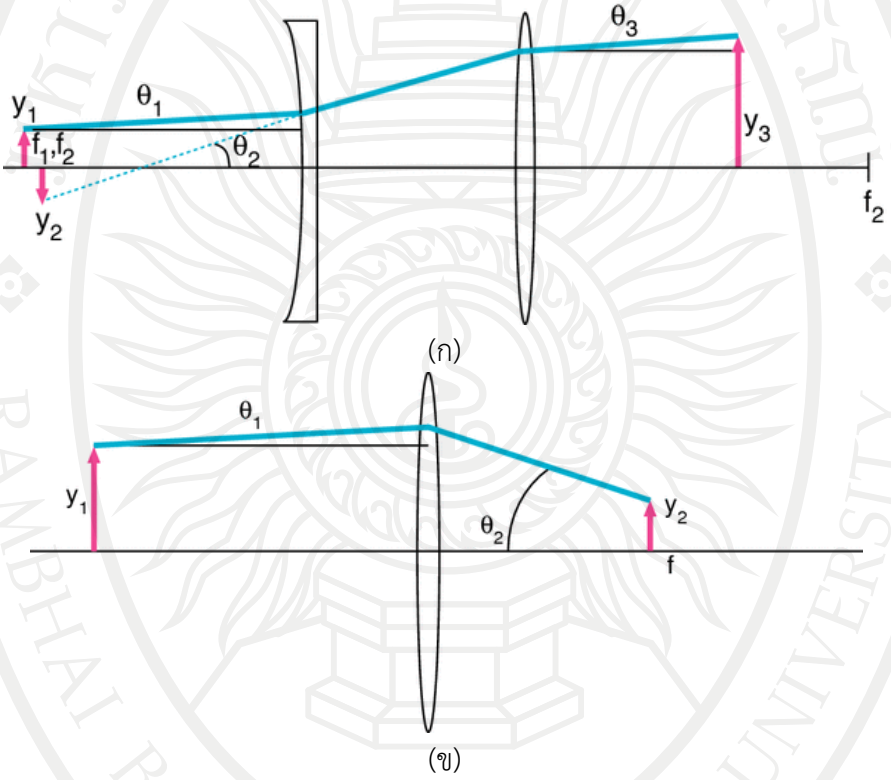
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

7.1.1 ส่วนการคัปปลิ้งด้านอินพุต

ส่วนนี้ คือ ส่วนของการเชื่อมต่อร่วม (Coupling) ด้านอินพุต เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อพลังงานแสงจากเลเซอร์ไปยังคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสง โดยในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย อัพคอลิเมเตอร์ (Up collimator) ทำหน้าที่ขยายลำแสงจากเลเซอร์ และเลนส์สำหรับโฟกัสแสง (Focusing lens) ทำหน้าที่โฟกัสลำแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงแสดงดังภาพที่ 7.2 ส่วนของการเชื่อมต่อร่วมด้านอินพุตจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1) พลังงานทั้งหมดจะต้องถูกโฟกัสไปยังคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสง และต้องแน่ใจว่าขนาดของจุดโฟกัสของเลนส์มีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์

2) มุมของลำแสงอินพุต ซึ่งวัดได้จากของลำแสงที่ระยะโฟกัสของเลนส์โฟกัส จะต้องมีค่าน้อยกว่าค่ามุม θ_{max} (Acceptance angle) ของเส้นใยแก้วนำแสง



ภาพที่ 7.2 การทำงานของส่วน (ก) ส่วนอัพคอลิเมเตอร์ และ (ข) ส่วนโฟกัส
ที่มา: Newport corporation, n.d.

นิวพอร์ต คอปอเรชัน (Newport corporation, n.d.) ได้อธิบายถึงการใช้เลนส์เพื่อส่งสัญญาณแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงไว้ว่า การโฟกัสลำแสงเป็นการรวมลำแสงให้เป็นจุดเล็กด้วยเลนส์นูน จากภาพที่ 7.2 (ข) ลำแสงก่อนที่จะผ่านมาสู่เลนส์มีขนาดเป็น y_1 และทำมุม θ_1 ซึ่งถูกโฟกัสด้วยเลนส์ที่มีระยะโฟกัส f จะสามารถคำนวณมุม θ_2 ได้จากสมการที่ (7.1)

$$\theta_2 = \frac{y_1}{f} \qquad (7.1)$$

เนื่องจากผลคูณของขนาดลำแสง y ที่ผ่านเลนส์และมุมจะเป็นค่าคงที่ ดังนั้นในทำนองเดียวกันจะคำนวณขนาดของลำแสงที่ผ่านเลนส์ได้ดังสมการที่ (7.2)

$$y_2 = \theta_1 f \tag{7.2}$$

การขยายลำแสงด้วยเลนส์ในส่วนของอัพคอลิเมเตอร์นั้น จะประกอบด้วยเลนส์อย่างน้อย 2 เลนส์เพื่อทำการขยายลำแสงดังภาพที่ 7.2 (ก)

7.1.2 ส่วนการเชื่อมต่อปลายเส้นใยแก้วนำแสง

ส่วนนี้เป็นส่วนของเส้นใยแก้วนำแสงที่เชื่อมต่ออุปกรณ์รับและส่งเอาไว้ เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ และขนาดของจุดโฟกัสของเลนส์นั้นมีขนาดเล็กมาก (< 1 มิลลิเมตร) ดังนั้นการวางแนวและความมั่นคงของอุปกรณ์ต่างๆ จึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ที่ส่วนเชื่อมต่อระหว่างแก้วกับอากาศที่ปลายของเส้นใยแก้วนำแสงอาจเกิดการสะท้อนของกำลังงานแสงที่ผิวหน้าตัด หรือการสูญเสียแบบเฟรสแนล (Fresnel losses) โดยปกติแล้วกำลังงานแสงที่สะท้อนกลับนี้จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 4% ของกำลังงานอินพุต เช่น ถ้าอินพุตมีกำลังงาน 2000 วัตต์ จะมีส่วนขอกำลังงานแสงที่สะท้อนออกไป 80 วัตต์

ระบบการเชื่อมต่อนี้จะต้องสามารถกำจัดการสะท้อนของกำลังงานนอกเหนือจากผลกระทบของเส้นใยแก้วนำแสงเสียหายหรือการวางตำแหน่งไม่ตรงกัน การเชื่อมต่อในอุดมคตินั้น ระบบจะต้องใช้วิธีที่ลดการเกิดการสูญเสียแบบเฟรสแนลที่ผิวหน้าตัด ซึ่งจะทำให้สามารถส่งผ่านพลังงานได้เพิ่มมากขึ้นและลดกำลังงานสะท้อนได้ด้วย

ในส่วนการเชื่อมต่อปลายเส้นใยแก้วนำแสง โดยทั่วไปจะประกอบด้วยอุปกรณ์เชื่อมต่อทางกล (หัวต่อตัวผู้/ตัวเมีย) ซึ่งจะช่วยยึดเส้นใยแก้วนำแสงไว้ให้แน่น วิธีที่จะสามารถลดการเกิดการสูญเสียแบบเฟรสแนล คือ การทำป้องกันการสะท้อน (Anti-reflection: AR) ที่ฉนวนห่อหุ้มของส่วนปลายของเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งวิธีนี้ปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้กันมากนัก

7.1.3 ส่วนการคัปปลิ้งด้านเอาต์พุต

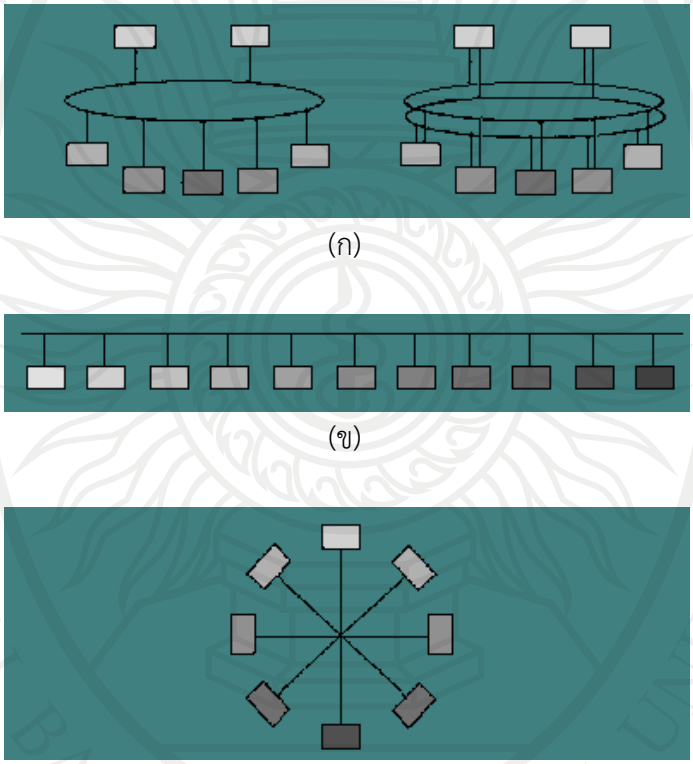
ในส่วนนี้เป็นส่วนของการเชื่อมต่อแสงออกจากเส้นใยแก้วนำแสง เพื่อนำไปประมวลผลสัญญาณแสงต่อไป พารามิเตอร์ของลำแสงที่ถูกโฟกัสซึ่งเปลี่ยนไปตามการนำไปใช้งานต่างๆ ประกอบไปด้วย ขนาดของจุดโฟกัส คุณสมบัติของลำแสง ความลึกของระยะโฟกัส และระยะที่ทำงานได้ ในส่วนการคัปปลิ้งด้านเอาต์พุต โดยทั่วไปแล้วจะประกอบไปด้วยเลนส์ 2 ตัวซึ่งทำงานร่วมกัน ซึ่งเลนส์ตัวแรกจะทำหน้าที่รับลำแสงที่ออกมาจากเส้นใยแก้วนำแสง เลนส์ตัวนี้ต้องมีขนาดของช่องรับแสง (f-number) น้อยมากพอที่จะรับแสงทั้งหมดที่ออกมาจากเส้นใยแก้วนำแสง เลนส์ตัวที่ 2 ทำหน้าที่โฟกัสลำแสงไปยังอุปกรณ์รับแสงทางภาครับต่อไป ขนาดของจุดโฟกัสสุดท้ายจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสง

จากคุณสมบัติข้างต้น จึงสรุปได้ว่าคุณสมบัติที่สำคัญที่จะทำให้การส่งสัญญาณแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงได้ทั้งหมด คือขนาดของจุดโฟกัสของเลนส์ทั้งที่ส่วนอินพุตและส่วนเอาต์พุต ต้องมีขนาดสัมพันธ์กับขนาดของคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสง จึงจะส่งผลให้การส่งสัญญาณแสงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

7.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อร่วมทางแสง

อุปกรณ์เชื่อมต่อร่วมทางแสง (Fiber optic couplers) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในวงจรของการสื่อสารใยแสงทั้งภาครับและภาคส่ง เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในระบบโครงข่ายโทรคมนาคม เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการรวมสัญญาณหรือแบ่งแยกสัญญาณ ซึ่งอุปกรณ์เชื่อมต่อร่วมทางแสงนี้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด

อินทิเกรต พับลิสชิง (Integrated publishing, n.d.) ได้กล่าวไว้ว่าการใช้เส้นใยแก้วนำแสงเพื่อเชื่อมต่อข้อมูลนั้นบางครั้งอาจจะไม่ใช่เพียงการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด แต่ต้องใช้การเชื่อมต่อหนึ่งจุดไปยังหลายๆ จุด ซึ่งการเชื่อมต่อเหล่านี้จะต้องอาศัยการออกแบบที่ซับซ้อน และต้องใช้จุดสำหรับเชื่อมต่อหลายจุดหรือรูปแบบการเชื่อมต่อที่หลากหลาย ดังนั้นในการเชื่อมต่อในหลายกรณีจำเป็นต้องมีการจัดสรรสัญญาณแสงใหม่ เช่น การรวมหรือแยกสัญญาณแสง สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อโครงข่ายในรูปแบบต่างๆ แสดงได้ดังภาพที่ 7.3



ภาพที่ 7.3 สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อในรูปแบบ (ก) แบบวงแหวน (ข) แบบบัส (ค) แบบดาว
ที่มา: Integrated publishing, n.d.

คัปเปลอร์ทางแสง (Fiber optic couplers) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแบ่งกำลังงานของสัญญาณแสงจากเส้นใยแก้วนำแสงหนึ่งเส้นเป็น 2 เส้นหรือมากกว่าได้ และยังสามารถรวมสัญญาณแสงจากเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้นหรือมากกว่าเข้าด้วยกันได้อีกด้วย คัปเปลอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบแอคทีฟและพาสซีฟ

1) คัปเปลอร์แบบพาสซีฟ (Passive coupler) จะทำการจัดแบ่งสัญญาณแสงใหม่ โดยไม่ต้องทำการแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าก่อน

2) คัปเปลอร์แบบแอคทีฟ (Active couplers) เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ซึ่งสามารถรวมหรือแยกสัญญาณทางไฟฟ้าได้ ดังนั้นในการแบ่งสัญญาณแสงจะต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าก่อน จึงทำการแยกสัญญาณไฟฟ้านั้น แล้วแปลงกลับเป็นสัญญาณแสงโดยใช้อุปกรณ์รับแสงและแหล่งกำเนิดแสงเป็นอินพุตและเอาท์พุตของอุปกรณ์

ภาพที่ 7.4 รูปแบบพื้นฐานของอุปกรณ์คัปเปลอร์ทางแสง
ที่มา: Integrated publishing, n.d.

ภาพที่ 7.4 เป็นรูปแบบโดยทั่วไปของอุปกรณ์คัปเปลอร์ทางแสง ซึ่งค่าของ N หมายถึงจำนวนสัญญาณแสงอินพุต และ M หมายถึงสัญญาณแสงเอาต์พุต จะมีค่าอยู่ตั้งแต่ 1 ถึง 64 อุปกรณ์คัปเปลอร์ทางแสง มีอยู่หลายชนิด ได้แก่ คัปเปลอร์แยกสัญญาณแสง คัปเปลอร์รวมสัญญาณแสง คัปเปลอร์แบบเอ็กซ์ คัปเปลอร์รูปดาว และคัปเปลอร์รูปต้นไม้

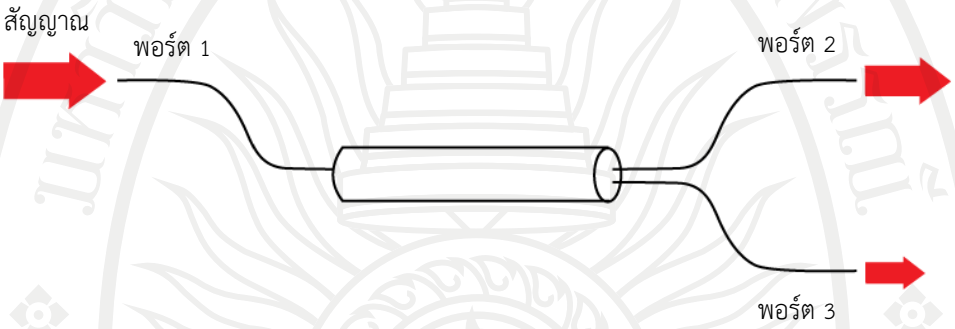
7.2.1 คัปเปลอร์แยกสัญญาณแสง

คัปเปลอร์แยกสัญญาณแสง (Optical splitter) เป็นอุปกรณ์แบ่งแยกกำลังงานของสัญญาณแสงจากเส้นใยแก้วนำแสงเพียง 1 เส้นเป็น 2 เส้น กำลังงานของสัญญาณแสงอินพุตนั้นโดยปกติแล้วจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน ซึ่งจะเรียกอุปกรณ์นี้ว่าคัปเปลอร์แบบวาย (Y-coupler) ลักษณะของคัปเปลอร์แยกสัญญาณแสง แสดงดังภาพที่ 7.5

คัปเปลอร์แยกสัญญาณแสง บางชนิดก็จะทำการแบ่งกำลังงานอินพุตออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งแต่ละกำลังงานเอาต์พุตจะไม่เท่ากัน โดยกำลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ที่เอาท์พุตหนึ่งเท่านั้น และกำลังงานที่เหลือเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่จะถูกแบ่งออกไปยังอีกเอาต์พุตหนึ่ง ลักษณะของคัปเปลอร์ชนิดนี้จะเรียกว่าคัปเปลอร์รูปตัวที (T-coupler) หรือออปติคอลแท็ป (Optical tap) แสดงดังภาพที่ 7.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

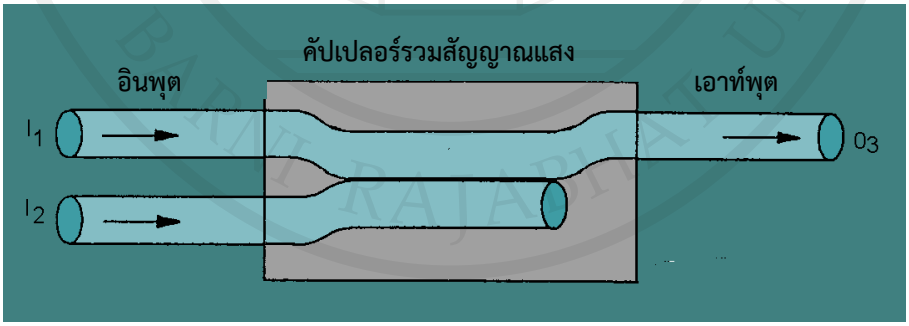
ภาพที่ 7.5 ลักษณะของคัปเปลอร์แยกสัญญาณแสง
ที่มา: Integrated publishing, n.d.



