

วิเคราะห์และแก้ไขปัญหไฟเบอร์ออฟติกเคลื่อนตัว
ในสายเคเบิลไฟเบอร์ออฟติกชนิดหลอดรวมเดี่ยว

ANALYSIS OF FIBER OPTIC'S RELOCATION PROBLEM IN
MONO LOOSE TUBE TYPE

นฤทธิสมเจริญ สัมภาพด
NARITSOMJARERN SUMPACPOL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2720-9

วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาไฟเบอร์ออฟติกเคลื่อนตัว
ในสายเคเบิลไฟเบอร์ออฟติกชนิดหลอดหลวมเดี่ยว

ANALYSIS OF FIBER OPTIC'S RELOCATION PROBLEM IN
MONO LOOSE TUBE TYPE

นฤทธิสมเจริญ สำเภาพล
NARITSOMJARERN SUMPAOPOL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2720-9

**ANALYSIS OF FIBER OPTIC'S RELOCATION PROBLEM IN
MONO LOOSE TUBE TYPE**

NARITSOMJARERN SUMPAOPOL

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2720-9

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาไฟเบอร์ออฟติกเคลื่อนตัวในสายเคเบิลไฟเบอร์ออฟติกชนิดหลอดหลวมเดี่ยว
นักศึกษา	นายณฤทธิ์สมเจริญ สำเภาพล
รหัสนักศึกษา	47061030
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุวิพล สิทธีชีวกภาค

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอถึงการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาไฟเบอร์ออฟติกเคลื่อนตัวในสายเคเบิลไฟเบอร์ออฟติกชนิดหลอดหลวมเดี่ยว โดยออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถรองรับการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) บริเวณจุดต่อเชื่อมหรือหัวต่อ (Closure) ได้ ก่อนออกแบบได้ใช้สมการคณิตศาสตร์ในการคำนวณหามุมโค้ง (Radius) ของเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละความยาวคลื่น เพื่อศึกษาพฤติกรรม Critical Radius ของเส้นใยแก้วนำแสง และนำผลการวิเคราะห์ไปออกแบบอุปกรณ์แก้ไขปัญหที่เกิดจากการลดทอนสัญญาณจากการโค้งงอ (Bending Loss) ของเส้นใยแก้วนำแสงบริเวณหัวต่อ ร่วมกับการศึกษาวิธีการแขวนสายเคเบิลแนวใหม่เพื่อเพิ่มแรงจับยึดระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับหลอดหลวมเดี่ยว (Loose Tube) ผลจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถแก้ไขปัญหไฟเบอร์ออฟติกเคลื่อนตัวในสายเคเบิลไฟเบอร์ออฟติกชนิดหลอดหลวมเดี่ยวลงได้

Thesis Title	Analysis of Fiber Optic's Relocation Problem in Mono Loose Tube Type
Student	Mr. Naritsomjareern Sumpaopol
Student ID.	47061030
Degree	Master of engineering
Program	Telecommunication Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Suvepon Sittichivapak

ABSTRACT

This thesis presents the analysis and solution of fiber optic's relocation problem in mono loose tube type, by designing the prototype to support the relocation of optical fiber at the connecting or closure. Before designing, a mathematical algebraic equation was calculated to provide radius of optical fiber in each wavelength in order to study critical radius of optical fiber. After that the data result were analyzed to design the prototype. This prototype is able to solve the problem of attenuating signal from bending loss of optical fiber closure, together with the study of new cable hanging's process between optical fiber and loose tube. The result of this research is able to solve the problem of fiber optic's relocation problem in mono loose tube type.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.ดร.สุวิพล สิริ-
ชีวกภาค ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ. เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์
ผู้ให้คำแนะนำทางเทคนิค ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสองท่าน
และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับ
ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณ พี่อาคม แรกตั้ง ผู้จัดการโรงงาน ฮิตาชิบางกอกเคเบิ้ล จำกัด (HBC) สิงห์บุรี
คุณสุรินทร์ ผู้จัดการโรงงาน สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) ร่วมสำรวจ เก็บข้อมูลและสนับสนุน
ค่าใช้จ่ายบางส่วนในการทดลองผลิตสายตัวอย่างในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ พี่สุราษฎร์ และบริษัท SJP ที่ให้ความกรุณาช่วยผลิตอุปกรณ์ต้นแบบ เพื่อ
ทดลองภาคสนาม

ขอขอบคุณน้องป้อม น้องปู น้องโก้ และเพื่อน ๆ พนักงาน บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ที่
ให้ความช่วยเหลือ ในเรื่องต่างๆ

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือ
ในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็น
กำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง
ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นฤทธิสมเจริญ สำเภาพล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber).....	5
2.1 ประวัติเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber).....	5
2.2 ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง	7
2.2.1 Electro-Optical Converter (E/O)	8
2.2.2 Opto-Electric Converter (O/E)	8
2.2.3 เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)	8
2.3 คุณสมบัติและชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)	9
2.3.1 กฎของสเนล (Snell's Law)	10
2.3.2 นิวมอริคัลลอเปอร์เจอร์ (Numerical Aperture)	11
2.3.3 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	11
2.3.3.1 Step Index (SI).....	12
2.3.3.2 Graded Index (GI).....	12
2.3.3.3 Single Mode (SM)	13
2.3.3.4 Multi Mode (MM)	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 Cut-off Wavelength.....	14
2.3.5 ความถี่นอร์มอลไลซ์ (Normalized Frequency).....	15
2.4 กำลังงานที่สำรอง (Power Margin).....	16
2.5 การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending Loss).....	17
บทที่ 3 วิเคราะห์และทดลอง	22
3.1 สํารวจและเก็บข้อมูลปัญหาสาย OFC สํหรับ Access Service เคลื่อนตัว.....	22
3.1.1 สํารวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดนครราชสีมา	22
3.1.2 สํารวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดกาญจนบุรี	25
3.1.3 สํารวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดเชียงใหม่	28
3.1.4 สํารวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดเชียงราย	31
3.1.5 สํารวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดสุราษฎร์ธานี	31
3.1.6 สรุปผลสํารวจและเก็บข้อมูล	32
3.2 วิเคราะห์ปัญหา	32
3.3 วิเคราะห์-ทดลอง วัสดุและโครงสร้างสาย OFC สํหรับ Access Service.....	34
3.3.1 ทดลองวัสดุ	34
3.3.2 สาร Thixotropic Compound.....	39
3.3.3 Fiber Access length ใน Loose Tube.....	39
3.3.4 ทดลอง Vibration สาย OFC สํหรับ Access Service.....	40
3.3.5 ทดลองการรับแรงดึง (Tensile) ของ Support Steel Wire.....	41
3.3.6 ทดลองการรับแรงดึงของเส้นใยแก้วนำแสง	42
3.3.7 ทดลองการรับเค้น (Stress) ของเส้นใยแก้วนำแสง.....	44
3.3.8 ทดลองการจับยึด (Friction).....	46
3.3.9 จำลอง Loop และคลี่สายเหมือนสภาพใช้งานจริง.....	49
3.4 ตรวจวัด Mode Field Diameter และ โครงสร้าง Geography	50
3.5 ตรวจวัด Fiber Strain และ Stress และ Chromatic Dispersion.....	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 วิเคราะห์และทดลองเปรียบเทียบ Messenger wire แต่ละแบบ.....	53
3.7 สรุป	54
บทที่ 4. ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว	56
4.1 เพิ่มค่าการจับยึด (Friction) ของสาย OFC สำหรับ Access Service.....	56
4.1.1 เพิ่มความหนืดของ Thixotropic Compound.....	56
4.1.2 จับยึดเส้นใยแก้วนำแสงติดกับ Loose Tube.....	56
4.2 ออกแบบอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสง	59
4.2.1 ศึกษาภูมิหลังสิทธิบัตรอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีอยู่เดิม	59
4.2.2 วิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อ	61
4.2.3 ดัดแปลงอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงเดิมหาแนวทางออกแบบ อุปกรณ์ใหม่	62
4.2.4 จำลองสภาพเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในตาข่าย ดันแบบ	63
4.3 ออกแบบตาจรองรับเส้นใยแก้วนำแสง	65
4.3.1 จำนวนความยาวที่เพื่อการเคลื่อนหลุดตัวของเส้นใยแก้วนำแสง ($r_2 = 45mm.$)	66
4.3.2 จำนวนความยาวที่เพื่อการเคลื่อนยึดตัวของเส้นใยแก้วนำแสง ($r_2 = 45mm.$)	67
4.3.3 ระยะความยาวสายเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องเพื่อสำหรับตัดต่อ	67
4.4 ผลิตตาจรองรับเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อทดลองภาคสนาม	69
4.5 สรุปการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว	72
บทที่ 5. ทดลองในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม	73
5.1 ทดลองในห้องปฏิบัติการ	73
5.1.1 ทดลอง Bending Loss ตาจรองรับเส้นใยแก้วนำแสง	73
5.1.1.1 ทดลอง Bending Loss ตาจรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีสัน วงกลมแบบต่อเนื่อง	74