ภาพที่ 7.6 ลักษณะของคัปเปลอร์รูปตัวที
ที่มา: Thorlab, n.d.a

7.2.2 คัปเปลอร์รวมสัญญาณแสง

คัปเปลอร์รวมสัญญาณแสง (Optical combiner) เป็นอุปกรณ์ที่รวมกำลังงานแสงจากอินพุตทางแสง 2 อินพุต รวมเป็น 1 เอาต์พุต ลักษณะของคัปเปลอร์รวมสัญญาณแสง แสดงดังภาพที่ 7.7

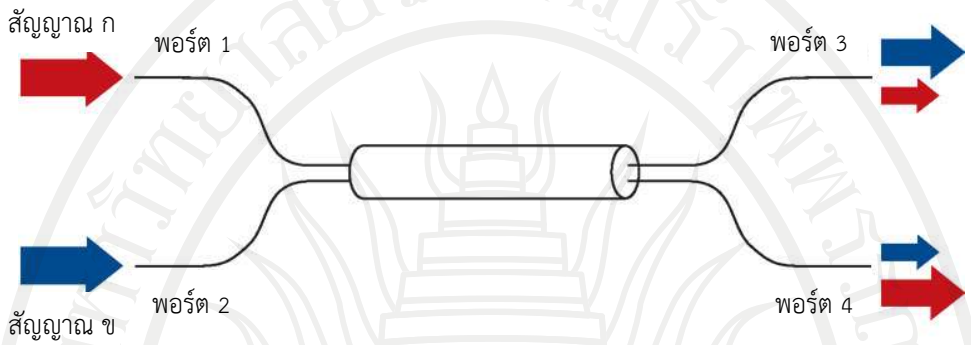


ภาพที่ 7.7 ลักษณะของคัปเปลอร์รวมสัญญาณแสง
ที่มา: Integrated publishing, n.d.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

7.2.3 คัปเปลอร์แบบเอ็กซ์

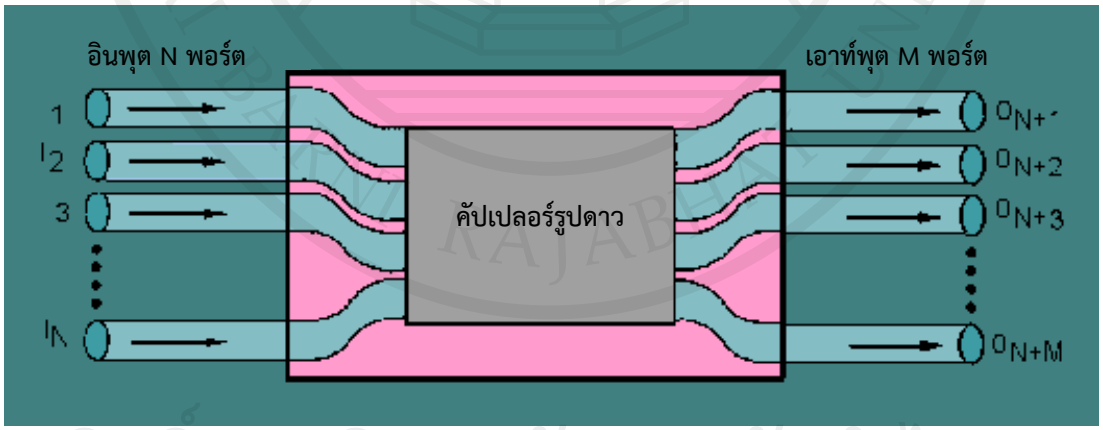
คัปเปลอร์แบบเอ็กซ์ (X coupler) เป็นอุปกรณ์ที่รวมเอาฟังก์ชันการทำงานของคัปเปลอร์แยกสัญญาณแสง และ คัปเปลอร์รวมสัญญาณแสงไว้ด้วยกัน ลักษณะการทำงาน คือ คัปเปลอร์แบบเอ็กซ์จะทำการรวมกำลังงานของสัญญาณแสงอินพุต 2 สัญญาณเข้าด้วยกัน แล้วทำการแบ่งกำลังของอินพุตแต่ละตัว ออกเป็น 2 ส่วน หรืออาจเรียกคัปเปลอร์แบบเอ็กซ์ว่า คัปเปลอร์แบบ 2x2 ก็ได้ ลักษณะของคัปเปลอร์แบบเอ็กซ์แสดงดังภาพที่ 7.8



ภาพที่ 7.8 ลักษณะของคัปเปลอร์แบบเอ็กซ์
ที่มา: Thorlab, n.d.b

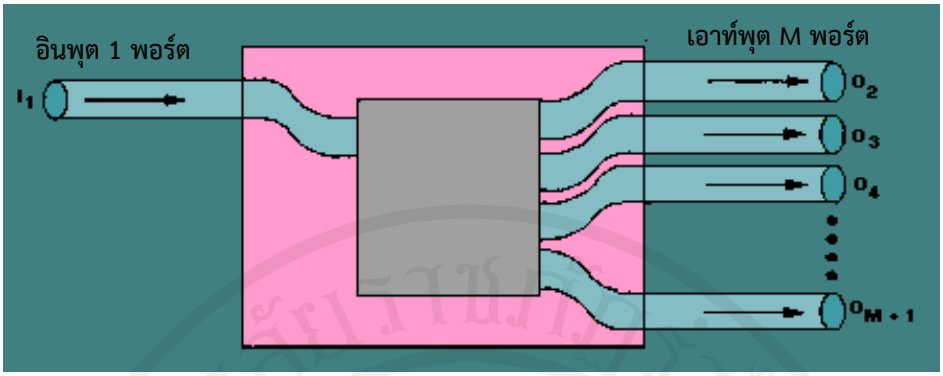
7.2.4 คัปเปลอร์รูปดาวและคัปเปลอร์รูปต้นไม้

คัปเปลอร์รูปดาว (Star couplers) และคัปเปลอร์รูปต้นไม้ (Tree couplers) คัปเปลอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้ มีลักษณะการทำงานของคัปเปลอร์ที่รวมหรือแยกสัญญาณแสงมากกว่า 2 สัญญาณขึ้นไป โดยคัปเปลอร์รูปดาวเป็นอุปกรณ์ที่อินพุตจำนวน N สัญญาณ และมีเอาท์พุตจำนวน M สัญญาณ หรือ (NxM) แสดงลักษณะได้ดังภาพที่ 7.9 ส่วนคัปเปลอร์รูปต้นไม้ อุปกรณ์ที่มีอินพุตจำนวน 1 สัญญาณ และมีเอาท์พุตจำนวน M สัญญาณ (1xM) หรือมีอินพุตจำนวน N สัญญาณ และมีเอาท์พุต 1 (Nx1) สัญญาณหรือคัปเปลอร์รูปต้นไม้ แสดงลักษณะได้ดังภาพที่ 7.10

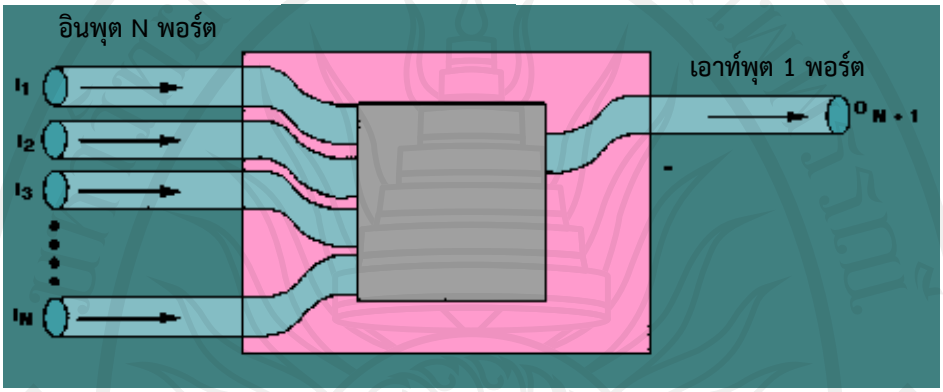


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 7.9 ลักษณะของคัปเปลอร์รูปดาว
ที่มา: Integrated publishing, n.d.



(ก)

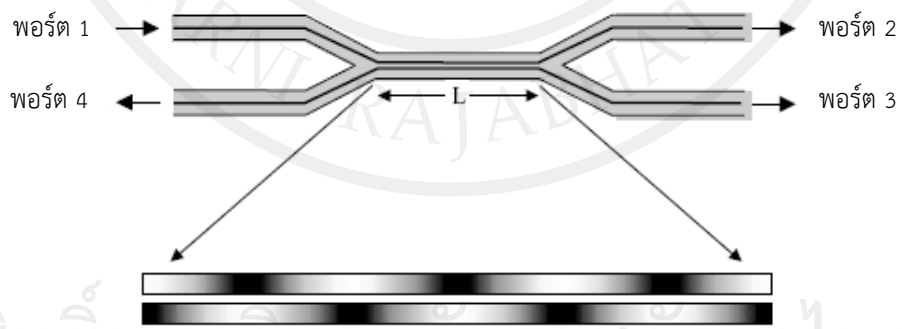


(ข)

ภาพที่ 7.10 ลักษณะของคัปเปลอร์รูปต้นไม้ (ก) แบบ 1xM และ (ข) แบบ Nx1
ที่มา: Integrated publishing, n.d.

7.2.4 คัปเปลอร์แบบมีทิศทาง

คัปเปลอร์แบบมีทิศทาง (Directional couplers) เป็นคัปเปลอร์ทางแสง ประกอบด้วยอินพุตทางแสง 2 สัญญาณ และเอาต์พุต 2 สัญญาณ การทำงานของคัปเปลอร์แบบมีทิศทาง คือการแลกเปลี่ยนกำลังงานกันระหว่างสัญญาณอินพุตทั้ง 2 สัญญาณ คล้ายกับเอ็กซ์คัปเปลอร์ แตกต่างกันคือ คัปเปลอร์แบบมีทิศทาง มีคุณสมบัติที่ป้องกันการถ่ายโอนพลังงานกันระหว่างเส้นใยแก้วอินพุต ดังภาพที่ 7.11



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏราไพพรรณี

ภาพที่ 7.11 ลักษณะของคัปเปลอร์แบบมีทิศทาง
ที่มา: Thyagarajan, K. and Ghatak, A., 2010

ทยาการาจัน (Thyagarajan, K., 2010) ได้อธิบายถึงคัปเปลอร์แบบมีทิศทางไว้ว่า จะประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้นที่มีคอร์อยู่ใกล้กันมาก มีช่วงความยาว L เป็นช่วงที่เกิดการปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างกัน มีรูปแบบการแลกเปลี่ยนกำลังงานที่แน่นอนระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 เส้น ดังภาพที่ 7.11 ด้านล่างถ้ากำหนดให้พอร์ต 1 เป็นอินพุต และกำลังงานแสงเอาต์พุตออกที่พอร์ต 2 และพอร์ต 3 กำลังงานที่ออกมาทางพอร์ต 4 จะมีค่าน้อยมาก ซึ่งสัดส่วนของกำลังงานที่เล็ดลอดออกจะขึ้นอยู่กับความยาว L และถ้าการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากตัวของคัปเปลอร์มีค่าน้อยมาก ผลรวมของกำลังงานของที่พอร์ต 2 และพอร์ต 3 จะมีค่าเกือบเท่ากับกำลังงานอินพุตที่ส่ง ดังนั้นกำลังงานที่สะท้อนออกมาที่พอร์ต 4 นี้จึงหมายถึงการสูญเสียของสัญญาณแสงที่ผ่านคัปเปลอร์ โดยทั่วไปแล้วอัตราส่วนของกำลังงานที่สะท้อนออกมาที่พอร์ต 4 นี้ ควรจะมีค่าน้อยมาก หากกำหนดความยาวของช่วงปฏิสัมพันธ์ (L) ให้เหมาะสมกำลังงานจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กันไปยังเอาต์พุตทั้ง 2 พอร์ต เรียกคัปเปลอร์ชนิดนี้ว่า คัปเปลอร์ –3 เดซิเบล (-3dB coupler) ดังภาพที่ 7.12 ซึ่ง -3 เดซิเบลนี้ หมายถึงกำลังงานที่ลดลง 50%

ภาพที่ 7.12 ลักษณะของคัปเปลอร์ –3 เดซิเบล
ที่มา: Thyagarajan, K. and Ghatak, A., 2010

อุปกรณ์คัปเปลอร์ทางแสงส่วนใหญ่จะมีลักษณะสมมาตร ลักษณะสมมาตรหมายถึง คัปเปลอร์ที่ส่งผ่านค่ากำลังงานแสงเท่าเดิม แม้ว่าจะป้อนอินพุตเข้าทางด้านเอาท์พุต

7.2.5 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

การบอกถึงคุณสมบัติของคัปเปลอร์นั้น มีพารามิเตอร์ที่สำคัญอยู่หลายพารามิเตอร์ ลอยย์เทคโนโลยี (2011) ได้กล่าวถึงพารามิเตอร์ของคัปเปลอร์ที่สำคัญไว้ดังนี้

1) อัตราการแบ่งสัญญาณ (Splitting ratio) เป็นอัตราส่วนที่แสดงถึงการแบ่งกำลังงานกำลังทางด้านเอาท์พุต เช่น 50:50 หมายถึง การแบ่งกำลังงานของอุปกรณ์ที่พอร์ตเอาต์พุตให้มีค่าเท่ากัน อัตราการแบ่งสัญญาณนี้คำนวณได้จากสมการที่ (7.3)

$$\text{อัตราการแบ่งสัญญาณ} = \frac{P_o}{P_i} \qquad (7.3)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตัวอย่างที่ 7.1 คัปเปอร์ทางแสงชนิด 2x2 มีสัญญาณอินพุตที่พอร์ต 1 เท่ากับ 46 ไมโครวัตต์ปรากฏว่ามีแสงด้านเอาท์พุตที่พอร์ต 3 เป็น 35 ไมโครวัตต์ และ ที่พอร์ต 4 เป็น 10 ไมโครวัตต์ จงหาค่าของอัตราการแบ่งสัญญาณ ระหว่าง พอร์ต 3 ต่อ พอร์ต 4

วิธีทำ

$$\text{อัตราการแบ่งสัญญาณ} = \frac{35\mu W}{10\mu W}$$

$$= \frac{3.5}{1}$$

อัตราการแบ่งสัญญาณ = 3.5 : 1 ตอบ

2) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss: R_L) เป็นค่าที่แสดงถึงค่าของสัญญาณแสงในส่วนที่สะท้อนกลับ เนื่องจากแสงบางส่วนเดินทางผ่านไป มีและบางส่วนสะท้อนกลับมา มีหน่วยที่เรียกเฉพาะคือ เดซิเบล ถ้าค่าการสูญเสียย้อนกลับ มากแสดงว่ามีการสะท้อนกลับน้อย โดยเฉพาะถ้าเป็นระบบการสื่อสารแอนะล็อกจะให้ความสำคัญกับค่านี้เพื่อความแม่ยำของสัญญาณ แสงที่สะท้อนกลับดังกล่าวส่งผลถึงการลดทอนของสัญญาณด้วย เนื่องจากเมื่อมันสะท้อนกลับไปหักล้างกับสัญญาณที่ส่งมา สัญญาณก็จะลดทอนลงไปสามารถหาค่าได้ ดังสมการที่ (7.4)

$$R_L(dB) = 10\log\frac{P_i}{P_r} \qquad (7.4)$$

เมื่อ R_L หมายถึง การสูญเสียย้อนกลับ หน่วยเป็น เดซิเบล

P_i หมายถึง กำลังงานของสัญญาณส่ง

P_r หมายถึง กำลังงานของสัญญาณสะท้อน

ตัวอย่าง 7.2 คัปเปลอร์ทางแสง ชนิด 2x2 มีสัญญาณอินพุตที่พอร์ต 1 เท่ากับ 3 มิลลิวัตต์ ปรากฏว่ามีแสงด้านเอาท์พุตที่พอร์ต 3 เป็น 2.5 มิลลิวัตต์ และ ที่พอร์ต 4 เป็น 1 มิลลิวัตต์ ในขณะเดียวกันมีแสงสะท้อนออกที่พอร์ต 2 ด้านอินพุตเป็น 0.1 ไมโครวัตต์ ให้หาค่าของการสูญเสียย้อนกลับ

วิธีทำ จากโจทย์ กำหนดให้กำลังงานของสัญญาณส่ง เป็น 3 มิลลิวัตต์ และกำลังงานของสัญญาณสะท้อนเป็น 0.1 ไมโครวัตต์ แทนค่าในสมการที่ (7.2)

$$R_L(dB) = 10\log\frac{3mW}{0.1\mu W}$$

$$R_L(dB) = 10\log 3\times 10^4 \quad \text{ตอบ}$$

3) การสูญเสียเพิ่มเติมหรือเอ็กเซสลอส (Excess loss) หมายถึงปริมาณของการสูญเสียที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการผลิตกับทางทฤษฎี เป็นการสูญเสียที่เพิ่มของอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นนอกเหนือจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นในทางทฤษฎี ซึ่งหมายความว่าไม่มีอุปกรณ์ใดที่ทำงานได้ตามอุดมคติ ค่าการสูญเสียเพิ่มเติมสามารถหาได้ดังสมการที่ (7.5)

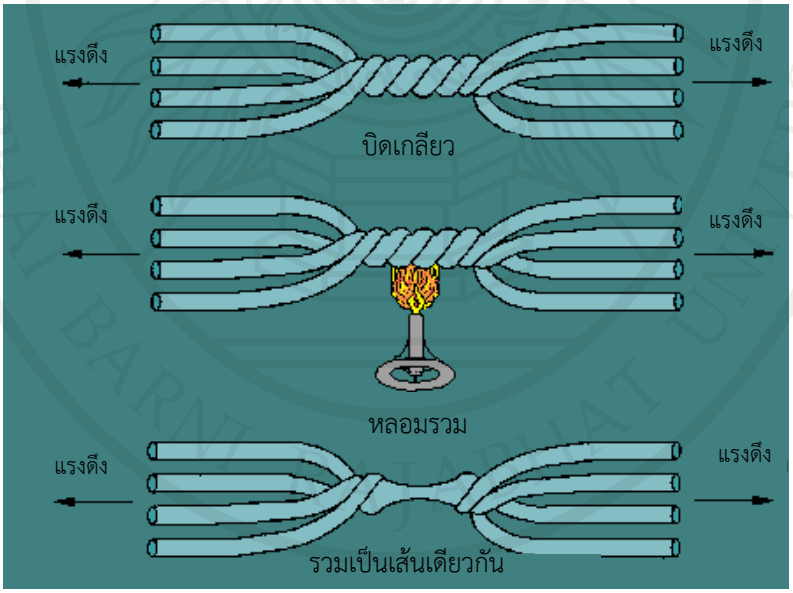
$$P_{ex} = -10 \log \frac{P_i}{P_{loss}} \quad (7.5)$$

4) การสูญเสียระหว่างจุดหรืออินเซิสลอส (Insertion loss) คือค่าการสูญเสียของสัญญาณที่ผ่านจุดต่อโดยคำนวณได้จากการวัดสัญญาณแสงก่อนผ่านรอยต่อและหลังจากผ่านรอยต่อนำมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งจะได้ค่าลดทอนมาเล็กน้อยโดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 0.1 เดซิเบล ถึง 0.5 เดซิเบล แต่ต้องไม่เกิน 0.75 เดซิเบล ตามมาตรฐาน

7.2.6 เทคนิคการสร้างคัปเปลอร์

อินทิเกรต พับลิสชิง (Integrated publishing, n.d.) ได้อธิบายถึงเทคนิคการสร้างคัปเปลอร์ทางแสง (Fabrication techniques) ซึ่งบางชนิดนั้นจะรวมถึงการแยกลำแสงโดยใช้เลนส์ขนาดเล็ก (Microlenses) หรือแท่งกริน (Graded-refractive-index: GRIN) และอุปกรณ์แยกลำแสง หรืออุปกรณ์รวมสัญญาณแสง เทคนิคการสร้างคัปเปลอร์ทางแสงแบบพาสซีพนั้นค่อนข้างซับซ้อนและเข้าใจยาก เทคนิคการสร้างคัปเปลอร์ทางแสงมักจะประกอบไปด้วยการบิด การหลอมรวมและการรีดของเส้นใยแก้วนำแสงตั้งแต่สองเส้นขึ้นไปมารวมกัน

จากภาพที่ 7.13 เป็นการสร้างคัปเปลอร์ทางแสงรูปดาว มีลักษณะเป็นการหลอมรวมกันของเส้นใยแก้วนำแสงที่ตรงกลางในลักษณะเป็นกรวย 2 ด้าน ที่หันด้านแหลมเข้าหากัน คัปเปลอร์ทางแสงรูปดาวนี้ ใช้หลักการเชื่อมต่อของการแพร่กระจายแสงจากเส้นใยแก้วนำแสงอินพุตไปยังเส้นใยแก้วนำแสงเอาต์พุตที่บริเวณจุดที่เส้นใยแก้วนำแสงถูกหลอมรวม เพื่อทำการแบ่งแยกกำลังงานของสัญญาณแสง



ภาพที่ 7.13 การสร้างคัปเปลอร์ทางแสงรูปดาว
ที่มา: Integrated publishing, n.d.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

7.3 การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง

ในการใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงบางครั้งความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นไม่เพียงพอ จำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อใยแก้วนำแสง สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์ (2557) ได้กล่าวถึงลักษณะการเชื่อมต่อไว้ว่า สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การเชื่อมต่อแบบถาวร และการเชื่อมต่อแบบไม่ถาวร

7.3.1 อุปกรณ์เชื่อมต่อแบบไม่ถาวร

เป็นการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละเส้นเข้าด้วยกัน ให้มีความยาวเพิ่มเติม โดยทำการเข้าหัวคอนเน็คเตอร์กับสายเดิมและสายเส้นใหม่ที่ต่อความยาวเพิ่มออกไป แล้วจึงใช้อุปกรณ์คัปปลิ้ง (ตัวเมีย 2 ด้าน) เชื่อมหัวคอนเน็คเตอร์ทั้ง 2 หัวเข้าไว้ด้วยกัน ลักษณะของหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงแสดงดังภาพที่ 7.14

ภาพที่ 7.14 ตัวอย่างหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง
ที่มา: Alibaba, n.d.

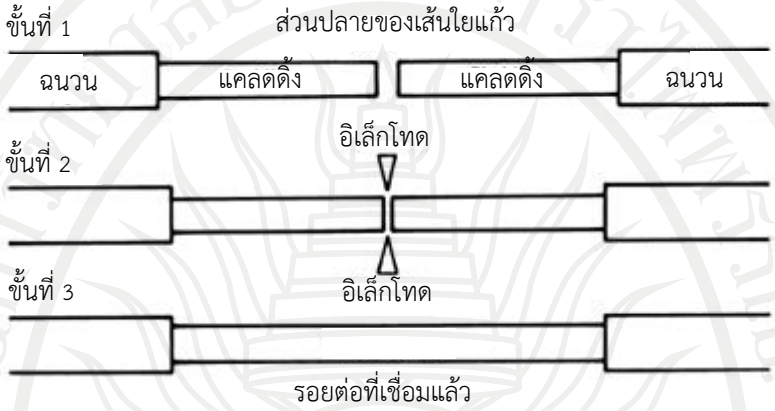
ในการติดตั้งโครงข่ายโทรคมนาคม การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงในลักษณะนี้อาจจะเก็บรวมอยู่ภายในอุปกรณ์พักสายสัญญาณ (Wall mount encloser) ดังภาพที่ 7.15 การเชื่อมต่อลักษณะนี้จะสะดวกรวดเร็ว และสามารถถอดเปลี่ยนแปลงได้ง่าย แต่ข้อเสียคือ การเชื่อมต่อในลักษณะนี้มีโอกาสเกิดการลดทอนของสัญญาณได้มากกว่า

ภาพที่ 7.15 ลักษณะของอุปกรณ์พักสายสัญญาณ
ที่มา: หาดใหญ่เซอร์วิสแอนด์ซัพพลาย, ม.ป.ป.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

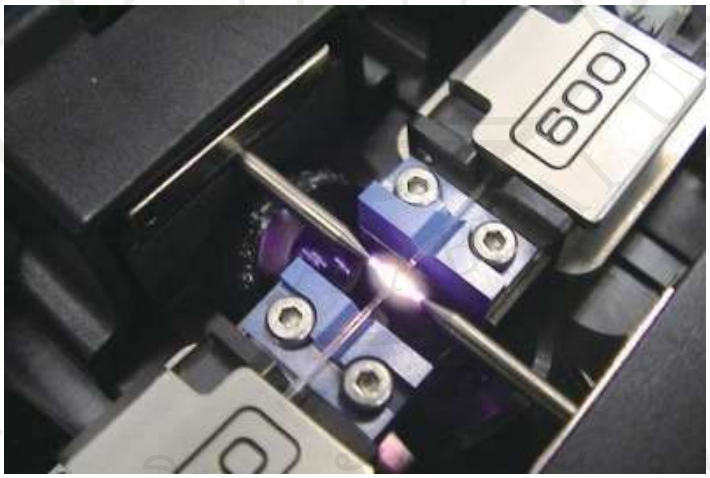
7.3.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อแบบถาวร

ปัจจุบันการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ภายนอกอาคาร จะใช้การเชื่อมต่อแบบถาวร โดยทำการนำสายใยแก้วเส้นเดิมและเส้นใหม่หลอมให้ติดเป็นแท่งแก้วเส้นเดียวกัน ซึ่งเรียกว่า “สไปลซ์” (Splice) เพื่อไม่ให้เกิดการหลวม เมื่อได้รับการกระทบกระแทกหรือแรงสั่นสะเทือน ในขณะที่ใช้งาน กระบวนการสไปลซ์เส้นใยแก้วนำแสงจะใช้ไฟฟ้า (Electrode) ในการเชื่อมที่ส่วนปลายของใยแก้วนำแสงให้หลอมรวมเข้าด้วยกัน แสดงดังภาพที่ 7.16



ภาพที่ 7.16 กระบวนการสไปลซ์
ที่มา: Syoptek, n.d.

เครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้กันมากในปัจจุบันสำหรับแก้วที่ใช้ภายในอาคาร จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องเชื่อมต่อใยแก้วนำแสง (Optical fiber fusion) แสดงดังภาพที่ 7.17 ข้อดีของการเชื่อมต่อแบบนี้ คือมีโอกาสที่จะได้รับผลกระทบจากผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมภายนอกมากระทบ แต่ข้อเสียคือเมื่อทำการเชื่อมต่อแล้วไม่สามารถที่จะถอดได้อีกนอกจากต้องตัดแล้วนำไปเชื่อมต่อใหม่เท่านั้น



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏราไพพรรณี

ภาพที่ 7.17 ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องเชื่อมต่อใยแก้วนำแสง
ที่มา: Fs.com, 2015

นอกจากนี้ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อแบบใดก็ตาม จะส่งผลให้เส้นใยแก้วนำแสงเกิดการลดทอนของสัญญาณอย่างน้อย 0.1-0.2 เดซิเบล แต่ละจุดเชื่อมต่อ

7.4 สรุป

การนำเส้นใยแก้วนำแสงไปใช้งานจริงในระบบการสื่อสารจะต้องนำเส้นใยแก้วนำแสงไปประกอบกับอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบการส่งสัญญาณแสง จะใช้อุปกรณ์ประเภทเลนส์เข้ามาช่วยในการรวมลำแสงให้สามารถส่งเข้าไปยังคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสงได้ เช่นเดียวกับที่ฝั่งรับก็จะใช้เลนส์ในการรวมแสงที่รับมาจากจากเส้นใยแก้วนำแสงด้วย โดยเลนส์ที่นำมาในระบบการสื่อสารใยแสงนี้ จะต้องมีคุณสมบัติหลักในด้านขนาดของจุดโฟกัสที่เล็กกว่าขนาดของคอร์

การเชื่อมต่อสัญญาณระบบการสื่อสารใยแสงบางครั้งอาจจะไม่ใช่เพียงการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด แต่ต้องใช้การเชื่อมต่อหนึ่งจุดไปยังหลายๆ จุด ดังนั้นจำเป็นต้องมีการจัดสรรสัญญาณแสงใหม่ เช่น การรวมหรือแยกสัญญาณ ด้วยอุปกรณ์เชื่อมต่อร่วมทางแสงหรือคัปเปลอร์ ซึ่งมีอยู่หลากหลายประเภทให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมของการนำไปใช้งานในระบบ โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ที่บ่งบอกคุณสมบัติของคัปเปลอร์ นอกจากนั้นในการวงระบบเส้นใยแก้วนำแสงหากต้องการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดิมกับเส้นใหม่เข้าด้วยกัน สามารถเลือกใช้การเชื่อมต่อได้ 2 แบบ คือ การเชื่อมต่อโดยใช้หัวต่อ ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อแบบไม่ถาวร และการเชื่อมต่อโดยการสไปลซ์ ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อแบบถาวร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แบบฝึกหัดบทที่ 7

1. จงอธิบายถึงความแตกต่างระหว่างคัปเปลอร์ทางแสงแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟ

2. ระหว่างวายคัปเปลอร์และทีคัปเปลอร์ อุปกรณ์ชนิดใดที่แบ่งกำลังงานไปยังเส้นใยแก้วนำแสงเอาท์พุตหนึ่งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3. จงอธิบายลักษณะของคัปเปอร์แบบมีทิศทาง

4. คัปเปลอร์ทางแสงชนิด 2x2 มีสัญญาณขาเข้าที่พอร์ต 1 มีกำลังงานเท่ากับ 1 มิลลิวัตต์ ปรากฏว่ามีแสงด้านขาออกที่พอร์ต 3 เป็น 0.45 มิลลิวัตต์ และที่พอร์ต 4 เป็น 0.45 มิลลิวัตต์ ให้หาค่าของเอ็กเซสลอส

5. จงอธิบายวิธีการสร้างคัปเปลอร์รูปดาว

6. ในการส่งสัญญาณแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงจะใช้อุปกรณ์ชนิดใด

7. การติดตั้งระบบการสื่อสารใยแสงหากมีจุดที่ต้องเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงจำนวนมากจะส่งผลอย่างไรต่อระบบ

9. สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้เลนส์สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วนำแสงคืออะไร

10. เพราะเหตุใดจึงต้องใช้เลนส์จำนวน 2 ตัว เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณแสงเข้า/ออกจากเส้นใยแก้วนำแสง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารอ้างอิง

ลอยย์ เทคโนโลยี. (2011). **Insertion loss & return loss.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.loyytechnology.com. สิงหาคม 2557.