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.1.2 ทดลอง Bending Loss ภาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีสัน วงกลมแบบไม่ต่อเนื่อง.....	76
5.1.2 นำภาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบขอความเห็นจากผู้ใช้งาน.....	76
5.2 ทดลองภาคสนาม (Field Trial)	77
5.2.1 นำภาดฯ แบบใหม่ติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service แบบเดิมกับ โครงข่ายที่ใช้งานเดิม	78
5.2.2 นำภาดฯ แบบใหม่ติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service กับโครงข่าย ใหม่	79
5.2.3 นำภาดฯ แบบใหม่ติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service ด้วยวิธีการ ใหม่กับโครงข่ายใหม่	81
5.3 สรุปผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม.....	85
บทที่ 6 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	86
เอกสารอ้างอิง	88
ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	90
ประวัติผู้เขียน	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสายทองแดงกับเส้นใยแก้วนำแสง	7
3.1 ผลการทดลองชนิดของพลาสติกและ โลหะ.....	36
3.2 ผลการทดลองหาค่าความหนาของ Support Strand Steel Wire และ Cable Sheath.....	37
3.3 ค่าการหดตัวของ Loose Tube ที่ $115 \pm 1^{\circ}C$ และ $55^{\circ}C$ ความชื้น 85%.....	38
3.4 ค่าการหดตัวของ Cable Sheath ที่ $115 \pm 1^{\circ}C$ และ $55 \pm 1^{\circ}C$ ความชื้น 85%	38
3.5 ค่าแรงดึง (Tensile) ของ Steel Wire.....	42
3.6 ค่าการรับแรงดึง (Tensile) ของ Bare Fiber แต่ละเส้นที่ความเร็วต่างๆ.....	43
3.7 ค่าการรับแรงดัน (Pressure) ของเส้นใยแก้วนำแสง 12 Cores และ 1 Core.....	45
4.1 ค่าการจับยึด (Friction) ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับซิลิโคนและอะคริลิคพอลิเมอร์.....	58
5.1 Bending Loss ถาดต้นแบบที่ความยาวคลื่น 1310 nm และ 1550 nm	77
5.2 สรุปผลการทดลองนำถาดฯ แบบใหม่ติดตั้งแบบเดิมกับโครงข่ายที่ใช้งานเดิม	79
5.3 สรุปผลการทดลองนำถาดฯ แบบใหม่ติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service กับ โครงข่ายใหม่	81
5.4 สรุปผลการทดลองนำถาดฯ แบบใหม่ติดตั้งด้วยวิธีการใหม่กับโครงข่ายใหม่	84