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์. (2557). **การสื่อสารทางแสง.** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://cw.rmuti.ac.th. สิงหาคม 2557.

หาดใหญ่เซอร์วิสแอนด์ซัพพลาย. (ม.ป.ป.). **การเชื่อมต่อสาย Fiber optic**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.hatyaishop.net/13696628/splicerfotest-otdr. สิงหาคม 2557.

Alibaba. (nd.). **Good quality fiber optic fc pc connector**. (Online). Available: http://www.alibaba.com/product-detail/Good-quality-fiber-optic-fc-pc_1590273331.html. August 2014.

Fs.com. (2014). **The era of fusion splicing is coming**. (Online). Available: http://www.fs.com/blog/the-era-of-fusion-splicing-is-coming.html. August 2014.

Integrated publishing. (n.d.). **Fiber optic couplers.** (Online). Available: http://www.tpub.com. August 2014.

Newport corporation. (n.d.). **Focusing and collimating.** Technical Note. (Online). Available: https://www.newport.com/focusing-and-collimating. August 2014

Syoptek. (n.d.). **How to make a perfect fusion splice?.** (Online). Available: http://www.syoptek.com/blog/?cat=5. August 2014.

Thorlab. (n.d.a). **1x2 Graded-index multimode fiber optic couplers**. (Online). Available: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=1718. August 2014.

_____. (n.d.b). **2x2 Step-index multimode fiber optic couplers, 0.39 NA**. (Online). Available: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_ID=7773. August 2014.

Thyagarajan, K. and Ghatak, A. (2010). **Fiber optic couplers**. (Online). Available: http://www.globalspec.com/reference/13962/160210/chapter-12-4-1-fiber-optic-components-fiber-optic-couplers. August 2014.

US laser corp. (2011). **Fiber optic beam delivery systems.** (Online). Available: http://www.uslasercorp.com. August 2014.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 8

เนื้อหาประจำบท

บทที่ 8 มาตรฐานเคเบิลใยแก้วนำแสง

8.1 มาตรฐานชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามคุณสมบัติของแสง
8.2 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามลักษณะการใช้งาน
8.3 คุณสมบัติทางกลของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง
8.4 การตรวจสอบเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้ง
8.5 การทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้ง
8.6 สรุป

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อศึกษาบทที่ 8 แล้วนักศึกษาสามารถ
1. อธิบายถึงมาตรฐานด้านคุณสมบัติทางแสงของเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละประเภทได้
2. อธิบายถึงมาตรฐานด้านคุณสมบัติทางกลของเส้นใยแก้วนำแสงได้
3. อธิบายถึงวิธีการตรวจสอบเส้นใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้งได้
4. สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ในการทดสอบเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้งได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

กิจกรรมการเรียนการสอนประจำบท

1. บรรยายพร้อมยกตัวอย่างประกอบ
2. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถามข้อสงสัย
3. ซักถามความเข้าใจของผู้เรียนแบบปากเปล่าและแบบฝึกหัดท้ายบท
4. ศึกษาจากเอกสารประกอบการสอน

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อนำเสนอด้วยพาวเวอร์พ้อย
2. สื่อวีดิโอ ประกอบ
3. เอกสารประกอบการสอนที่จัดพิมพ์โดยผู้สอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนในชั้นเรียน
2. สังเกตจากการตอบคำถามแบบปากเปล่า
3. สังเกตจากการทำแบบฝึกหัดท้ายบท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทที่ 8
มาตรฐานเคเบิลใยแก้วนำแสง

การวางระบบการสื่อสารโทรคมนาคมนั้น ระบบสายเคเบิลเพื่อการสื่อสารเป็นหัวใจหลักของการสื่อสารเพราะเป็นสื่อกลางในการเดินทางของข้อมูลที่รองรับการส่งข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งคุณภาพของการส่งข้อมูลนั้นไม่ว่าจะเป็นเรื่องของอัตราความผิดพลาดของข้อมูล เวลาประวิง (Delay time) หรือการสูญเสีย ล้วนแล้วแต่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของการติดตั้งระบบเคเบิลทั้งสิ้น ทั้งนี้สภาวิศวกรซึ่งเป็นหน่วยงานกำกับดูแลมาตรฐานวิชาชีพวิศวกรรม จึงได้กำหนดมาตรฐานการติดตั้งและตรวจสอบระบบสายเคเบิลเพื่อการสื่อสารให้ได้คุณภาพ ถูกต้องและเหมาะสมต่อการใช้งานจริงในประเทศไทย โดยกำหนดขึ้นจากการอ้างอิงจากมาตรฐานสากลทีไอเอ/อีไอเอ-568 (TIA/EIA-568) ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเคเบิลใยแก้วนำแสงเท่านั้น โดยสภาวิศวกรได้การกำหนดคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงด้านต่างๆ ไว้ดังนี้

8.1 มาตรฐานชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามคุณสมบัติของแสง

องค์กรที่เกี่ยวข้องกับการกำกับ ควบคุม ดูแลกิจการทางด้านโทรคมนาคม ทั้งระดับโลกและระดับชาติมีอยู่หลายองค์กร สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศเป็นองค์กรระดับโลกที่ควบคุมกิจการทางด้านนี้ รวมถึงออกมาตรฐานอุปกรณ์ที่ใช้ในงานโรคมนาคมหลายประเภท เส้นใยแก้วนำแสงก็ได้มีการกำหนดมาตรแบ่งตามคุณสมบัติทางแสงไว้เช่นกัน โดยในระดับประเทศมีสภาวิศวกรเป็นองค์กรที่กำกับการทำงานของวิศวกรด้านโทรคมคมนาคม

สพธอ. (2557) ได้ให้ความหมายของ สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือไอทียู (International telecommunication union :ITU) ไว้ว่าเป็นองค์กรที่มีหน้าที่ส่งเสริมความร่วมมือระหว่างประเทศในด้านการติดต่อสื่อสารโทรคมนาคม ให้ความช่วยเหลือทางวิชาการแก่ประเทศที่กำลังพัฒนาในด้านโทรคมนาคม และสนับสนุนการพัฒนาในด้านดังกล่าวเพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ประชาชาติทั้งปวง

สภาวิศวกร (2553, หน้า 44) ได้สรุปมาตรฐานของเส้นใยแก้วนำแสงตามที่ไอทียูได้กำหนดไว้ว่าชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงอ้างอิงตามมาตรฐานไอทียู สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดค่าพารามิเตอร์ต่างและรายละเอียดอื่นๆ ของเส้นใยแก้วนำแสง สามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จากคู่มือของสภาวิศวกร

8.1.1 ชนิด ไอทียู-ที จี.651.1

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดแบบแกรดอินเด็กซ์ ถูกกำหนดมาตรฐานขึ้นเมื่อ 29 กรกฎาคม 2550 มีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์/แคลดดิ้ง เป็น 50/125 ไมครอน ใช้สำหรับงานในการเชื่อมต่อโครงข่ายภายในอาคารที่ย่านความถี่ 850 นาโนเมตร หรือ 1300 นาโนเมตร มีอัตราการรับส่งข้อมูล 10 เมกกะบิตต่อวินาที – 10 กิกะบิตต่อวินาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

8.1.2 ชนิดไอทียู-ที จี.652

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้เป็นเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวถูกปรับแก้ไขมาตรฐานขึ้นเมื่อเดือนมีนาคม 2546 มาตรฐานนี้อธิบายถึงเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยวที่มีการขยายกว้างออกเป็นศูนย์ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 1310 นาโนเมตร ซึ่งใช้งานได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร แต่ก็สามารถใช้ได้กับความยาวคลื่นที่ 1550 นาโนเมตร โดยมาตรฐานไอทียู-ที จี.652 นี้ได้ถูกแบ่งออกเป็นหลายชนิดดังนี้

1) เส้นใยแก้วนำแสง จี.652.เอ เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานตามมาตรฐานไอทียู-ที จี.957 ซึ่งกล่าวถึงการเชื่อมต่อทางแสงสำหรับอุปกรณ์และระบบที่ใช้งานในเอสดีเอช (Synchronous digital hierarchy: SDH) และจี.691 ที่กล่าวถึงการเชื่อมต่อทางแสงสำหรับ 1 ช่องสัญญาณเอสทีเอ็ม-64 และระบบเอสดีเอชอื่นๆ ที่ใช้วงจรขยายสัญญาณแสง รวมทั้งใช้งานระดับเอสทีเอ็ม-256 ตามที่ระบุไว้ใน ไอทียู-ที จี.693 ที่กล่าวถึงการเชื่อมต่อทางแสงสำหรับระบบโครงข่ายภายในองค์กร

2) เส้นใยแก้วนำแสง จี.652-บี มีคุณสมบัติเหมาะสำหรับใช้สำหรับการสื่อสารที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลที่เร็วขึ้น โดยรองรับได้ถึงระดับเอสทีเอ็ม-64 เช่น ไอทียู-ที Recs จี.691 และจี.692 หรืออาจจะรองรับได้ถึงระดับเอสทีเอ็ม-256 สำหรับการใช้งานบางประเภทตามที่ระบุไว้ในไอทียู-ที Recs G.693 และจี. 959.1 แต่ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากค่าการขยายกว้างออกเนื่องจากวัสดุที่ใช้สร้างด้วย

3) จี.652-ซี คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ คล้ายกันกับคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง จี.652. เอ แต่สามารถส่งสัญญาณแสงได้เพิ่มขึ้นได้ในย่านความยาวคลื่น 1360 นาโนเมตร ถึง 1530 นาโนเมตร

4) G.652-ดี คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ คล้ายกันกับคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง จี.652.บี แต่สามารถส่งสัญญาณแสงได้เพิ่มขึ้นได้ในย่านความยาวคลื่น 1360 นาโนเมตร ถึง 1530 นาโนเมตร

8.1.3 ชนิด ไอทียู-ที จี.655

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้เป็นมาตรฐานเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว ที่ถูกพัฒนาขึ้นที่เรียกว่าเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยวแบบนอนซีโร่ดิสเพอชันชิฟท์ โดยเส้นใยแก้วนำแสงตามมาตรฐานนี้จะถูกออกแบบให้ใช้งานย่านความยาวคลื่น 1530 - 1550 นาโนเมตร แต่ในอนาคตอาจจะขยายการใช้งานเพื่อรองรับการรับส่งข้อมูลที่ย่านความยาวคลื่น 16xx นาโนเมตร (โดยค่า xx มีค่าประมาณไม่เกิน 25 นาโนเมตร หรือ 1625 นาโนเมตร) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยวตามมาตรฐานนี้มีดังนี้

1) จี.655 – จี.655.ซี ซึ่งยังคงคุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์การขยายกว้างออกเอาไว้และยอมให้มีค่าการขยายกว้างออกเป็นลบได้ ซึ่งเหมาะที่ใช้ในการลดผลกระทบจากค่าการขยายกว้างออกในระบบเคเบิลใต้น้ำ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกันได้กับมาตรฐาน ไอทียู-ที Rec. จี.691, จี.959.1 และ จี.693 สำหรับระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม โดยที่ความระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณที่ระบุไว้ในไอทียู-ที Rec. จี.694.1 นั้น ขึ้นอยู่กับค่าการขยายกว้างออกน้อยสุดที่เลือกใช้งาน

2) จี.655 – จี.655.ดี คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะระบุถึงข้อกำหนดของค่าสัมประสิทธิ์การขยายกว้างออกจากวัสดุที่ใช้สร้าง สำหรับความยาวคลื่นเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้สามารถใช้เพื่อรองรับระบบซีดับเบิลยูดีเอ็มที่ความยาวคลื่น 1471 นาโนเมตร เป็นต้นไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

3) G.655 – G.655.อี เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะคล้ายกันกับเส้นใยแก้วนำแสง จี.655.ดี แต่ว่ามีค่าการขยายกว้างออกที่มากกว่าซึ่งอาจมีประโยชน์สำหรับระบบสื่อสารบางประเภทเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ มีค่าการขยายกว้างออกเป็นบวกและไม่เท่ากับศูนย์ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 1460 นาโนเมตร เป็นต้นไป

จากข้อมูลดังกล่าว สรุปได้ว่าเส้นใยแก้วนำแสงตามมาตรฐานไอทียูได้นั้น เป็นการแบ่งออกตามคุณลักษณะทางแสงของเส้นใยแก้วนำแสง โดยในการนำไปใช้งานนั้นวิศวกรจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการของงานนั้นๆ ทั้งในด้านความถี่ใช้งานและคุณสมบัติการขยายกว้างออก

8.2 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามลักษณะการใช้งาน

เส้นใยแก้วนำแสงแต่ละเส้นมีขนาดที่เล็กมาก ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงสามารถรวมเส้นใยแก้วนำแสงหลายๆ เส้นเข้าไว้ด้วยกัน เรียกว่าเคเบิลใยแก้วนำแสงซึ่งหมายถึงการนำเส้นใยแก้วนำแสงหลายๆ เส้นมารวมอยู่ในเคเบิลเส้นเดียว โดยมีการออกแบบเพิ่มวัสดุอื่นๆ ประกอบเพื่อสร้างความแข็งแรงให้กับเคเบิลใยแก้วนำแสง และให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ดังนั้นจึงทำให้สายสัญญาณ 1 เส้น สามารถส่งข้อมูลได้จำนวนมาก ดังภาพที่ 8.1

ภาพที่ 8.1 ลักษณะโดยทั่วไปของเคเบิลใยแก้วนำแสง
ที่มา: Swedberg, C., 2013

8.2.1 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงภายนอกอาคารชนิดติดตั้งในช่องเดินสายและฝังดินโดยตรง

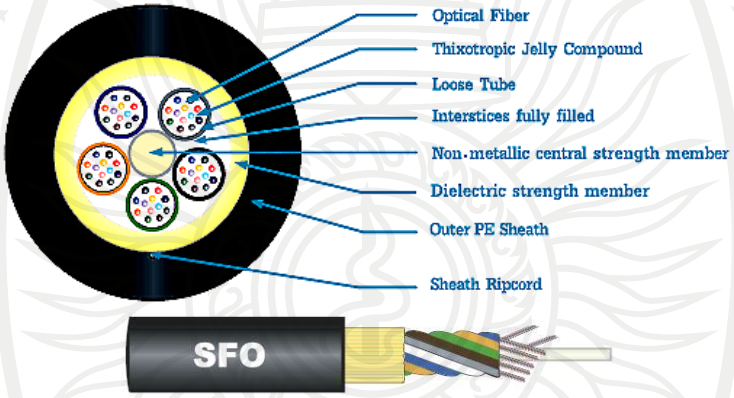
สภาวิศวกร (2553, หน้า 54) ได้อธิบายถึงคุณลักษณะของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ใช้ในงานสื่อสารโทรคมนาคม ได้แก่

1) เคเบิลสำหรับติดตั้งในช่องเดินสายหรือฝังดินโดยตรง สำหรับเส้นทางหลักของสายสัญญาณโครงข่าย (Backbone) และโครงข่ายระดับเมือง

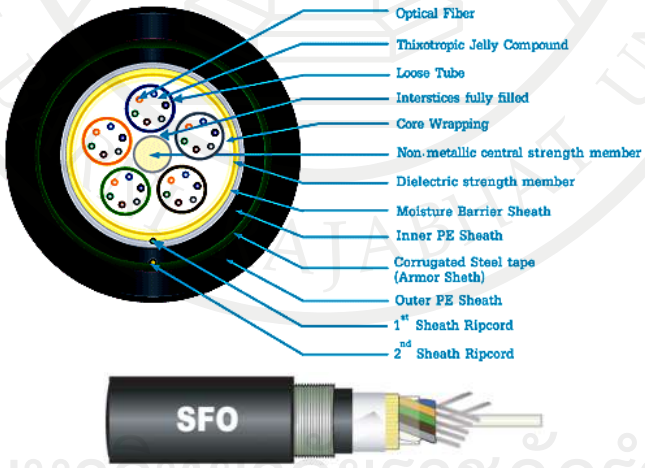
2) เคเบิลใต้ดิน จะติดตั้งในช่องเดินสายเพื่อเชื่อมสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างชุมสายโทรศัพท์ถึงชุมสายปลายทางหรือลูกค้ามีขนาดตั้งแต่ 12 คอร์ ถึง 312 คอร์

3) เคเบิลใต้ดินจะติดตั้งใต้ดินโดยตรงและไม่มีท่อร้อยสายเพื่อเชื่อมสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างชุมสายโทรศัพท์ถึงชุมสายปลายทางหรือลูกค้า มีขนาดตั้งแต่ 12 คอร์ ถึง 312 คอร์

ในภาพที่ 8.2 แสดงลักษณะของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงภายนอกอาคารชนิดติดตั้งในช่องเดินสายและฝั่งดินโดยตรงแบบมีแกนกลางเป็นอโลหะเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของสายเคเบิล ภายในมีเส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐานไอทียู-ที จี.652 จำนวน 2-216 คอร์ และบรรจุวัสดุกันน้ำเป็นสารเติมเต็มในแกนเคเบิล ตีเกลียวชั้นเดียวเปลือกนอกพอลิเอทิลีน ความยาวคลื่นที่ใช้งานได้ คือ 1310 1383 1550 และ 1625 นาโนเมตร และภาพที่ 8.3 แสดงลักษณะของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงภายนอกอาคารชนิดติดตั้งในช่องเดินสายและฝังดินโดยตรงแบบมีแกนกลางเป็นอโลหะเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเคเบิล ภายในมีเส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐาน ไอทียู-ที จี.652 จำนวน 2-216 คอร์และบรรจุวัสดุกันน้ำเป็นสารเติมเต็มในแกนเคเบิล ตีเกลียวสองชั้นเปลือกในพอลิเอทิลีน เกราะโลหะเปลือกนอกพอลิเอทิลีน ความยาวคลื่นที่ใช้งานได้ คือ 1310, 1383, 1550 และ 1625 นาโนเมตร นอกจากนี้ ยังมีการพันเทปโลหะรอบสายเคเบิลเพื่อป้องกันการกัดแทะจากสัตว์



ภาพที่ 8.2 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงภายนอกอาคารติดตั้งในช่องเดินสาย และฝังดินโดยตรง ดียู-001
ที่มา: สภาวิศวกร, 2553 : 54



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 8.3 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงภายนอกชนิดติดตั้งในช่องเดินสายและฝังดินโดยตรงดีบี-002
ที่มา: สภาวิศวกร, 2553 : 54

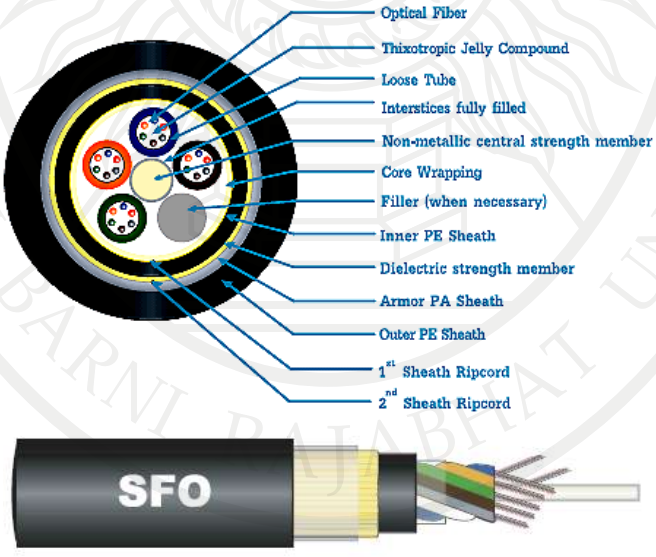
8.2.2 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงภายนอกอาคารชนิดแขวนในอากาศรับน้ำหนักตัวเองได้

สภาวิศวกร (2553, หน้า 55) ได้อธิบายถึงคุณลักษณะของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดแขวนในอากาศรับน้ำหนักตัวเองได้ในที่นี้ หมายถึงสายเคเบิลที่มีโครงสร้างประกอบไปด้วยส่วนรับแรงดึงที่แข็งแรงเพียงพอที่จะแขวนบนเสาไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อื่นได้โดยไม่ต้องใช้ลวดเหล็กหรือลวดตัวนำอื่นเสริม

1) สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงที่ติดตั้งแขวนไปกับเสาไฟฟ้าเพื่อเชื่อมสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างชุมสายโทรศัพท์ ถึงชุมสายปลายทางหรือลูกค้า มีขนาดตั้งแต่ 12 คอร์ ถึง 312 คอร์

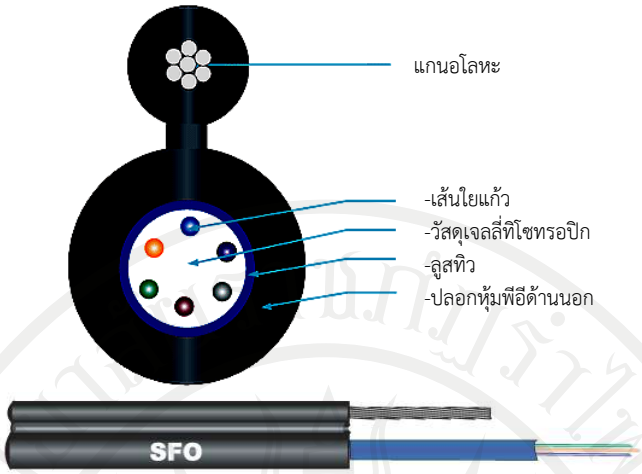
2) สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง ที่ติดตั้งแขวนไปกับเสาไฟฟ้า เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างชุมสายโทรศัพท์ ถึงชุมสายปลายทางหรือลูกค้า มีขนาดตั้งแต่ 12 คอร์ ถึง 312 คอร์ โดยมีโครงสร้างพิเศษเปลือกชั้นในเป็นเหล็กหุ้มแกนเคเบิลเพื่อลดความเสียหายอันเนื่องมาจากไฟไหม้ไฟป่าหรือสัตว์กัดแทะเปลือกเคเบิล

ในภาพที่ 8.4 แสดงลักษณะของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดแขวนในอากาศรับน้ำหนักตัวเองได้ ใช้แขวนบนสายส่งไฟฟ้ากำลังขนาด 115 กิโลโวลต์หรือต่ำกว่า ภายในมีแกนกลางเป็นอโลหะเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเคเบิล ภายในมีเส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐาน ไอทียู-ที จี.652 จำนวน 2-48 คอร์และบรรจุวัสดุกันน้ำเป็นสารเติมเต็มในแกนเคเบิล ตีเกลียวชั้นเดียว เปลือกในพอลิเอทิลีนเกราะป้องกันอโลหะ เปลือกนอกพอลิเอทิลีน ความยาวคลื่นที่ใช้งานได้ คือ 1310 1383 1550 และ 1625 นาโนเมตร และภาพที่ 8.5 แสดงลักษณะของสายเคเบิลเส้นใยแก้วแสงชนิดแขวนในอากาศรับน้ำหนักตัวเองได้ ใช้เป็นสายแอคแซสเคเบิล สำหรับการใช้งานเอฟทีทีเอ็กซ์ ภายในมีเส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐานไอทียู-ที จี.652 จำนวน 2-12 คอร์และบรรจุสารบัฟเฟอร์ ป้องกันการกระแทกจนเต็ม เปลือกนอกที่เป็นพอลิเอทิลีน



ภาพที่ 8.4 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดแขวนในอากาศรับน้ำหนักตัวเองได้ รุ่นเอดีเอสเอส-001
ที่มา: สภาวิศวกร, 2553 : 55

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 8.5 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงภายนอกอาคารชนิดแขวนในอากาศรับน้ำหนักตัวเองได้ รุ่นเอซี-002
ที่มา: สภาวิศวกร, 2553 : 56

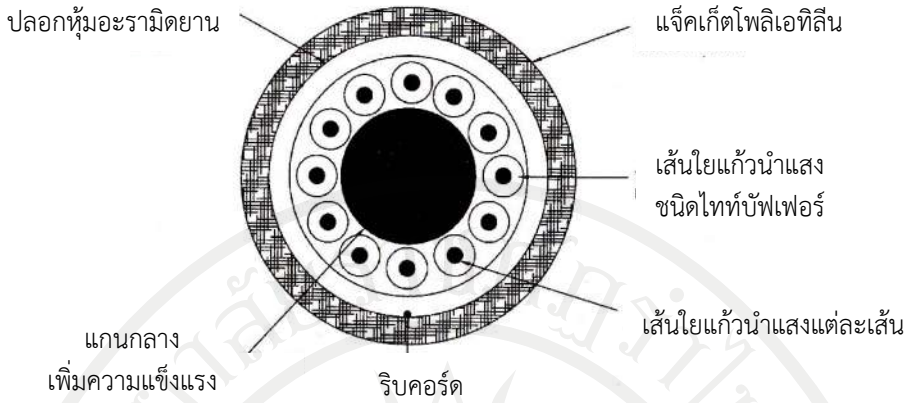
3) สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงภายในอาคาร

สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ถูกนำไปใช้งานภายในอาคารที่ต้องมีการควบคุมบริเวณโดยรอบ เพื่อป้องกันสายเคเบิลไม่ให้ถูกแรงกด แรงดึง การโค้งงอหรืออื่นๆ ในระหว่างการติดตั้งหรือหลังการติดตั้งสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงไปแล้ว นอกจากนี้สายเคเบิลชนิดนี้จะต้องสามารถโค้งงอได้มากกว่าปกติเพื่อที่ว่าจะการติดตั้งสามารถกระทำได้ง่าย โดยสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้แบ่งเป็นประเภทย่อยๆ ได้ดังนี้

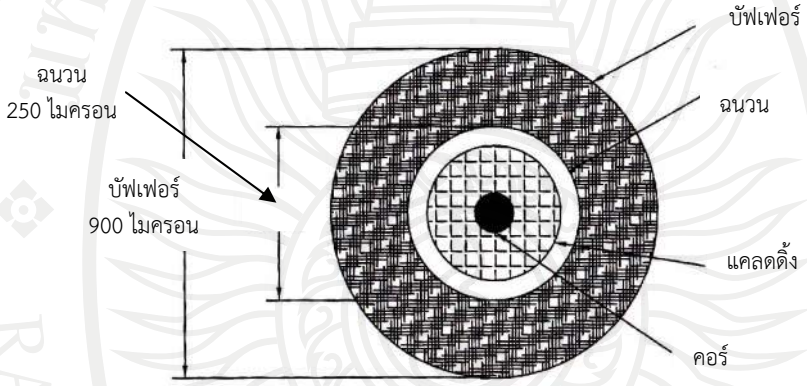
3.1) สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไทท์บัฟเฟอร์

สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไทท์บัฟเฟอร์ (Tight-buffered) มีลักษณะดังภาพที่ 8.6 ลักษณะภายในประกอบไปด้วยเส้นใยแก้วนำแสงหลายคอร์ ซึ่งถูกหุ้มอย่างหนาแน่น บรรจุอยู่ภายในรอบๆ แกนกลางของสายเคเบิล ภายนอกจะถูกหุ้มด้วยเปลือกนอกอีกชั้นหนึ่ง และภาพที่ 8.7 แสดงวัสดุที่ใช้หุ้มเส้นใยแก้วนำแสง เป็นพลาสติกมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 900 ไมครอน ทำหน้าที่ห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลือบผิวเรียบร้อย มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 250 ไมโครเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 8.6 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดไทท์บัฟเฟอร์
ที่มา: สภาวิศวกร, 2553 : 56



ภาพที่ 8.7 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดไทท์บัฟเฟอร์
ที่มา: สภาวิศวกร, 2553 : 57

วัตถุประสงค์ของการหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละเส้น เพื่อเป็นการป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงจากแรงกระทำจากภายนอก ทำให้สามารถรองรับแรงดึงและการโค้งงอได้มากกว่า จึงสามารถใช้ในการติดตั้งเข้ากับคอนเน็คเตอร์โดยตรงบริเวณภายนอกของเปลือกหุ้มของสายเคเบิลเป็นระยะทางสั้นๆ ได้โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ถาดสำหรับเชื่อมต่อสาย (Splice tray) ซึ่งวิธีนี้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งได้ แต่อย่างไรก็ตามสายเคเบิลชนิดไทท์บัฟเฟอร์นี้มีความยืดหยุ่นและสามารถรองรับรัศมีการโค้งงอที่เล็กกว่าสายเคเบิลชนิดลูสทิวป์ได้ (Loose tube) จึงสามารถใช้ติดตั้งในแนวตั้งไปตามแนวอาคารได้เป็นอย่างดี ทำให้สายชนิดนี้มีราคาแพงกว่าสายเคเบิลชนิดลูสทิวป์

3.2) สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดแฟนเอาท์

สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้คือสายชนิดไทท์บัฟเฟอร์ ที่ต่อด้านปลายเข้ากับคอนเน็คเตอร์ โดยเส้นใยแก้วนำแสงที่อยู่ในสายเคเบิลอาจจะเป็นชนิดเปลือกหุ้มหนา 900 ไมครอน หรือ 3 มิลลิเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของการติดตั้งซึ่งสายเคเบิลชนิด 900 ไมครอน จะถูกใช้ในการติดตั้งสายเคเบิลเข้ากับแผงกระจายสัญญาณ (Patch panel) และเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละเส้นจะยังถูกป้องกันอยู่ภายในที่ห่อหุ้มแผงกระจายสัญญาณส่วนสายชนิด 3 มิลลิเมตรนั้นมีประสิทธิภาพ

ในการป้องกันสายจากแรงภายนอกได้ดีกว่าจึงถูกใช้งานเมื่อมีการสไปลซ์สายเคเบิลเข้ากับอุปกรณ์ทางแสงโดยตรง และเนื่องจากมีเปลือกหุ้มของเส้นใยแก้วนำแสงที่หนากว่า สายเคเบิลชนิดเปลือกหุ้ม 3 มิลลิเมตรนี้ จึงมีจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงภายในที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับสายเคเบิลชนิดอื่นที่มีส้นผ่านศูนย์กลางเท่าๆ กัน สายเคเบิลชนิดนี้มักจะมาพร้อมกับคอนเน็คเตอร์ที่ติดตั้งมาเรียบร้อยแล้วจากผู้ผลิตทำให้มีค่าสูญเสียกำลังจากคอนเน็คเตอร์ที่น้อย ในขณะที่สายแฟนเอาท์ชนิด 900 ไมครอนเหมาะที่จะใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างส่วนห่อหุ้มการสไปลซ์และแผงกระจายสัญญาณใยแก้วนำแสง