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดง Electromagnetic Spectrum	5
2.2 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง.....	8
2.3 Bandwidth ของเส้นใยแก้วนำแสง	9
2.4 แสดงแถบ Window บริเวณสำหรับส่งข้อมูลใน Fiber	10
2.5 กฎของสเนล (Snell's Law)	10
2.6 แสดงมุมนิวเมอริกัลอเปอร์เจอร์ (Numerical Aperture)	11
2.7 แสดง Index Profile จาก Core ไปหา Cladding คล้ายขั้นบันไดของ SI	12
2.8 Index Profile แสงหักเหทีละน้อยภายใน Core และสะท้อนบริเวณ Cladding ของ GI ...	13
2.9 แสดง Index ของ Single Mode Optical Fiber	14
2.10 แสดง Index ของ Multi Mode Optical Fiber	14
2.11 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแนวตรง	17
2.12 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอ	18
2.13 แสดง Index Profile ของเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละชนิด	19
2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ Critical Radius $\phi_{Core}=8.6\mu m$	20
2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ Critical Radius $\phi_{Core}=9.5\mu m$	21
3.1 อุปกรณ์ Modem และ Distribution Box ในชุมสายคีรีมาศ จุดที่วัดค่า Loss	23
3.2 แสดงกราฟและตารางผลการวัดค่า Loss ด้วยเครื่อง OTDR ณ ชุมสายคีรีมาศ	23
3.3 หัวต่อที่ 2 ลักษณะ Service Loop และสภาพเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลื่อนตัวในหัวต่อ.....	24
3.4 แสดงหัวต่อที่เอาอุปกรณ์ฯ ออก ยึด Protective Sleeve กลางหัวต่อชั่วคราวด้วย Tape ...	24
3.5 หัวต่อที่ 6 ลักษณะ Service Loop และสภาพเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลื่อนตัวในหัวต่อ.....	25
3.6 หน้าโรงงานบรรจุแก๊ส ลักษณะ Service Loop และสภาพเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อ ...	26
3.7 สภาพเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อหน้าโรงงานสุรา	26
3.8 ลักษณะการ Loop และผังการติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service หน้าโรงงานสุรา	27
3.9 สภาพเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อหน้าโรงแรมเฟลิกซ์	27
3.10 สภาพเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อของ Route ชุมสายสารภี.....	28
3.11 ลักษณะ Service Loop ของจังหวัดเชียงใหม่จะเอาสายมา Loop รวมกันด้านเดียว	29
3.12 Service Loop ก่อนปลดลงมาและสภาพเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลื่อนตัวในหัวต่อ.....	29
3.13 Distribution Box ในหอดูดาวและ Fix Loop ภายนอกก่อนเข้าอาคาร.....	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 แสดงก่อนแก้ไขหัวต่อที่เส้นใยแก้วนำแสงขาด.....	30
3.15 แสดงหลังแก้ไขหัวต่อที่เส้นใยแก้วนำแสงขาด.....	31
3.16 Link ระหว่างชุมสายเมื่อสุ่มเปิดหัวต่อพบเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลื่อนตัวภายใน	32
3.17 Flowchart วิเคราะห์ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในสาย OFC สำหรับ Access Service	33
3.18 แสดง Cross-Section (A) Optical Cable และ (B) OFC สำหรับ Access Service	33
3.19 แสดงตัวอย่างสาย (A) Optical Cable และ (B) OFC สำหรับ Access Service	34
3.20 ตัวอย่างสาย OFC สำหรับ Access Service ทุกขนาดที่สุ่มทดลองวัสดุ	35
3.21 เครื่องมือวิเคราะห์ Thermal Analysis และ X-ray Fluorescence Analysis	35
3.22 เครื่องมือวิเคราะห์ FT-IR และผลการวิเคราะห์	35
3.23 ตู้ Oven และ Temperature & Humidity Chamber ที่ทดลอง Shrink back	37
3.24 ตัวอย่างหลังผ่านการทดลอง Shrink back	37
3.25 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบ Non-Newtonian Thixotropic	39
3.26 Fiber Access lengths ใน Loose Tube และสภาวะต่างๆ ของเส้นใยแก้วนำแสง	40
3.27 แสดงโครงสร้าง Access length เส้นใยแก้วนำแสง ใน Loose Tube	40
3.28 ทดลอง Vibration สาย OFC สำหรับ Access Service และสาย Optical Cable	41
3.29 ทดลองแรงดึง (Tensile) ของ Steel Wire และ Bare Fiber	42
3.30 กราฟแสดงค่าการรับแรงดึง (Tensile) เฉลี่ยของ Bare Fiber	43
3.31 จำลองแรงเค้นที่เกิดกับเส้นใยแก้วนำแสง ใน Loose Tube	44
3.32 หาค่าแรงเค้นสูงสุดของเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยเครื่องชั่งละเอียด	45
3.33 ทดลอง ค่า Friction ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง กับ Loose Tube	46
3.34 กราฟค่า Friction แนวตรงของสาย Optical Cable และสาย OFC สำหรับ Access Service.....	47
3.35 กราฟค่า Friction สาย OFC สำหรับ Access Service จำนวน Loop 7 10 15 และ 20 รอบ	47
3.36 สรุปภาพรวมกราฟค่า Friction ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง	48
3.37 แสดงเส้นใยแก้วนำแสงใน Loose Tube อยู่ในตำแหน่งเอียง ขอบนอกและขอบใน ...	48
3.38 กริด Cable Sheath คุณลักษณะเส้นใยแก้วนำแสง ภายใน Loose Tube	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.39 ทดลองคลี่ Loop เพื่อดูค่า Friction ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง กับ Loose Tube	49
3.40 เส้นใยแก้วนำแสง ที่เคลื่อนออกจาก Loose Tube เมื่อ Loop สาย	50
3.41 แสดง Geography ของ Bare Fiber	50
3.42 เครื่องมือวิเคราะห์ Mode Field Diameter และ โครงสร้าง Geography	51
3.43 ผลการวิเคราะห์ Mode Field Diameter และ โครงสร้าง Geography	51
3.44 กราฟแสดงค่า Fiber Strain และ Stress และ Chromatic Dispersion	52
3.45 กราฟแสดง Chromatic Dispersion ตรวจสอบความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง	53
3.46 Messenger wire ผลิตจาก Galvanized Steel เดี่ยวเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 mm	53
3.47 Messenger wire ผลิตจาก Galvanized Steel 7 เส้นตีเกลียว 7/1.32 mm.....	54
3.48 Messenger wire 7 เส้นตีเกลียวมีปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลื่อนตัวในหัวต่อ เหมือนกัน	54
4.1 รูปแบบ Lock เส้นใยแก้วนำแสงกับ Loose Tube ด้วยสารเคมี	56
4.2 แสดง (A) สารอะคริลิกพอลิเมอร์และ (B) สารซิลิโคน	57
4.3 เตรียมตัวอย่างทดลองการเกาะยึดของซิลิโคนและอะคริลิกพอลิเมอร์กับ เส้นใยแก้วนำแสง.....	57
4.4 ตัวอย่างทดลองการเกาะยึดของซิลิโคนและอะคริลิกพอลิเมอร์กับเส้นใยแก้วนำแสง	57
4.5 ทดลองการเกาะยึดของสารซิลิโคนและอะคริลิกพอลิเมอร์กับเส้นใยแก้ว	58
4.6 แสดงค่าการจับยึด (Friction) สารซิลิโคนและอะคริลิกพอลิเมอร์.....	58
4.7 ทดลองจับยึดเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อ	59
4.8 ภูมิหลังสิทธิบัตรอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีอยู่เดิม	60
4.9 อุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงเดิม ไม่สามารถรองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวได้	61
4.10 จำลองเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงในทิศทางต่างๆ	61
4.11 จำลองเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในหัวต่อด้านแบบที่อุปกรณ์ทรงกลม	62
4.12 ภาครอบรับเส้นใยแก้วนำแสงที่ปรับปรุงใหม่	62
4.13 ภาฯ ใช้สลักยางบังคับเส้นใยแก้วอยู่ในวงกลม โดยตัดแปลงจากภาฯที่ใช้งานเดิม	63
4.14 ภาฯ ใช้แผ่นยางบังคับเส้นใยแก้วอยู่ในวงกลม โดยตัดแปลงจากภาฯที่ใช้งานเดิม	63
4.15 จำลองเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในภาฯทรงกลมต่อเนื่องและขอบสลักกลม	64
4.16 เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube ในภาฯที่ไม่มีแกนกลาง	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 หัวต่อภายนอกที่ใช้งานซึ่งยังไม่ได้ประกอบอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสง	65
4.18 อาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบที่ผลิตตามแนวคิด	66
4.19 อาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบ ที่มีสัณวงกลมต่อเนื่อง.....	68
4.20 อาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบ ที่มีสัณวงกลมไม่ต่อเนื่อง.....	68
4.21 ทดลองติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงในอาคาร ต้นแบบสัณวงกลมต่อเนื่อง.....	68
4.22 ทดลองติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงในอาคาร ต้นแบบสัณวงกลมไม่ต่อเนื่อง	69
4.23 แบบอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงสัณวงกลมแบบไม่ต่อเนื่องที่จะผลิตด้วยวิธีฉีด โมล	70
4.24 อาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่ผลิตด้วย โมล	71
4.25 อาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่ตัดต่อและติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงพร้อมใช้งาน	71
5.1 ทดสอบแรงดึง (Tensile) ของเส้นใยแก้วนำแสงให้มีค่าแรงดึงมาตรฐานเดียวกัน.....	73
5.2 ทดลอง Bending Loss อาคารต้นแบบในห้องปฏิบัติการ.....	74
5.3 ต้นแบบอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีสัณวงกลมแบบต่อเนื่อง	75
5.4 ต้นแบบอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีสัณวงกลมแบบไม่ต่อเนื่อง	76
5.5 ทดลองให้ผู้ปฏิบัติงานตัดต่อและติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงกับอาคาร	77
5.6 แสดงเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในหัวต่อที่เอาอาคาร ออกก่อนและหลัง	78
5.7 แนวแขนสาย OFC สำหรับ Access Service ข้ามแม่น้ำกาญจนบุรี.....	79
5.8 แขนสาย OFC สำหรับ Access Service ข้ามแม่น้ำกาญจนบุรี.....	80
5.9 แขนสาย OFC สำหรับ Access Service ทิ้งไว้ 3 วันเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกมา	80
5.10 แบบแปลนการแขวนสาย OFC สำหรับ Access Service ด้วยวิธีการใหม่.....	82
5.11 Fix Loop ที่เพิ่มในการแขวนสาย OFC สำหรับ Access Service.....	82
5.12 Fix Loop ที่เพิ่มในการแขวนสาย OFC สำหรับ Access Service ก่อนถึงหัวต่อ.....	83
5.13 Service Loop ที่หัวต่อตามปกติ.....	83

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แนวโน้มการติดต่อสื่อสารผ่านโครงข่ายโทรคมนาคมนับวันจะมีความสำคัญมากยิ่งขึ้น เป็นผลให้เกิดความต้องการในการใช้แบนด์วิดท์ (Bandwidth) เพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว โครงข่ายทางแสง (Optical Network) จึงเป็นโครงข่ายที่สนองและรองรับความต้องการดังกล่าวได้ แสงซึ่งมีความถี่สูง (10^{14} Hz) สามารถเดินทางผ่านตัวกลางเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) ที่สร้างจากแก้วซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า สนามพลังงานจากภายนอกจะไม่รบกวนหรือดูดซับเข้ามาในโครงข่ายทางแสง แก้วเป็นวัสดุที่มีผลต่อการลดทอนน้อยมากและเป็นอิสระจากการมอดูเลตทางความถี่ เมื่อเปรียบเทียบกับเคเบิลชนิดทองแดงแล้วจะมีความสามารถในการรับส่งเหมือนกัน แต่เส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่า ปัจจุบัน (พ.ศ. 2549) สามารถรองรับการรับส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงถึง 3.2 Tbps [1-2] โดยเฉพาะเทคโนโลยี DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) ที่เพิ่มความจุของโครงข่ายโดยวิธีมัลติเพล็กซ์ทางความยาวคลื่น สามารถตอบสนองความต้องการใช้งานเครือข่ายที่มีความรวดเร็วและความจุสูงได้ แต่โครงข่ายทางแสงซึ่งสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงก็มีข้อจำกัดเนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงผลิตจากแก้ว ดังนั้นจึงมีความเปราะมาก การวางเคเบิล การเชื่อมสาย ตลอดจนการติดตั้งโครงข่ายต้องใช้ความประณีตและความสะอาดเป็นพิเศษ โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความเปราะจึงไม่สามารถโค้งงอ (Bending) ได้มากกว่ามาตรฐานที่กำหนดเพราะจะทำให้เส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหายได้ รัศมีของการโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสงมากกว่า Critical Radius จะทำให้ลำแสงทะลุออกด้านข้าง เกิด Loss ณ จุดโค้งงอดังกล่าวเรียกว่า Bending Loss ทั้งนี้แสงที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสง จะส่งผ่านที่ Core ประมาณร้อยละ 80 และส่งผ่านที่ Cladding ประมาณร้อยละ 20

จากเหตุผลข้างต้นบริษัทผู้ให้บริการโทรคมนาคมชั้นนำ เช่น บมจ.กสท บมจ.ทีโอที ผู้ให้บริการเคเบิลทีวีท้องถิ่น และผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น ได้วางโครงข่ายทางแสง (Optical Network) เป็นโครงข่ายหลักหรือโครงข่ายแบ็กโบน (Backbone Network) เพื่อรองรับการรับส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูง โดยเฉพาะ บมจ. ทีโอที หรือ บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ได้วางโครงข่ายทางแสงแทนโครงข่ายไมโครเวฟจำนวน 149 เส้นทาง ระยะทางประมาณ 9,800,000 เมตร ด้วยสายเคเบิลออฟติก (Optical Cable) จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 60 ถึง 216 Cores เชื่อมต่อระหว่างจังหวัดหรือส่วนกลางสู่ภูมิภาค [3-4] และภายในจังหวัดจะวางโครงข่ายท้องถิ่นด้วยจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงเพียง 2 ถึง 6 Cores จากจำนวนเส้นใยแก้วนำแสง ที่ใช้งานในโครงข่ายท้องถิ่น

เพียง 2 ถึง 6 Cores จึงไม่คุ้มในการลงทุนที่จะวางโครงข่ายด้วยสาย Optical Cable ดังนั้น บมจ.ทีโอที ได้ทดลองจัดซื้อสาย OFC สำหรับ Access Service [5] ซึ่งเป็นสายชนิดใหม่มีจำนวน เส้นใยแก้วนำแสง 4 ถึง 12 Cores มาทดลองใช้งานแทนสาย Optical Cable เพื่อลดต้นทุน ผลการ ทดลองใช้งาน พบว่าสามารถขยายโครงข่ายทางแสงเพื่อรองรับการให้บริการข้อมูลความเร็วสูงได้ อย่างรวดเร็ว และลดต้นทุนในการดำเนินงานได้มากกว่าร้อยละ 30 จากเหตุผลข้างต้น บมจ. ทีโอที จึงได้จัดซื้อสาย OFC สำหรับ Access Service เพิ่มเติมอีกมากกว่า 2,000,000 เมตร มาใช้งานใน องค์กร (พ.ศ. 2546)

หลังติดตั้งใช้งานสาย OFC สำหรับ Access Service ผ่านไปประมาณปีเศษ เริ่มมีผู้แจ้งปัญหาเข้า มาอย่างต่อเนื่อง ระบุโครงข่ายที่นำสาย OFC สำหรับ Access Service ไปใช้งาน มี Loss เพิ่มขึ้น โดยไม่ทราบสาเหตุ บางโครงข่ายมีปัญหารุนแรงถึงขั้น Network นั้นๆ ล่ม ซึ่งเป็นปัญหาที่ กระทบต่อผู้ให้บริการโทรคมนาคมและโรงงานผู้ผลิตสาย Optical Fiber ในประเทศไทยที่ เกี่ยวข้องกับสาย OFC สำหรับ Access Service เป็นวงกว้าง

จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยได้ออกไปสำรวจโครงข่ายที่นำสาย OFC สำหรับ Access Service ไปใช้ งาน เพื่อรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา พบว่าเส้นใยแก้วนำแสงของสาย OFC สำหรับ Access Service มีการเคลื่อนตัวออกจากหลอดหลวม (Loose Tube) เป็นเหตุให้เส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอ ภายในจุดต่อเชื่อมหรือหัวต่อ (Closure) เกิด Bending Loss บางโครงข่ายที่สำรวจพบเส้นใยแก้วนำ แสงเคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube จนเส้นใยแก้วนำแสงขาด ซึ่งปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อน ตัวไม่เกิดกับสาย Optical Cable

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อสำรวจและหาแนวทางแก้ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสง ของสาย OFC สำหรับ Access Service เคลื่อนตัวภายในจุดต่อเชื่อมหรือหัวต่อ จนเกิด Bending Loss ทั้งในโครงข่ายสายที่ติดตั้งใช้งานไปแล้วและโครงข่ายที่จะติดตั้งใหม่ โดยวิธีการดำเนินการ แก้ไขตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องมีความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิคและธุรกิจ กล่าวคือต้นทุนในการ ดำเนินงานต้องต่ำ และสามารถวิเคราะห์จุดคุ้มทุนได้ชัดเจนเพื่อรองรับการแข่งขันการเปิดเสรี โทรคมนาคม

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สาย Optical Cable และสาย OFC สำหรับ Access Service ใช้เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) หรือ Bare Fiber และวัสดุในการผลิตเหมือนกันทุกอย่าง กล่าวคือวัสดุชั้นนอกสุดห่อหุ้ม (Jacket) ด้วย HDPE (High Density Polyethylene) ชั้นถัดมาห่อด้วย Aramid Yarn แกนกลางมี Loose Tube

ผลิตจาก PBT (Polybutylene Terephthalate) ภายใน Loose Tube วาง Bare Fiber ซึ่งยาวกว่า Loose Tube (Access length) 0.1 - 0.3 % เพื่อรองรับการโค้งงอในการติดตั้งใช้งาน และมี Thixotropic Compound กั้นกลางระหว่าง Loose Tube กับเส้น Fiber ป้องกัน Bare Fiber ชำรุดเสียหาย

วัสดุในการผลิตสาย Optical Cable และสาย OFC สำหรับ Access Service เหมือนกันแต่ โครงสร้างแตกต่างกัน กล่าวคือสาย Optical Cable มีโครงสร้างแบบ Twist Loose Tube ขณะที่สาย OFC สำหรับ Access Service มีโครงสร้างแบบ Mono Loose Tube จากโครงสร้างที่แตกต่างกันอาจ ทำให้แรง จับยึด (Friction) ของเส้นใยแก้วนำแสงใน Loose Tube ของสายทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกัน ด้วย เนื่องจากปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เกิดเฉพาะกับสาย OFC สำหรับ Access Service เท่านั้น

1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

สาย OFC สำหรับ Access Service มีปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวภายในจุดต่อเชื่อมหรือ หัวต่อ จนเกิด Bending Loss ของเส้นใยแก้วนำแสง พบว่ารัศมีการ โค้งงอจะเปลี่ยนตามอัตราการ เคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสง และค่า Critical Radius เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ $1/f$ ดังนั้นเมื่อ ความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ Critical Radius ลดลง เส้นใยแก้วนำแสงสามารถโค้งงอมากขึ้น โดยไม่เกิด Bending Loss ผู้วิจัยได้ศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่างานวิจัยส่วนมากศึกษา Bending Loss ของ 1) เส้นใยแก้วนำแสงที่รัศมีการ โค้งงอคงที่ หรือ 2) เปลี่ยนค่ารัศมีการ โค้งงอแต่ความยาวคลื่นคงที่ เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง [6-8] ซึ่งไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงใน โครงข่ายสาย OFC สำหรับ Access Service ที่ใช้งานหลายย่านความยาวคลื่นพร้อมกันในเส้นใย แก้วนำแสงเพียงเส้นเดียว และรัศมีการ โค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสงจะค่อย ๆ มีรัศมีลดลง ขณะที่ ค่า Bending Loss เพิ่มขึ้น

สาย OFC สำหรับ Access Service ตามมาตรฐาน ITU-T G.652 D [9] ซึ่งติดตั้งในโครงข่าย ท้องถิ่นด้วยจำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 2 ถึง 6 Cores ระบุ Macro Bending Loss ที่รัศมี (Radius) 30 mm สัญญาณลดทอน (Loss) 0.05 dB at 1625 nm แต่สาย OFC สำหรับ Access Service ที่ บมจ.ทีโอที นำติดตั้งใช้งาน ต้องรองรับความยาวคลื่นหรือความถี่แสงหลายความถี่ เช่น โครงข่าย DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) หรือโครงข่าย FTTH (Fiber to the Home) เป็นต้น

โครงข่าย FTTH ที่ใช้เทคโนโลยี GPON (Gigabit Passive Optical Network) โครงข่าย ประกอบด้วยอุปกรณ์ OLT (Optical Line Terminal) ซึ่งติดตั้งที่ชุมสายหรือผู้ให้บริการ และอุปกรณ์ ONU (Optical Network Unit) ซึ่งติดตั้งที่บ้านหรือผู้รับบริการ อุปกรณ์ OLT และ ONU ต่อเชื่อมถึง กันด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ชนิด Single Mode เพียงเส้นเดียว ด้วยสัญญาณแสงถึง 3 ความยาวคลื่น โดยแยกเป็นจาก OLT มา ONU ส่ง 2 ความยาวคลื่น คือ 1490 nm (ส่ง Data และ Voice) กับ

1550 nm (ส่งสัญญาณ VDO) และจาก ONU มายัง OLT ส่งกลับเพียงความยาวคลื่นเดียว คือ 1310 nm ซึ่งส่งเฉพาะ Data และ Voice ย้อนกลับมาในเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียวกัน

กล่าวโดยสรุปก่อนศึกษาเพื่อแก้ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงของสาย OFC สำหรับ Access Service เคลื่อนตัว ต้องทราบพฤติกรรม Critical Radius ที่แต่ละรัศมีการโค้งงอของความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไป และข้อกำหนดการวางโครงข่ายท้องถิ่นด้วยสาย OFC สำหรับ Access Service

1.5 ขอบเขตการวิจัย

สำรวจและเก็บข้อมูลปัญหาสาย OFC สำหรับ Access Service เคลื่อนตัวจากโครงข่ายที่นำสาย OFC สำหรับ Access Service ไปใช้งาน เพื่อนำข้อมูลจากการสำรวจมาวิเคราะห์หาต้นเหตุของปัญหา ทดสอบวัสดุและโครงสร้างสาย OFC สำหรับ Access Service จำลองสภาวะการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงในสาย OFC สำหรับ Access Service จากพฤติกรรม Critical Radius ที่แต่ละรัศมีการโค้งงอของความยาวคลื่นต่างๆ เพื่อหาค่า Bending Loss ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ร่วมกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) นำข้อมูลที่สำรวจและผลการศึกษาข้างต้นมา ออกแบบอุปกรณ์ หรือแนะนำวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงของสาย OFC สำหรับ Access Service เคลื่อนตัว จากนั้นทดสอบอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการและภาคสนามกับโครงข่ายที่นำสาย OFC สำหรับ Access Service ไปใช้งาน

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

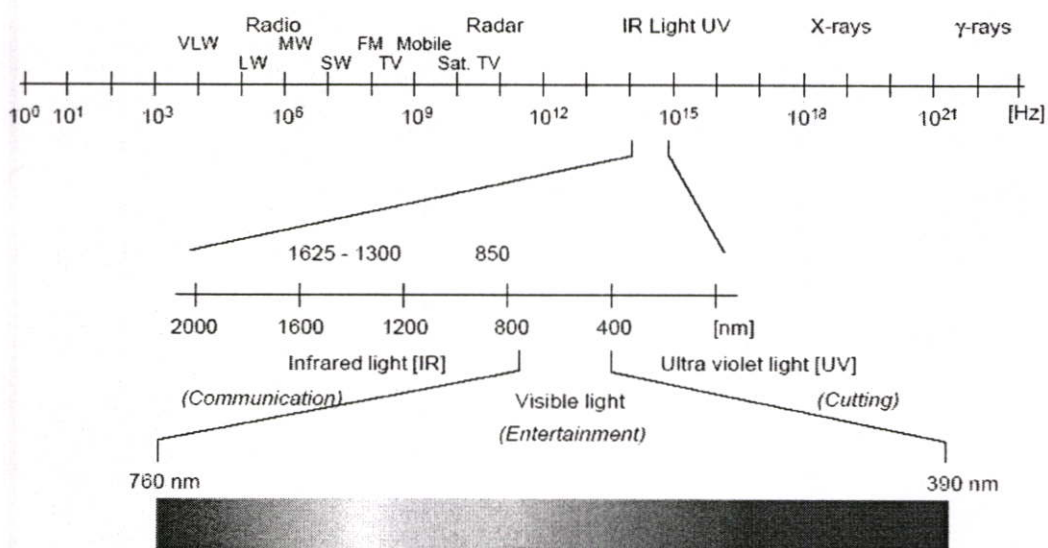
- 1) สำรวจและเก็บข้อมูลปัญหาสาย OFC สำหรับ Access Service เคลื่อนตัวจากภาคสนาม
- 2) วิเคราะห์และทดสอบวัสดุและ โครงสร้างสาย OFC สำหรับ Access Service
- 3) จำลองสภาวะการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงในสาย OFC สำหรับ Access Service
- 4) ศึกษาพฤติกรรม Critical Radius ที่แต่ละรัศมีการโค้งงอของความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไป เพื่อหาค่ารัศมีที่กระทบต่อเส้นใยแก้วนำแสงของสาย OFC สำหรับ Access Service
- 5) ออกแบบอุปกรณ์หรือวิธีการอื่นใด เพื่อแก้ไขปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงของสาย OFC สำหรับ Access Service เคลื่อนตัว
- 6) ทดสอบอุปกรณ์หรือวิธีการอื่นใด ที่ออกแบบข้างต้นในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม
- 7) สรุปผล

บทที่ 2

เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)

2.1 ประวัติเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)

นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ จอนทินดัล (John Tyndall) พบว่าแสงสามารถส่งผ่านไปตามลำน้ำได้เมื่อ พ.ศ. 2413 และในอีก 10 ปีถัดมา อเล็กซานเดอร์ เกรแฮมเบลล์ (Alexandre Graham Bell) ได้ประดิษฐ์ระบบโทรศัพท์ส่งข้อมูลด้วยแสงได้เป็นครั้งแรก จนถึงปี พ.ศ. 2509 นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ชื่อ ฮอคแคม (G.A. Hockham) และเกา (C.C. Kao) ได้ทำการศึกษาวิจัยพบว่าตัวกลางที่ทำด้วยใยแก้วนำแสงสามารถส่งผ่านแสงได้ 1 % ของแสงอินพุตได้ระยะทาง 1,000 m และปี พ.ศ. 2513 บริษัทคอร์นิงของอเมริกา ได้ประสบความสำเร็จในการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงจากเนื้อแก้วบริสุทธิ์ ที่สามารถนำมาใช้ในการสื่อสารข้อมูลเชิงพาณิชย์ได้เป็นรายแรกของโลก



รูปที่ 2.1 แสดง Electromagnetic Spectrum

จากที่บริษัทคอร์นิงประยุกต์นำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้ในเชิงพาณิชย์นับเป็นจุดพลิกผันครั้งสำคัญของโครงข่ายโทรคมนาคม เส้นใยแก้วนำแสงสามารถสนองความต้องการโครงข่ายโทรคมนาคม ซึ่งมีปริมาณทราฟฟิกสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น ทราฟฟิกของการบริการอินเทอร์เน็ต ซึ่งต้องการความกว้างของแบนด์วิธที่สามารถรองรับบริการต่างๆ เช่น Video on Demand, Movie on Demand, Music on Demand เป็นต้น ดังนั้นโครงข่ายหลักหรือโครงข่ายแบ็กโบน (Backbone

Network) จำเป็นต้องใช้โครงข่ายแสง (Optical Network) เพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของความต้องการด้านแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้น โดยไม่มีขีดจำกัด

ข้อเด่นของการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

- 1) ให้แบนด์วิดท์ที่กว้าง กล่าวคือการใช้คลื่นพาห้ที่มีความถี่สูงในระบบสื่อสารทำให้แบนด์วิดท์ของสัญญาณกว้างมากขึ้น การสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงเมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ของคลื่นวิทยุพบว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณทางแสงกว้างขึ้นถึงประมาณ 1 ล้านเท่า
- 2) มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เส้นใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวสามารถแทนคู่สายทองแดงขนาดใหญ่ได้ เช่น สายเคเบิลโทรศัพท์ที่มีขนาด 1,000 คู่สาย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7-10 เซนติเมตร สามารถใช้สายเคเบิลใยแก้วเพียงเส้นเดียวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ทดแทนได้ในการส่งช่องสัญญาณจำนวนที่เท่ากัน
- 3) การสูญเสียต่ำ เส้นใยแก้วนำแสงมีการสูญเสียเนื่องจากการลดทอนน้อยกว่าสายคู่ตีเกลียว (Twisted pair) หรือสายหุ้มฉนวน (Coaxial)
- 4) ไม่ถูกรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงไม่ได้สร้างจากเส้นลวดโลหะเหมือนสายเคเบิลทองแดง แต่สร้างจากแก้วหรือซิลิกาซึ่งเป็นฉนวน จึงไม่ถูกรบกวนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และไม่ต้องใช้เทคนิคป้องกัน ด้วยวิธีการชิลด์ (Shield) ที่มีราคาแพงและยุ่งยากเพื่อป้องกันการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- 5) ปราศจาก Crosstalk เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่มีผลต่อระบบนี้ และระบบยังไม่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนระบบอื่นๆ เส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้งานด้วยกันจึงไม่รบกวนกันและกัน
- 6) คงทนและไม่ถูกรบกวนโดยสภาพดินฟ้าอากาศ แก้วหรือซิลิกามีความแข็งแรงกว่าโลหะถึง 20 เท่า โดยที่ซิลิกาหรือแก้วต่างก็เป็นธาตุเนื้อแข็ง ดังนั้นสภาพแวดล้อมจึงมีผลน้อยกว่าการใช้งานด้วยสายที่ทำด้วยโลหะ
- 7) มีความปลอดภัย ในระบบสายเคเบิลที่ใช้โลหะจำเป็นต้องป้องกันอันตรายให้กับอุปกรณ์หรือมนุษย์ จากไฟฟ้าลัดวงจรระหว่างสายหรือระหว่างสายกับดิน ซึ่งเมื่อใช้เส้นใยแก้วนำแสงแล้วจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งเหล่านี้
- 8) ราคาถูก ราคาของเส้นใยแก้วนำแสงในปัจจุบันมีราคาต่ำลงเรื่อยๆ ในขณะที่ราคาของสายโลหะมีราคาเพิ่มขึ้น ในทางปฏิบัติทุกวันนี้ราคาของการออกแบบระบบที่ใช้ใยแก้วนำแสงมีราคาต่ำกว่าระบบแบบที่ใช้โลหะ
- 9) ทนความร้อนได้สูง เส้นใยแก้วนำแสงผลิตขึ้นมาจากสารจำพวกแก้วซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงมากถึง $1,500^{\circ}\text{C}$ จึงสามารถนำไปใช้งานในบริเวณที่มีความร้อนสูงได้

ข้อดีของการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

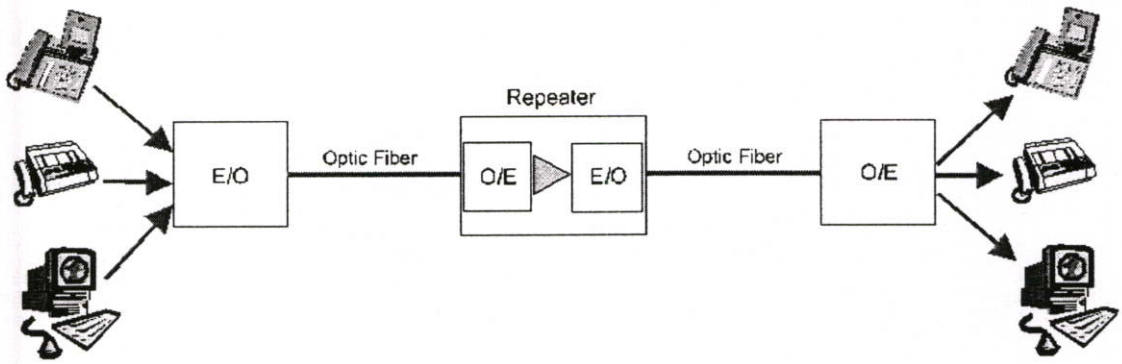
- 1) เพราะบาง เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงผลิตจากแก้ว จึงมีความเปราะบางมาก จึงต้องมีการระมัดระวังเป็นพิเศษไม่ว่าจะในขณะขบวนการผลิตหรือการใช้งาน
- 2) ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการติดตั้ง เนื่องจากการวางสายเคเบิลใยแก้วการตัดต่อ (Fusion) ตลอดจนการติดตั้งต่างๆ จะต้องใช้ความประณีตและความสะอาดเป็นพิเศษ นอกจากนี้ยังใช้อุปกรณ์เฉพาะอย่างซึ่งยังมีราคาค่อนข้างแพง
- 3) เกิดการลดทอนจากการโค้งงอ (Bending Loss) ในการวางสายเคเบิลใยแก้วไม่สามารถที่จะโค้งงอเคเบิลได้มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ เนื่องจากจะทำให้แสงทะลุออกไปนอกเส้นใยแก้วได้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสายทองแดงกับเส้นใยแก้วนำแสง

คุณสมบัติ	สายทองแดง	เส้นใยแก้วนำแสง
1) Bandwidth	Average	Very high
2) Attenuation (loss)	High	Low
3) Security	ต้องมีการตรวจสอบ	ปลอดภัยจากการขโมยข้อมูล
4) RFI + EMI protection	Poor	Excellent
5) Crosstalk	ขึ้นอยู่กับกรอกแบบเคเบิล	ไม่มี crosstalk
6) Material	มีจำนวนจำกัด ราคาสูงขึ้น	Silicon ราคาต่ำลง
7) Weight/size	น้ำหนักมาก ขนาดใหญ่	เบามาก ขนาดเล็ก
8) Handling	ไม่สะดวก ใช้พื้นที่มาก	สะดวก ประหยัดพื้นที่

2.2 ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง จะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ 3 ส่วนด้วยกันคือ 1) อุปกรณ์ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง (Electro-Optical Converter: E/O) 2) เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) และ 3) อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า (Opto-Electrical Converter: O/E)



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

2.2.1 Electro-Optical Converter (E/O)

Electro-Optical Converter (E/O) จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง ซึ่งโดยปกติแล้วในระบบการสื่อสารทางแสง จะใช้ LED หรือ เลเซอร์ไดโอด เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสง โดยความเข้มของแสงจะเปลี่ยนแปลงตามกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปเส้นใยแก้วนำแสง การสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง จะใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลางในการนำสัญญาณแสงจากต้นทาง ไปสู่ด้านรับที่ปลายทางซึ่งเส้นใยแก้วนี้ จะผลิตจากแก้วที่นำแสงได้เป็นอย่างดี

2.2.2 Opto-Electric Converter (O/E)

Opto-Electric Converter (O/E) จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงที่ส่งผ่านมาทางเส้นใยแก้วนำแสง ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เหมือนเดิม ซึ่งในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง จะใช้ PIN diode และ APD เป็นอุปกรณ์รับแสง โดยที่อุปกรณ์ทั้งสองสามารถกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงที่ได้รับ

2.2.3 เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)

เส้นใยแก้วนำแสงทำจากซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ แต่มีเส้นใยนำแสงบางแบบทำจากโพลีเมอร์หรือวัสดุสังเคราะห์อื่น ๆ แต่ก็ใช้งานสำหรับระยะทางสั้นเท่านั้นเพราะมีการลดทอน (Loss) สูง ส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสงประกอบด้วย Core และ Cladding โดยมีบัฟเฟอร์หุ้มรอบนอก ตัวอย่างเช่น เคเบิลชนิด Single-mode ขนาด $9/125 \mu\text{m}$ หมายถึง $9 \mu\text{m}$ เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core และ $125 \mu\text{m}$ เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของ Cladding ในส่วนของบัฟเฟอร์ก็จะหุ้มรอบเส้นใยแก้วนำแสงที่มีขนาด $9/125 \mu\text{m}$ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ $250 \mu\text{m}$

2.3 คุณสมบัติและชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)

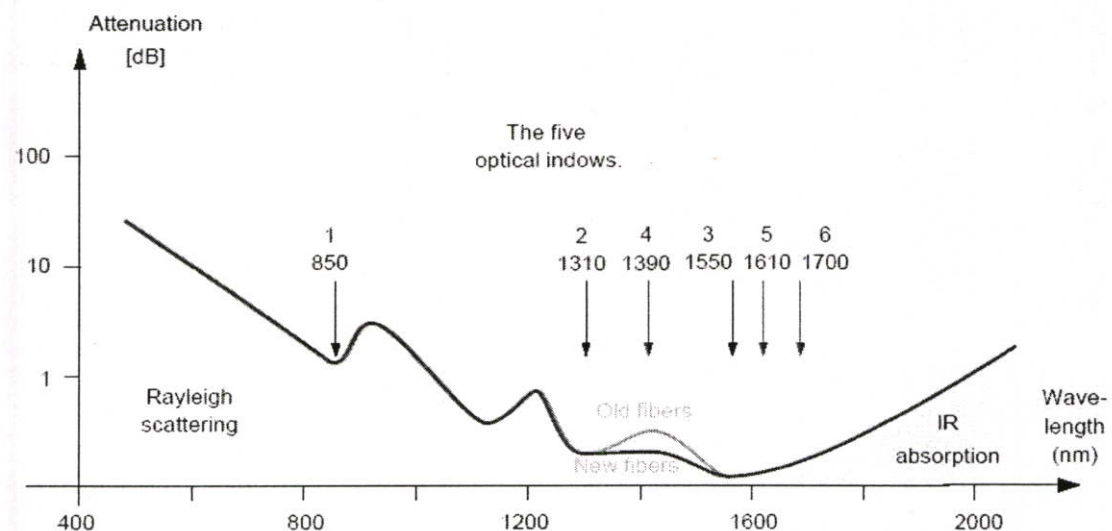
เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) มี Bandwidth ประมาณ 10 GHz [4] ระบบจึงมีความจุช่องสัญญาณสูงและปราศจาก Crosstalk สัญญาณแสงเดินทางในสุญญากาศด้วยความเร็วประมาณ $(C) 2.9979253 \times 10^8$ เมตร/วินาที หรือ 3×10^8 เมตร/วินาที ตามกฎของไอสแตร์ความเร็วแสงในการเดินทางผ่านตัวกลาง $(V) = C/n$ เมื่อ n คือค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) ของวัสดุตัวกลางที่แสงผ่าน ปกติแก้วที่ใช้ผลิตเส้นใยแก้วนำแสง มีค่าดัชนีหักเหประมาณ 1.5

$$n_{\text{glass}} \approx 1.5 \quad (2.1)$$

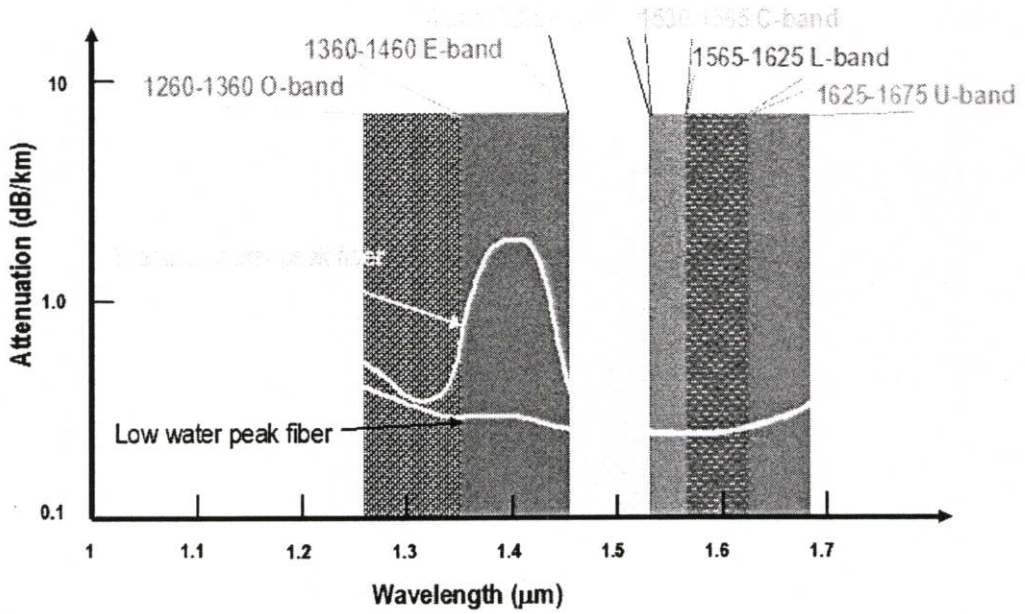
ดังนั้นความเร็วแสงในแก้ว

$$V_{\text{glass}} \approx \frac{300,000}{1.5} \approx 200,000,000 \text{ เมตร/วินาที}$$

การลดทอนของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ค่าลดทอนต่ำสุดใน Attenuation Curve อยู่ในช่วง 1310 nm และ 1550 nm ระยะความกว้าง 100 nm [9] โดยประมาณ บริเวณค่าดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า Window ซึ่งความถี่บริเวณใน Window นี้จะใช้สำหรับการส่งข้อมูล Fiber ในปัจจุบันนี้เส้นใยแก้วนำแสงตามมาตรฐานใหม่สามารถครอบคลุมหลาย Window ($1310/1390/1550/1610 \text{ nm}$) [9]



รูปที่ 2.3 Bandwidth ของเส้นใยแก้วนำแสง

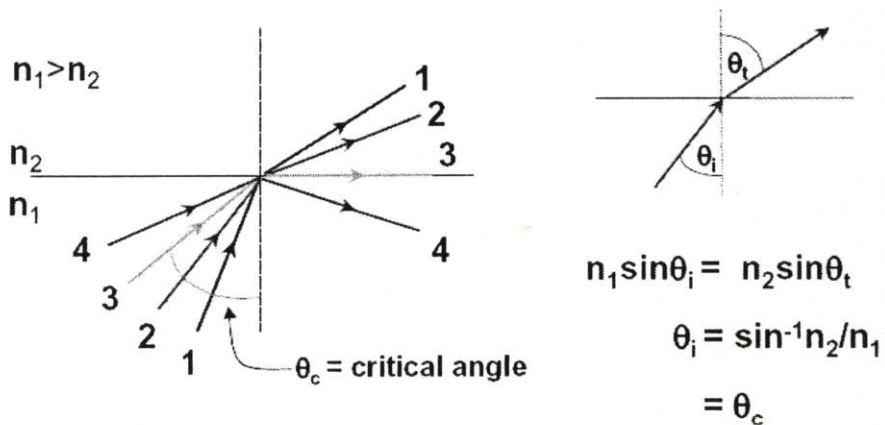


O = Original / E = Extended / S = Short / C = Conventional / L = Long/ U = Ultra-long

รูปที่ 2.4 แสดงแถบ Window บริเวณสำหรับส่งข้อมูลใน Fiber

2.3.1 กฎของสเนล (Snell's Law)

จากกฎของสเนลเมื่อแสงเคลื่อนจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงน้อยไปสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมากกว่า พบว่าลำแสงจะเบนเข้าหาเส้นปกติ และถ้าแสงทำมุม θ_c กับเส้นปกติ แล้วเกิดหักเหไปตามรอยต่อของตัวกลางทั้งสองชนิด หรือทำมุม 90° กับเส้นปกติ เราเรียกมุมนี้ว่ามุมวิกฤต θ_c (Critical Angle)



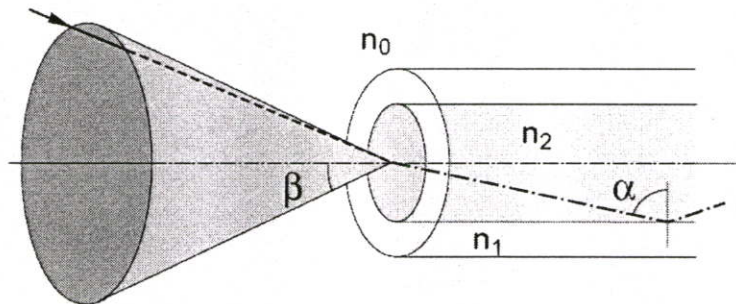
รูปที่ 2.5 กฎของสเนล (Snell's Law)

จากกฎของสเนล (Snell's Law)

$$\begin{aligned}
 n_1 \sin \theta_c &= n_2 \sin 90^\circ \\
 \sin \theta_c &= n_2 / n_1 \\
 \theta_c &= \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1}
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

2.3.2 นิวเมอริคัลแอปเจอร์เจอร์ (Numerical Aperture)

นิวเมอริคัลแอปเจอร์เจอร์ (Numerical Aperture) คือค่า Sine ของ Acceptance Angle เป็นตัวเลขที่บอกให้ทราบถึงเส้นใยแก้วนำแสง นั้นสามารถรับแสงที่ตกกระทบ Core เป็นมุมกว้างหรือมุมแคบเพียงใด ค่านิวเมอริคัลแอปเจอร์เจอร์ของเส้นใยแก้วนำแสง หากมีค่ามากจะมีผลให้การส่งสัญญาณแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 2.6 แสดงมุมนิวเมอริคัลแอปเจอร์เจอร์ (Numerical Aperture)

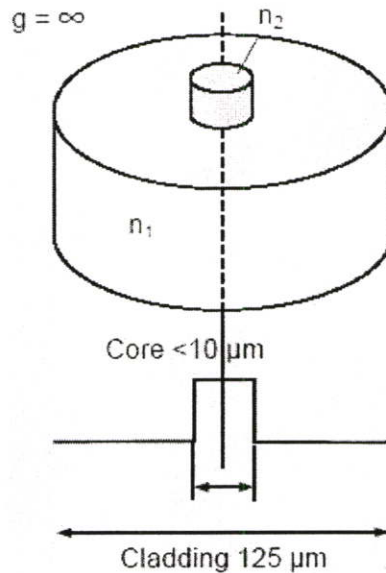
$$\begin{aligned}
 \text{Numerical Aperture (NA)} &= \sin \beta_{\max} \\
 \text{NA} &= \sqrt{n_1^2 - n_2^2}
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

2.3.3 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงสามารถที่จะแบ่งออกได้ตาม Refractive Index Profile [12] ได้ 2 ชนิด คือ 1) Step Index และ 2) Graded Index และแบ่งตาม Propagation Mode ได้อีก 2 ชนิด คือ 1) Single Mode และ 2) Multi Mode ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.3.3.1 Step Index (SI)

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะมีค่าดัชนีหักเหของแสง ของ Core และ Cladding ที่แตกต่างกัน โดยที่บริเวณ Core จะมีค่าดัชนีหักเหของแสงสูงกว่า Cladding เล็กน้อย และเมื่อพิจารณา Index Profile ของเส้นใยแสงชนิดนี้ การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหของแสงจาก Core ไปหา Cladding จะมีการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดคล้ายขั้นบันได จึงเรียกเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ว่า Step Index Fiber



รูปที่ 2.7 แสดง Index Profile จาก Core ไปหา Cladding คล้ายขั้นบันไดของ SI

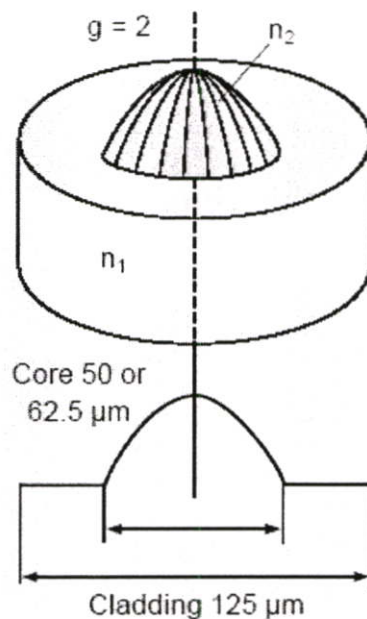
Step Index Fiber เมื่อนำมาใช้งานจะเป็นได้ทั้ง Single Mode และ Multi Mode โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core ที่แตกต่างกัน หากใช้เป็น Single Mode จะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core ประมาณ $10 \mu\text{m}$ แต่หากใช้เป็น Multi Mode เส้นผ่านศูนย์กลางของ Core ประมาณ $50 \mu\text{m}$ อย่างไรก็ตามหากใช้เป็น Multi Mode ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ Modal Dispersion เนื่องจากแสงมีการเคลื่อนที่หลายเส้นทาง แต่ละเส้นทางระยะทางไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้สัญญาณไปถึงปลายทางไม่พร้อมกัน การผิดเพี้ยน (Distortion) ของสัญญาณจึงเกิดขึ้น

2.3.3.2 Graded Index (GI)

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดปัญหา Modal Dispersion โดยทำให้ค่าดัชนีหักเหของแสงบริเวณ Core สูงกว่า Cladding เล็กน้อย ค่าดัชนีหักเหของแสงจะค่อย ๆ ลดลงจาก Core ไปหา Cladding เมื่อแสงเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ แสงจะมีการหักเหทีละน้อยภายใน

Core และมีการสะท้อนบริเวณ Cladding การหักเหและสะท้อนดังกล่าวอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของแสงที่ละน้อยนั้น จึงทำให้ดูเหมือนว่าแสงเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง

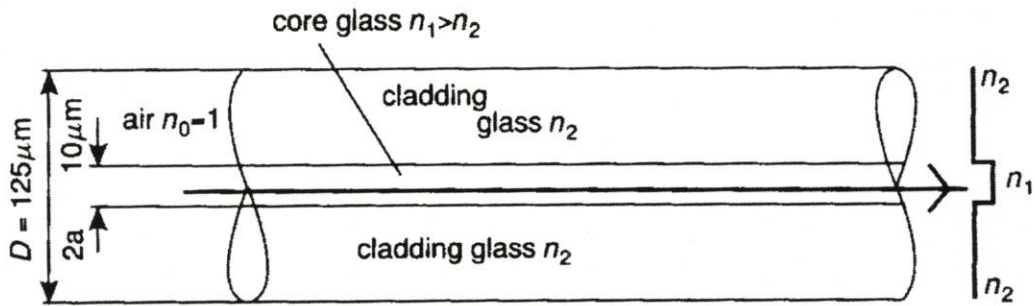
เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ใช้เป็น Multi Mode เท่านั้น การเคลื่อนที่ของแสงแต่ละเส้นทางใช้ระยะเวลาพอ ๆ กัน ถึงแม้ว่าระยะทางจะแตกต่างกันก็ตาม เนื่องจากแสงเดินทางสั้นที่สุดผ่านแกนกลางของ Core จะเคลื่อนที่ได้ช้าที่สุด และทำนองกลับกันแสงที่เดินทางไกลที่สุดซึ่งมีการสะท้อนกลับบริเวณ Cladding จะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากค่าดัชนีหักเหของแสงทำให้แสงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน ปัญหาเกี่ยวกับ Modal Dispersion จึงลดลง



รูปที่ 2.8 Index Profile แสงหักเหที่ละน้อยภายใน Core และสะท้อนบริเวณ Cladding ของ GI

2.3.3.3 Single Mode (SM)

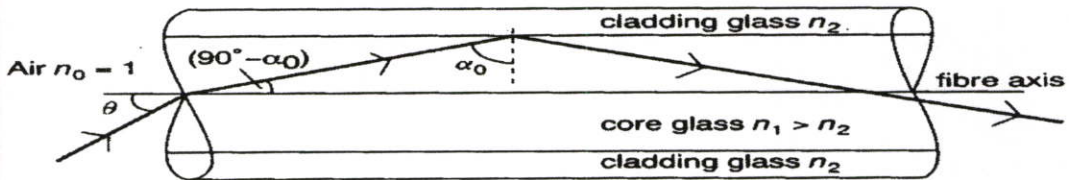
เส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียว (Single Mode Optical Fiber Core) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core ประมาณ $5-10 \mu\text{m}$ และ Cladding ประมาณ $125 \mu\text{m}$ ตามลำดับ ส่วนของ Core และ Cladding ที่มีดัชนีการหักเห (n) ที่ต่างกัน ลักษณะแบบนี้จะอนุญาตให้เฉพาะการแพร่กระจายแบบ Single Mode ผ่านไปได้เท่านั้น เส้นใยแก้วนำแสงแบบนี้จะมีการลดทอนค่ามี Dispersion น้อยมาก มีแบนด์วิดท์กว้างจึงไม่เกิดการกว้างขึ้นของพัลส์ (Pulse Broadening) และไม่เกิด Transit Time Differences



รูปที่ 2.9 แสดง Index ของ Single Mode Optical Fiber

2.3.3.4 Multi Mode (MM)

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้หลาย Mode เนื่องจาก Core มีขนาดโตกว่า มีใช้ทั้งแบบ Step Index และ Graded Index แต่แบบ Graded Index จะได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากสามารถลดปัญหา Dispersion ลงได้ เส้นใยแก้วนำแสงแบบ Multi Mode จะเหมาะสำหรับการสื่อสารระยะไม่ไกลมากนัก หรือกับระบบที่มี Transmission Speed ต่ำๆ เนื่องจากค่าใช้จ่ายถูกกว่า



รูปที่ 2.10 แสดง Index ของ Multi Mode Optical Fiber

Dispersion เป็นปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นในการเดินทางของแสงภายใน Core ของเส้นใยแก้วนำแสง คือรูปของสัญญาณที่ปลายทางเกิดผิดเพี้ยนจากสัญญาณที่ต้นทางโดยจะมีลักษณะกว้างออก Dispersion ที่เกิดกับเส้นใยแก้วนำแสงมีอยู่ 2 ชนิด คือ Modal Dispersion และ Chromatic Dispersion

2.3.4 Cut-off Wavelength

สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Single Mode ปัจจัยที่ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงมีสภาพเป็น Single Mode ได้ นอกจากโครงสร้างและคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นอีก เช่น ความยาวคลื่นแสงที่ใช้ ความยาวคลื่นแสงน้อยที่สุดซึ่งยังทำให้เส้นใยแก้วนำแสงคงสภาพเป็น