3.3) แพตช์คอร์ดหรือจั๊มเปอร์

แพตช์คอร์ดหรือจั๊มเปอร์ (Patch cord หรือ jumper) คือเส้นใยแก้วนำแสงเส้นสั้นๆ โดยแต่ละเส้นจะหุ้มด้วยเปลือกหุ้มหนา 3 มิลลิเมตรและมีคอนเน็กเตอร์ที่ปลายทั้งสองด้าน สายแพตช์คอร์ดที่เปลือกหุ้มเป็นสีเหลืองหมายถึงเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียว และเปลือกหุ้มเป็นสีส้มหมายถึงเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด สายแพตช์คอร์ดนี้ใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ทางแสงเข้ากับ แผงกระจายสัญญาณใยแก้วนำแสงหรือเชื่อมต่อแผงกระจายสัญญาณเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ยังสามารถตัดแบ่งครึ่งเพื่อใช้เป็นพิกเทล (Pigtail) ก็ได้ สายแพตช์คอร์ดสามารถโค้งงอได้ดีเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานดังที่กล่าวมา โดยรัศมีการโค้งงอในการติดตั้งในสภาวะที่ไม่มีแรงดึงและในสภาวะที่มีแรงดึงควรจะใหญ่กว่า 3 เซนติเมตร และ 5 เซนติเมตรตาม ลำดับ

8.3 คุณสมบัติทางกลของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงจะประกอบไปด้วยเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมดชนิด 50/125 ไมครอนหรือ 62.5/125 ไมครอนหรือเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียวหรือมีทั้งสองชนิดรวมกัน โดยคุณสมบัติทางกลของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

8.3.1 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงภายในอาคาร

คุณสมบัติทางกลของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานเอเอ็นเอสไอ/ไอซีไออี เอส-83-596 ดังนี้

1) สายเคเบิลที่ประกอบไปด้วยเส้นใยแก้วนำแสง 2-4 เส้นที่ใช้เป็นสายเคเบิลสัญญาณแนวราบ (Horizontal UTP cable) หรือสายเคเบิลรวม (Centralize cable) จะต้องสามารถรองรับการโค้งงอที่มีรัศมีไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร ในสภาวะที่ไม่มีแรงดึงได้

2) สายเคเบิลที่ประกอบไปด้วยเส้นใยแก้วนำแสง 2-4 เส้นที่ถูกดึงลอดผ่านทางสำหรับเดินสายเคเบิลแนวราบ (Horizontal Pathway) ระหว่างการติดตั้งจะต้องสามารถรองรับการโค้งงอที่มีรัศมีไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร ภายใต้แรงดึง 222 นิวตันได้

3) ในกรณีอื่นๆ นอกจากนี้ สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงจะต้องสามารถรองรับการโค้งงอได้ไม่น้อยกว่า 10 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลภายนอกอาคารเมื่อไม่อยู่ภายใต้แรงแรงดึง (Tensile Load) และรองรับการโค้งงอได้ไม่น้อยกว่า 15 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลภายนอกอาคารเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึงจนถึงค่าขีดจำกัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

8.3.2 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงภายนอกอาคาร

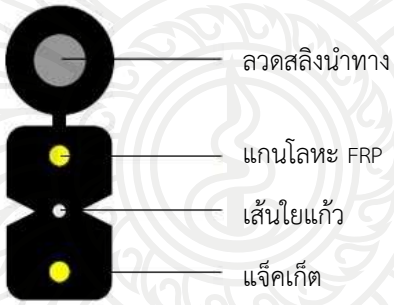
คุณสมบัติทางกลของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ จะต้องเป็นไปตามเอเอ็นเอสไอ/ไอซีไออี เอส-87-640 ดังนี้

1) ต้องเป็นเคเบิลที่สามารถกันน้ำและป้องกันการรั่วซึมได้ ตามมาตรฐานเอเอ็นเอสไอ/ไอซีไออีเอ เอส-87-640 และสามารถทนต่อแรงดึงได้ 2670 นิวตัน

2) สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงจะต้องสามารถรองรับการโค้งงอได้ไม่น้อยกว่า 10 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลภายนอกอาคาร เมื่อไม่อยู่ภายใต้แรงดึงและรองรับการโค้งงอได้ไม่น้อยกว่า 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลภายนอกอาคารเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึงจนถึงค่าขีดจำกัด

8.3.3 สายดรอปเคเบิล

สายดรอบเคเบิล (Drop cable) โดยปกติแล้วจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็ก น้ำหนักเบา มีรูปร่างเป็นแบบคล้ายเลข 8 (Figure 8) มีจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงน้อย ติดตั้งง่าย และต้องสามารถทนต่อแรงดึงได้ 1335 นิวตัน มีลักษณะดังภาพที่ 8.8



ภาพที่ 8.8 เคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดดรอบเคเบิลคล้ายเลข 8
ที่มา: Ningbo, T & Trading, J., 2014

จะเห็นว่าสายชนิดนี้มีส่วนของลวดสลิงนำทาง (Messenger wire) เป็นตัวช่วยคอยรับน้ำหนักและมีแกนโลหะ (FRP strength member) สำหรับเพิ่มความแข็งแรง

8.4 การตรวจสอบเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้ง

สภาวิศวกร (2553, หน้า 90) ได้กำหนดมาตรฐานการตรวจสอบและทดสอบหลังจากติดตั้งไว้ ประกอบด้วย วิธีการตรวจสอบเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสง นิยาม คุณสมบัติที่ต้องการ และวิธีการทดสอบโดยละเอียดเพื่อให้แน่ใจว่าภายหลังการติดตั้งแล้ว สามารถใช้งานเคเบิลใยแก้วนำแสงได้เต็มประสิทธิภาพ

ผู้ตรวจสอบ/ทดสอบงานติดตั้ง ต้องจัดทำรายละเอียดการตรวจสอบ การทดสอบ และบันทึกผลการทดสอบ (Construction test) ในระหว่างที่ดำเนินการก่อสร้าง ติดตั้ง และรื้อถอน ร่วมกับผู้ควบคุมงาน โดยเครื่องมือทดสอบทุกประเภทต้องผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรง และปรับเทียบ

ก่อนที่จะนำเครื่องมือไปตรวจวัด สำหรับการตรวจสอบขั้นต้นเป็นการตรวจสอบทางกายภาพ (Physical inspection) ประกอบด้วยหลักเกณฑ์ดังนี้

1) ตรวจสอบรายละเอียดการวางสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงภายในชุมสาย เช่น การวางสายเคเบิลในชุมสาย การติดตั้งสายเคเบิล การเดินสายเคเบิลภายใน และการตรวจสอบป้ายชื่อ (Name plate) เป็นต้น

2) ตรวจสอบรายละเอียดการวางสายเคเบิลใยแสง แบบติดตั้งในช่องเดินสาย เช่น การติดตั้งเคเบิลในบ่อพัก การตรวจสอบป้ายชื่อ และการตรวจหัวต่อและเครื่องห่อหุ้ม และ การทำลูปเคเบิล เป็นต้น

3) ตรวจสอบรายละเอียดการวางสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงแบบแขวนในอากาศ เช่น การติดตั้งแขวนเคเบิลบนเสา การตรวจหัวต่อและเครื่องห่อหุ้มลูปเคเบิล และการต่อลงดิน เป็นต้น

4) ตรวจสอบความครบถ้วนและความเรียบร้อยของการติดตั้ง

5) ตรวจสอบเคเบิลวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ให้ตรงตามข้อกำหนดและที่ได้รับอนุมัติให้ใช้

6) ตรวจสอบป้ายชื่อ โดยป้ายชื่อจะต้องแสดงชื่อเคเบิล จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง ขนาดเคเบิล ชนิดเคเบิล ระยะทาง วันเดือนปีที่ติดตั้งและชื่อของผู้ติดตั้ง

7) ตรวจสอบเครื่องหมายระบุชื่อ (Identification Marker) บนเปลือกเคเบิลสำหรับแต่ละช่วงความยาวของเคเบิลจะต้องแสดงชื่อของโรงงานผลิต ปีที่ผลิต เลขที่สัญญา ชนิดและขนาดของเคเบิล

จากขั้นตอนที่สภาวิศวกรได้กำหนดไว้ สรุปได้ว่านอกจากการเลือกใช้เคเบิลใยแก้วนำแสงที่เหมาะสมกับงานทั้งทางด้านคุณสมบัติทางแสง และคุณสมบัติทางกลแล้ว อีกขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งคือการติดตั้งเคเบิลใยแก้วนำแสง ดังนั้นหลังจากที่วิศวกรทำการติดตั้งเคเบิลใยแก้วนำแสงเรียบร้อยแล้ว จึงจำเป็นต้องตรวจสอบหลังการติดตั้งเพื่อให้แน่ใจว่าการติดตั้งนี้ เคเบิลใยแก้วนำแสงสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ต้องมีการระบุป้ายชื่อ ที่ระบุรายละเอียดของเคเบิลใยแก้วนำแสงแต่ละเส้นด้วย เพื่อสะดวกต่อการซ่อมบำรุงในภายหลัง

8.5 การทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้ง

สภาวิศวกร (2553, หน้า 90) ได้กำหนดมาตรฐานการทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้ง จะต้องมีรายละเอียดหัวข้อการทดสอบดังแสดงในที่ตารางที่ 8.1 ค่าที่แสดงในตารางนั้นเป็นตัวอย่างโดยทั่วไปของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ ที่ระบุไว้ในตาราง

ตารางที่ 8.1 ตัวอย่างคุณสมบัติทางแสงของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้ง
ที่มา: สภาวิศวกร, 2553 : 92

ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	การสูญเสียสูงสุด (เดซิเบล/กม.)	ความสามารถในการส่งข้อมูลน้อยที่สุดสำหรับการส่งแบบโอเวอร์ฟิลด์ (เมกกะเฮิรตซ์: กม.)
50/125 ไมครอน	850	3.5	500
	1300	1.5	500
62.5/125	850	3.5	160

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	การสูญเสียสูงสุด (เดซิเบล/กม.)	ความสามารถในการส่งข้อมูลน้อยที่สุดสำหรับการส่งแบบโอเวอร์ฟิลด์ (เมกกะเฮิรตซ์: กม.)
ไมโครเมตร	1300	1.5	500
สายเคเบิลโหมดเดี่ยวสำหรับงานภายในอาคาร	1310	1.0	N/A
	1550	1.0	N/A
สายเคเบิลโหมดเดี่ยวสำหรับงานภายนอกอาคาร	1310	0.5	N/A
	1550	0.5	N/A

ฝ่ายสื่อสารและสารสนเทศ (2549) ได้ให้ความหมายของการส่งแสงแบบโอเวอร์ฟิลด์ (Overfilled launch: OFL) ไว้ว่า การส่งสัญญาณแสงด้วยแอลอีดีจะให้ค่าการขยายกว้างออกเนื่องจากโหมดที่สูง เนื่องจากคุณสมบัติของแสงจากแอลอีดีมีค่าการบานปลายหรือการกระจายของแสงมาก (High beam divergence) การส่งลำแสงเข้าไปยังเส้นใยแก้วนำแสง จะทำโดยให้ลำแสงครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งเรียกวิธีการส่งลำแสงแบบนี้ว่าโอเวอร์ฟิลด์ จำนวนโหมดที่ถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงจึงสูง หรืออาจกล่าวได้ว่าแสงสามารถเดินทางได้ในทุกเส้นทางเดินของแสงที่เส้นใยแก้วนำแสงมีได้ ผลกระทบขอการขยายกว้างออกเนื่องจากวัสดุที่ใช้และการขยายกว้างออกเนื่องจากโหมดทำให้แอลอีดีไม่สามารถนำมาใช้ส่งสัญญาณในระดับกิกะไบต์ได้ นอกจากนี้ค่าแนะนำของคุณสมบัติทางแสงต่างๆ ของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงต้องมีค่าดังต่อไปนี้

1) อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Optical connector) ต้องมีค่าการสูญเสียของสัญญาณที่ผ่านจุดต่อ ≤ 0.75 เดซิเบล และค่าการสูญเสียเนื่องจากสะท้อนกลับของสัญญาณ ≥ 20 เดซิเบล สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด ค่าการสูญเสียเนื่องจากสะท้อนกลับของสัญญาณ ≥ 26 เดซิเบล สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียวและค่าการสูญเสียเนื่องจากสะท้อนกลับของสัญญาณ ≥ 55 เดซิเบล สำหรับการให้บริการเคเบิลทีวีด้วยเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียว

2) เส้นใยแก้วนำแสงที่ถูกสไปลซ์ (Fusion หรือ Mechanical splice) ต้องมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการสไปลซ์ ≤ 0.3 เดซิเบล/1 จุดสไปลซ์ (ค่าเฉลี่ยของการวัดจากเอไปบีและจากบีไปเอ) และจะต้องมีค่าการสูญเสียเนื่องจากสะท้อนกลับของสัญญาณ ≥ 20 เดซิเบล สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด ค่าการสูญเสียเนื่องจากสะท้อนกลับของสัญญาณ ≥ 26 เดซิเบล สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียว และค่าการสูญเสียเนื่องจากสะท้อนกลับของสัญญาณ ≥ 55 เดซิเบล สำหรับการให้บริการเคเบิลทีวีด้วยเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียว

8.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้ง

1) ชุดทดสอบแหล่งกำเนิดแสงและเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า (Power meter) ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวใช้ทดสอบค่าการลดทอนของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง บางครั้งอาจใช้หาความยาวของสายเคเบิล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2) อุปกรณ์ฉายแสง (Optical fiber flashlight) เรียกอีกชื่อได้ว่าแอลอีดีใช้ในการทดสอบและแก้ไขปัญหาความต่อเนื่องของม้วนสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง โดยต่อปลายข้างหนึ่งของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงเข้ากับอุปกรณ์ฉายแสง หลังจากนั้นให้สังเกตดูที่ปลายอีกข้างหนึ่ง ถ้าหากมองไม่เห็นแสงที่ปลายอีกข้างแสดงว่าสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงดังกล่าวเกิดแตกหักภายใน

3) แสงเลเซอร์พลังงานต่ำ (Low-intensity laser) มีลักษณะเป็นแสงสีแดงที่ทำงานในช่วงแสงที่ตามองเห็น ใช้สำหรับระบุเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละเส้นภายในสาย เคเบิลโดยการฉายแสงสีแดงลงไปที่เส้นใยแก้วนำแสง เมื่อใช้สำหรับการแก้ไขปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงจะเรืองแสงสีแดง ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหัก

4) การ์ดแปลงอินฟราเรด (Infrared conversion card) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้ผู้ติดตั้งมองเห็นสัญญาณแสงอินฟราเรดบนสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อสัญญาณแสงมาตกกระทบโดยตรงลงบนการ์ดซึ่งเป็นวัสดุฟอสฟอรัส

5) โอทีดีอาร์ (Optical time domain reflectometer: OTDR) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แสดงลักษณะของการลดทอนของสัญญาณแสงตลอดความยาวของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง โอทีดีอาร์จะแสดงผลการวัดในรูปแบบของกราฟ โดยแกนเอ็กซ์จะแสดงถึงระยะทางหรือความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้วัด และแกนวายแสดงถึงค่าการลดทอนของสัญญาณข้อมูลต่างๆ เช่น การลดทอนเนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสง นอกจากนี้ยังสามารถใช้วัดการสูญเสียเนื่องมาจากการสไปลซ์ การสูญเสียเนื่องมาจากการใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อ หรือระบุตำแหน่งของเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดการชำรุดได้ด้วย

6) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแสง (Optical spectrum analyzer: OSA) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แสดงสเปกตรัมของสัญญาณแสงที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสง โดยแสดงผลในแกนวายเป็นกำลังของสัญญาณในหน่วยเดซิเบลมิลลิวัตต์ และแกนเอ็กซ์เป็นความยาวคลื่นในหน่วยนาโนเมตร นอกจากนี้อุปกรณ์นี้ยังสามารถใช้วัดคุณสมบัติของสัญญาณแสงหลายๆ ความยาวคลื่นพร้อมกันได้ เช่น กำลังของสัญญาณแสง อัตราส่วนระหว่างสัญญาณแสงต่อสัญญาณรบกวน (Optical signal-to-noise Ratio: OSNR) ความยาวคลื่น ความกว้างของสเปกตรัมแสง และระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ ภาพที่ 8.9 แสดงหน้าจอแสดงผลของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแสงที่ต่อเข้ากับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีสัญญาณแสง 5 ความยาวคลื่นส่งออกมาพร้อมๆ กัน ซึ่งสามารถบ่งบอกพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังนี้

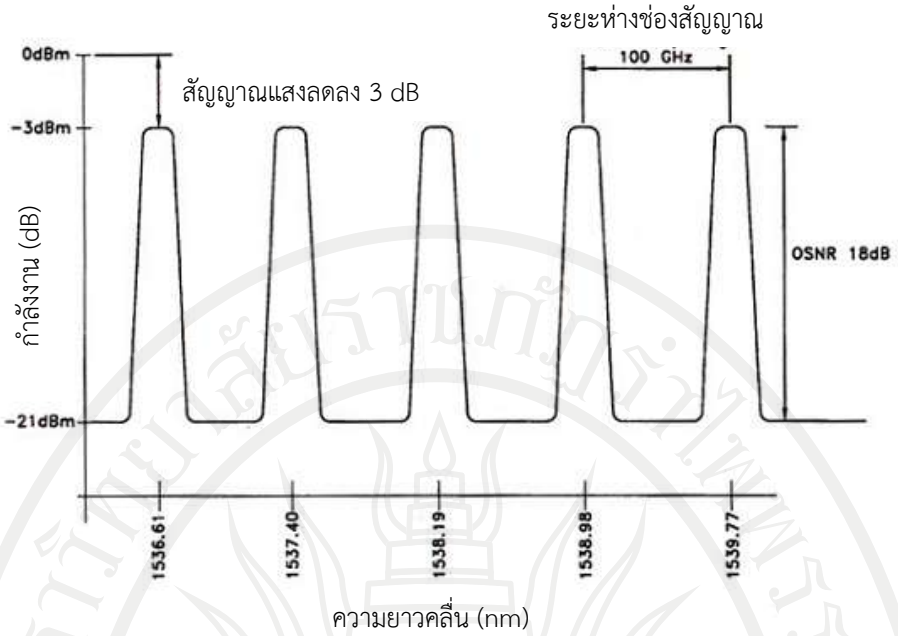
6.1) ยอดคลื่นแต่ละลูกแสดงถึงสัญญาณแสงแต่ละความยาวคลื่น

6.2) ความสูงของแต่ละยอดคลื่นแสดงถึงอัตราส่วนระหว่างสัญญาณแสงต่อสัญญาณรบกวน

6.3) ค่ายอดของแต่ละยอดคลื่นในแกนวายแสดงถึงค่ากำลังของสัญญาณแสงในหน่วยเดซิเบลมิลลิวัตต์

6.4) ระยะห่างระหว่างแต่ละยอดคลื่นแสดงถึงระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 8.9 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลของเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแสง
ที่มา: สภาวิศวกร, 2553 : 94

7) ชุดทดสอบรับรองอัตโนมัติ (Automatic certification) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบทางกายภาพสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงที่ได้ทำการติดตั้งไปแล้ว ว่ามีค่าการสูญเสียกำลังของสัญญาณตลอดเส้นใยแก้วนำแสง ที่ทำการติดตั้งว่าเป็นไปตามมาตรฐานของระบบสื่อสัญญาณที่จะใช้หรือไม่ เช่น TIA/TSB-178, TIA/EIA-568-B.3, ISO/IEC 11801, 10GBASE-LX4, 10GBASE-L, 10GBASE-E, 10GBASE-S, 1000BASE-SX, 1000BASE-LX, 100BASE-FX, 10BASE-FB, 10BASE-FL, FDDI, ATM-155, ATM-622, โทเคนริง 4 และ 16 เมกกะบิตต่อวินาที, ช่องสัญญาณใยแก้วนำแสง 1062 เมกกะบิตต่อวินาที เป็นต้น

ตารางที่ 8.2 ตัวอย่างคุณสมบัติของชุดทดสอบรับรองอัตโนมัติ
ที่มา: สภาวิศวกร, 2553 : 95

ช่วงกำลังงาน (เดซิเบลมิลลิวัตต์)	10 ถึง -75
ช่วงความยาวคลื่น (นาโนโมตร)	800 - 1650
ความยาวคลื่นสอบเทียบ (Calibrated Wavelengths) (นาโนเมตร)	800, 820, 830, 840, 850, 860, 870, 880, 910, 980, 1270, 1280, 1290, 1300, 1310, 1320,1330, 1340, 1350, 1370, 1390, 1410, 1430, 1450, 1460, 1470, 1480, 1490, 1500, 1510,1520, 1530, 1540, 1550, 1560, 1570, 1580, 1590, 1600, 1610, 1620, 1630, 1640, 1650
ความคลาดเคลื่อนกำลังงาน (Power uncertainty)	± 5 % ± 31 พิโกวัตต์
การแสดงผล (dB)	± 0.01 (10 เดซิเบลมิลลิวัตต์ to –60 เดซิเบลมิลลิวัตต์)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตารางที่ 8.2 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติที่ต้องทดสอบเบื้องต้นด้วยชุดทดสอบรับรองอัตโนมัติ กล่าวคือ สามารถวัดค่ากำลังของสัญญาณได้ ตั้งแต่ 10 ถึง -75 เดซิเบลมิลลิวัตต์ ความยาวคลื่นที่ทำการทดสอบได้อยู่ในช่วง 800 – 1650 นาโนเมตร และมีความละเอียดในการแสดงผลในระดับ ± 0.01 เดซิเบล เป็นต้น

8) ชุดทดสอบการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ (Optical return loss: ORL) หรือ โออาร์แอลเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการสูญเสียจากการสะท้อนกลับโดยใช้วิธีการวัดคลื่นสะท้อนเมื่อส่งคลื่นต่อเนื่องออกไป (Optical continuous wave reflectometer: OCWR) ในการวัดค่าการสูญเสียโดยกำลังของสัญญาณจะถูกส่งผ่านคัปเปลอร์แบบมีทิศทาง และเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำการทดสอบ ซึ่งคัปเปลอร์แบบมีทิศทางจะส่งผ่านสัญญาณที่สะท้อนออกมาไปยังเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า ทำให้สามารถอ่านค่าการสูญเสียดังกล่าวได้ โดยตัวอย่างคุณสมบัติของโออาร์แอล ดังแสดงในตารางที่ 8.3 และตัวอย่างอุปกรณ์วัดการสูญเสียจาการสะท้อนกลับแสดงดังภาพที่ 8.10

ภาพที่ 8.10 อุปกรณ์วัดการสูญเสียเนื่องจาการสะท้อนกลับ
ที่มา: Promax, 2010

ตารางที่ 8.3 ตัวอย่างคุณสมบัติของชุดทดสอบโออาร์แอล
ที่มา: สภาวิศวกร, 2553 : 96

ความยาวคลื่นสอบเทียบ (นาโนโมตร)	850, 1300
กำลังงานเอาท์พุต (เดซิเบลมิลลิวัตต์)	-20
ชนิดอิมิตเตอร์ (Emitter type)	แอลอีดี
เซฟตี้คลาส (Safety class)	คลาส I FDA 21 CFR 1040.10 และ 1040.11, IEC 60825-1: 2007-03
ช่วงทำงานโออาร์แอล (เดซิเบล)	40

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

8.5.2 รายการทดสอบหลังการติดตั้ง

หลังการติดตั้งเคเบิลใยแก้วนำแสงแล้ว สภาวิศวกรได้กำหนดให้วิศวกรโทรคมนาคม ต้องทำการทดสอบดังรายการต่อไปนี้

1) การทดสอบแพตช์คอร์ดเส้นใยแก้วนำแสง

ในการหาค่าต่างๆ ของเส้นใยแก้วนำแสงต้องใช้อุปกรณ์ทดสอบแพตช์คอร์ด (Patch cord) หรือสายต่อพ่วง ดังภาพที่ 8.11 และอะแดปเตอร์ที่มีคุณภาพสูง โดยจะต้องต่อแพตช์คอร์ดและอะแดปเตอร์เข้ากับเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ตลอดเวลา เพื่อวัดกำลังการสูญเสียจากแพตช์คอร์ด ซึ่งแพตช์คอร์ดที่ดีจะต้องมีค่าน้อยกว่า 0.7 เดซิเบล ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าควรจะอยู่ประมาณ 0.5 เดซิเบล ซึ่งค่านี้ควรมีค่าน้อยจึงจะถือว่าดี

ภาพที่ 8.11 แพตช์คอร์ด
ที่มา: 3M, n.d.

2) การทดสอบหาค่ากำลังสัญญาณและค่าการสูญเสียกำลัง

การทดสอบหาค่ากำลังสัญญาณและค่าการสูญเสียกำลังสามารถทำได้หลายวิธี โดยใช้ชุดทดสอบที่มีแหล่งกำเนิดแสงและเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าในการทดสอบ หรือใช้โอทีดีอาร์ในการทดสอบก็ได้ และต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่องวัดก่อนการทดสอบแต่ละครั้งเสมอ เพื่อนำมาที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณค่าการสูญเสียต่อไป

3) การทดสอบการสูญเสียจากกำลังสะท้อนกลับ

การทดสอบนี้เป็นการวัดค่าของกำลังของสัญญาณแสงที่สะท้อนกลับเข้ามายัง แหล่งกำเนิดแสง ที่อยู่ส่วนปลายของเส้นใยแก้วนำแสง มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของกำลังของสัญญาณที่สะท้อนต่อกำลังของสัญญาณที่ส่งไป มีหน่วยเป็นเดซิเบล โดยต้องเลือกอุปกรณ์วัดให้มีกำลังเหมาะสมกับกำลังงานที่สะท้อน

4) การทดสอบความต่อเนื่องของสาย

ใช้อุปกรณ์ฉายแสงต่อเข้ากับปลายข้างหนึ่งของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง หลังจากนั้นให้สังเกตดูที่ปลายอีกข้างหนึ่ง ถ้าหากว่ามองไม่เห็นแสงที่ปลายอีกข้างแสดงว่าสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงดังกล่าว เกิดแตกหักภายใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

5) การทดสอบการสไปลซ์

เมื่อทำการสไปลซ์และติดตั้งสายเรียบร้อยแล้ว สามารถทำการทดสอบเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละเส้นได้ทันทีที่ความยาวคลื่นใช้งานต่างๆ โดยสามารถทำการทดสอบที่ปลายทั้งสองด้านเพื่อความถูกต้องโดยสังเกตที่ค่าของตัวแปรต่างๆ ดังนี้

5.1) ค่าการสูญเสียกำลังทั้งหมด

5.2) อัตราการลดทอนของสัญญาณในหน่วยเดซิเบลต่อกิโลเมตร

5.3) ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำการทดสอบ

5.4) ค่าการสูญเสียเนื่องจากการสไปลซ์

5.5) ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่หาได้จากโอทีดีอาร์

จากนั้นนำค่าการสูญเสียเนื่องมาจากการสไปลซ์ จากการทดสอบทั้งสองทิศทางมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อคำนวณค่าการสูญเสียจากการสไปลซ์ทั้งหมด สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงที่ผ่านการทดสอบการสไปลซ์เรียบร้อยแล้วให้ทำการหุ้มบริเวณที่สไปลซ์ให้เรียบร้อย

6) การทดสอบสภาพการเชื่อมต่อและการหาจุดบกพร่อง

เป็นการทดสอบเพื่อบอกถึงการลดทอนของสัญญาณแสงตลอดความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งเส้น เพื่อหาจุดบกพร่องของเส้นใยแก้วนำแสงในระยะทางของเส้นใยแก้วนำแสง เพื่อทำการแก้ไขต่อไป

7) การทดสอบสเปกตรัมของสัญญาณ

การทดสอบนี้จะใช้แหล่งกำเนิดแสงซึ่งอาจเป็นแอลอีดีหรือเลเซอร์ก็ได้ และโอเอสเอในการทดสอบ ดังภาพที่ 8.22 เพื่อทดสอบว่าสัญญาณแสงที่ยิงเข้ามามีความยาวคลื่นเท่าใด และมีกำลังของสัญญาณเท่าใด ซึ่งค่าโอเอสเอ็นอาร์ ค่าระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ และค่าอื่นที่อ่านได้จากสเปคตรัมนั้น จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานประกอบแบบ ซึ่งได้รับการเห็นชอบจากเจ้าของงานไว้ก่อนแล้ว

จากขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า ภายหลังการติดตั้งเคเบิลใยแก้วนำแสงแล้วนั้น จำเป็นต้องทดสอบเคเบิลใยแก้วนำแสงทุกเส้นให้พร้อมให้งานได้ โดยการทดสอบเป็นการทดสอบด้านการสูญเสียของสัญญาณเป็นหลัก ไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อนกลับความบกพร่องของเคเบิลใยแก้วนำแสง และการสูญเสียจากการเชื่อมต่อ หากไม่เป็นไปตามมาตรฐานควรดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเพื่อในระบบโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

8.6 สรุป

สภาวิศวกรเป็นหน่วยงานที่กำกับดูแลการประกอบวิชาชีพทางวิศวกรรมได้กำหนดมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ เรื่อง ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพด้านการตรวจสอบและการทดสอบ งานติดตั้งระบบสายเคเบิลเพื่อการสื่อสารโทรคมนาคมและสื่อสารข้อมูล ซึ่งกำหนดมาตรฐานการติดตั้งสายสัญญาณไว้หลายประเภท รวมถึงเคเบิลใยแก้วนำแสงด้วย โดยได้กำหนดชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง อ้างอิงตามมาตรฐานไอทียูซึ่งกำหนดไว้ว่าเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละประเภท จะมีคุณสมบัติทางแสงเป็นอย่างไรบ้าง นอกจากนี้ยังกำหนดคุณสมบัติทางกลของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งเป็นคุณสมบัติขั้นต่ำให้วิศวกรได้เลือกใช้เพื่อให้เหมาะกับการนำในไปใช้งานโครงข่ายการสื่อสารแต่ละประเภท หลังที่ติดตั้งระบบเคเบิลใยแก้วนำแสงในโครงข่ายโทรคมนาคมเรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการ

ทดสอบหลังการติดตั้งด้วย โดยสภาวิศวกรได้กำหนดวิธีการตรวจสอบเคเบิลใยแก้วไว้โดยละเอียด กำหนดคุณสมบัติที่ต้องการจากการทดสอบ รวมถึงเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบด้วย เพื่อเป็นมาตรฐานในการทดสอบเคเบิลใยแก้วนำแสง เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบที่เกิดขึ้น จากการติดตั้งที่ไม่ได้มาตรฐาน ก็คือคุณภาพของการสื่อสารที่ไม่ได้มาตรฐาน อันเนื่องมาจากอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูลที่สูงเกินไป เวลาประวิงในการสื่อสารที่ยาวนานเกินไป ข้อมูลเดินทางได้ในระยะทางที่สั้นลงอันเนื่องมาจากการสูญเสียของสัญญาณที่สูงเกินไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แบบฝึกหัดบทที่ 8

1. แกนกลางและเปลือกนอกสุดของสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงทำมาจากวัสดุชนิดใด
2. สิ่งที่บอกถึงคุณภาพของการสื่อสารมีอะไรบ้าง
3. สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงมีมาตรฐานการโค้งงอเป็นอย่างไร
4. มาตรฐานเส้นใยแก้วนำแสงตามที่สภาวิศวกรกำหนดเป็นการกำหนดมาตรฐานในด้านใดบ้าง
5. การตรวจสอบทางกายภาพต้องตรวจสอบในด้านใดบ้าง
6. คุณสมบัติทางแสงของเคเบิลใยแก้วนำแสงหลังการติดตั้งที่มีการกำหนดไว้มีอะไรบ้าง
7. การทดสอบว่าสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงนั้นเกิดแตกหักภายในหรือไม่ต้องใช้อุปกรณ์ชนิดใดและมีวิธีการใช้อย่างไร
8. อุปกรณ์ที่ใช้แสดงสเปกตรัมของสัญญาณแสงที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงคืออุปกรณ์ชนิดใด
9. อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับคืออะไร
10. การทดสอบหาค่ากำลังสัญญาณและค่าการสูญเสียกำลังสามารถทดสอบได้กี่วิธีด้วยอุปกรณ์อะไรได้บ้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารอ้างอิง

ฝ่ายสื่อสารและศูนย์สารสนเทศ. (2549). **Fiber optic cable for gigabit technology.** กรมชลประทานประทาน (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://irrigation.rid.go.th/rid8/communication/tip_technic53. สิงหาคม 2557.

สพธอ. (2557). **ITU: International telecommunication union**. สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (องค์การมหาชน). (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://www.etda.or.th/terminology-detail/vocab-itu.html. สิงหาคม 2557.

สภาวิศวกร. (2553). **มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ เรื่อง ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพด้านการจรวจสอบและการทดสอบงานติดตั้งระบบสายเคเบิลเพื่อการสื่อสารโทรคมนาคมและการสื่อสารข้อมูล**. กรุงเทพฯ : ผู้แต่ง

3M. (n.d.). **3M™ fiber patch cords**. (Online). Available : http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/NA_Communication_Technologies/Home/Products/~/3M-Fiber-Patch-Cords?N=7582428+3294473416&rt=rud. August 2014.

Ningbo, T and Trading, J. (2014). **GYC8ZY FTTH drop cable.** NINGBO T&J TRADING CO., LTD. (Online). Available : http://www.imexbb.com/gyc8zy-ftth-drop-cable-10612058.htm. August 2014.

Promax. (2010). **ProliteE-67: all the measurements to install FTTH**. (Online). Available : http://www.promaxelectronics.com/ing/news/190/PROLITE-67-All-the-measurements-to-install-FTTH. August 2014.

Swedberg, C. (2013). **Copper vs. fiber.** (Online). Available : http://www.ecmag.com/section/systems/copper-vs-fiber. August 2014.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บรรณานุกรม

กรมการสื่อสารทหาร. (ม.ป.ป.). **ระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง.** กรุงเทพฯ : ผู้แต่ง.

กลุ่มวิจัยทัศนศาสตร์. (ม.ป.ป.). **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเลเซอร์.** ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.sc.mahidol.ac.th/scpy/Optics. สิงหาคม 2557.

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2555). **ทัศนศาสตร์และการมองเห็น ในฟิสิกส์เบื้องต้นสำหรับวิทยาศาสตร์การแพทย์และสาธารณสุข.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.sc.mahidol.ac.th/scpy/courses. สิงหาคม 2557.

ชนก ท่วมจร. (2009). **การสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.vcharkarn.com. สิงหาคม 2557.

ชมรมไฟฟ้าสื่อสาร ไอทริเปิลอี. (ม.ป.ป.). **การสื่อสารเชิงแสงและการสื่อสารผ่านดาวเทียม ในสารานุกรมโทรคมนาคมไทย.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Principle_of_Optical_Communications/index.php. สิงหาคม 2557.

ทัศนัย อากิม. (2556). **อุปกรณ์กำเนิดแสงและรับแสง.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://tassanai16.blogspot.com. สิงหาคม 2557.

ทีโอทีจำกัด. (2557). **แพคเก็ตอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://pantip.com/topic /31884348. สิงหาคม 2557.

แทน เชียงแขก. (2548). **สื่อการสอนหลักการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง.** เชียงราย: แผนกอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการอาชีพเทิง.

ธราดล โกมลมิศร์. (2556). **ช่องสื่อสาร**. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

_____. (2548). **WDM, DWDM.** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.ee.eng.cmu.ac.th/~tharadol/teach/ee341. สิงหาคม 2557.

ปรเมศ ห่อแก้ว. (2554). **บทที่ 6 การรวมสัญญาณ (Multiplexing).** นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. หน้า 66-72.

ปริญญา น้อยดอนไพร. (2556). **การผสมสัญญาณ การตรวจสอบความผิดพลาด และการควบคุมการไหลข้อมูล.** สุราษฎร์ธานี : สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี.

ฝ่ายสื่อสารและศูนย์สารสนเทศ. (2549). **Fiber optic cable for gigabite technology.** กรมชลประทานประทาน (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://irrigation.rid.go.th/rid8/communication/tip_technic53. สิงหาคม 2557.

พัชรินทร์ ดวงแก้ว และ เครือวัลย์ วงค์ปัญญา. (ม.ป.ป.). **พื้นฐานการสื่อสารเชิงแสง (Principle of optical communications). ในสารนุกรมโทรคมนาคมไทย.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Principle_of_Optical_Communications/index.php. สิงหาคม 2557.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

พีเพิลฟูเทคโนโลยี จำกัด. (2013). **ความรู้ด้าน Fiber optic หลักการทำงานและชนิดของ ไฟเบอร์ออฟติค.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.peoplefu.com/. สิงหาคม 2557.

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทเกษม. (ม.ป.ป. ก). **หลักการของเลเซอร์.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://elec.chandra.ac.th/courses/ELEC2101/termwork/laser2/p41.html. สิงหาคม 2557.

_____. (ม.ป.ป. ข). **คุณสมบัติของแสงเลเซอร์**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://elec.chandra.ac.th. สิงหาคม 2557

โรงเรียนสตรีอ่างทอง. (ม.ป.ป.). **การหักเห (Refraction)**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.sa.ac.th. สิงหาคม 2557.

ลอยย์ เทคโนโลยี. (2011). **Insertion loss & return loss.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.loyytechnology.com. สิงหาคม 2557

วิทยาลัยอาชีวศึกษาเซนต์จอห์น. (2555). **การสื่อสารใยแสง.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://wiki.stjohn.ac.th. สิงหาคม 2557.

ศูนย์การเรียนรู้ด้านเทคโนโลยี. (ม.ป.ป.). **ระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง.** อสมท. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://dtv.mcot.net/data/manual/book1155180133.pdf. สิงหาคม 2557.

เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ. (2552). **ใยแก้วนำแสง ทำมาจากอะไรและมีวิธีการอย่างไร**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.bloggang.com. สิงหาคม 2557.

สพธอ. (2557). **ITU: International telecommunication union. สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (องค์การมหาชน).** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://www.etda.or.th/terminology-detail/vocab-itu.html. สิงหาคม 2557.

สภาวิศวกร. (2552). **ตัวอย่างข้อสอบแขนงไฟฟ้าสื่อสาร.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.coe.or.th. สิงหาคม 2557.

สภาวิศวกร. (2553 ก). **มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ เรื่อง ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพด้านการตรวจสอบและการทดสอบงานติดตั้งระบบสายเคเบิลเพื่อการสื่อสารโทรคมนาคมและการสื่อสารข้อมูล.** กรุงเทพฯ : ผู้แต่ง.

_____. (2553 ข). **แสงเลเซอร์**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.coe.or.th/e_engineers/knc_detail.php?id=130. สิงหาคม 2557.

สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์. (2555). **การสื่อสารใยแก้วนำแสง.** กรุงเทพ: ทริปเปิ้ล กรุ๊ป.

_____. (2557). **การสื่อสารทางแสง.** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://cw.rmuti.ac.th. สิงหาคม 2557.

สารานุกรมเสรี. (ม.ป.ป.). **การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://th.wikipedia.org. สิงหาคม 2557.

หาดใหญ่เซอร์วิสแอนด์ซัพพลาย. (ม.ป.ป.) **การเชื่อมต่อสาย Fiber Optic.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.hatyaishop.net/13696628/splicerfotest-otdr. สิงหาคม 2557

อธิคม ฤกษบุตร. (ม.ป.ป. ก). **พื้นฐานระบบเส้นใยนำแสงสู่บ้าน ในสารนุกรมโทรคมนาคมไทย.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Fiber_To_The_Home_FTTH. สิงหาคม 2557.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

_____. (ม.ป.ป. ข). **ระบบสื่อสัญญาณแสงหลายช่องแบบ ในสารนุกรมโทรคมนาคมไทย. DWDM.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Dense_Wavelength_Division_Multiplexing/index.php. สิงหาคม 2557 .

เอ็ม วี ที คอมมิวนิเคชั่น. (2549). **เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลบนใยแก้วนำแสงความเร็วสูงด้วย DWDM.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.mvt.co.th. สิงหาคม 2557.

3M (n.d.) **3M™ Fiber patch cords.** (Online). Available : http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/NA_Communication_Technologies/Home/Products/~/3M-Fiber-Patch-Cords?N=7582428+3294473416&rt=rud. August 2014.

Ab-Rahman, M. S. (2008). The asymmetrical architecture of new optical switch device. **Proceeding of advanced international conference on telecommunications**. 8-13 June 2008.

Agrawal G. P. (2010). **Fiber – optic communication system**. 4nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons.

Alibaba. (n.d.). **Good quality fiber optic fc pc connector.** (Online). Available: http://www.alibaba.com/product-detail/Good-quality-fiber-optic-fc-pc_1590273331.html. August 2014.

Alwayn, V. (2004). **Optical network design and implementation.** Indiana : Cisco Press.

Commscope. (n.d.). **Drop product listing**. (Online). Available : http://www.commscope. com/catalog/broadband/product.aspx?id=79. August 2014.

Communications museum of Macao. (n.d.). **Optical fibres.** (Online). Available: http://macao.communications.museum/eng/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2_8_3_OpticalFibres.html. August 2014.

Computer science department. (1999). **Long-distance communication**. New York University (Online). Available: http://www.cs.nyu.edu/artg/telecom/fall99/lecture_notes/chap05/all.html August 2014.

Dutton, H. J. R. (1998). **Understanding optical communication**. NC: IBM.

Element 14. (n.d.). **Laser coponent 2008368**. (Online). Available : http://th.element14.com/laser-components/adl-65075tl/laser-diode-655nm/dp/1272661. August 2014.

Fiberstore. (2014). **Control of dispersion in single mode fiber links.** (Online). Available: http://www.fiberopticshare.com/control-of-dispersion-in-single-mode-fiber-links.html. August 2014.

Fiber transceiver solution (2014) **Fiber saving-wave division multiplexing (WDM) technology.** (Online). Available: http://www.fiber-optic-transceiver-module.com/fiber-saving-wave-division-multiplexing-wdm-technology.html. August 2014.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

Fischer, U.H.P. and Haupt. M. (n.d.). **WDM over POF – the inexpensive way to break through the limitation of bandwidth of standard POF communication.** (Online). Available: http://www.harzoptics.de/wdm-over-pof.html. August 2014.

Fs.com. (2015). **The era of fusion splicing is coming.** (Online). Available: http://www.fs.com/blog/the-era-of-fusion-splicing-is-coming.html. August 2014.

Gofoton. (n.d.). **Tapered fiber power combiner.** (Online) Available: https://welcome.gofoton.com/product/tapered-fiber-power-combiner. August 2014.

Infraline. (n.d.). **Electromagnetic spectrum.** (Online). Available : http://www.pion.cz/en/article/electromagnetic-spectrum. August 2014.

Integrated publishing. (n.d.). **Fiber optic couplers.** (Online). Available: http://www.tpub.com. August 2014.

Khan, S. A. (n.d.). **Optical source** (Online). Available: http://www.slideshare.net/MohammedMannani. August 2014

Larsen, K. (2014). **LASER vs. LED: what's the difference?.** (Online). Available: https://www.miridiatech.com/news/2014/02/laser-vs-led-whats-the-difference. August 2014.

Newport corporation. (n.d.). **Focusing and collimating. technical note.** (Online). Available: https://www.newport.com/focusing-and-collimating. August 2014.

Ningbo T & J Trading. (2014). **GYC8ZY FTTH drop cable.** (Online). Available : http://www.imexbb.com/gyc8zy-ftth-drop-cable-10612058.htm. August 2014.

Numerical aperture. (n.d.). (Online). Available : http://assets.newport.com/web600w-EN/images/1381509.gif. August 2014

Olson technology. (n.d.). **NA mismatch loss.** (Online). Available : http://www.olson-technology.com/mr_fiber/glossary-n.htm. August 2014.

Promax. (2010). **PROLITE-67: All the measurements to install FTTH.** (Online). Available : http://www.promaxelectronics.com/ing/news/190/PROLITE-67-All-the-measurements-to-install-FTTH. August 2014

Richardson, D. J. Fini, J. M. and Nelson, L. E. (2013). Space-division multiplexing in optical fibres. **Nature Photonics**, vol. 7, 354–362.

Superuser. (2010). **Total internal reflection in fiber optics cables.** (Online). Available : http://superuser.com/questions/207793/total-internal-reflection-in-fiber-optics-cables. August 2014.

Schools wikipedia selection. (2007). **Optical fibre.** (Online). Available: http://cs.mcgill.ca/~rwest/wikispeedia/wpcd/wp/o/Optical_fiber.htm. August 2014.

Syoptek. (n.d.). **How to make a perfect fusion splice?.** (Online). Available: http://www.syoptek.com/blog/?cat=5. August 2014.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Swedberg, C. (2013). **Copper vs. fiber.** (Online). Available : http://www.ecmag.com/section/systems/copper-vs-fiber. August 2014.

The fiber optic association. (n.d.). **Fiber Optic Transmitters and Receivers.** (Online). Available: http://www.thefoa.org/tech/ref/appln/transceiver.html. August 2014.

Thyagarajan, K. and Ghatak, A. (2010). **Fiber optic couplers.** (Online). Available: http://www.globalspec.com/reference/13962/160210/chapter-12-4-1-fiber-optic-components-fiber-optic-couplers. August 2014.

Thorlab. (n.d. a). **1x2 graded-index multimode fiber optic couplers.** (Online). Available: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=1718. August 2014.

_____ . (n.d. b). **2x2 step-index multimode fiber optic couplers, 0.39 NA.** (Online). Available: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_ID=7773. August 2014.

US laser corp. (2011). **Fiber optic beam delivery systems.** (Online). Available: http://www.uslasercorp.com. August 2014.

Wikipedia. (nd.). **Sound amplification by stimulated emission of radiation.** (Online). Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Sound_amplification_by_stimulated_emission_of_radiation. August 2014.

Wikispaces. (n.d.). **Fiber optics.** (Online). Available: https://lis3353.wikispaces.com/Fiberoptics. August 2014.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาคผนวก ก.
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบท
เฉพาะข้อคำนวณ

เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 2

1. 1 ไมคอรน
3. 0.203
4. 0.207
5. 0.013
6. 1.3 เปอร์เซ็นต์
7. 1351นาโนเมตร
8. 38 โหมด

เฉลยแบบฝึกหัดบทที่ 7

4. 10 เดซิเบลมิลลิวัตต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี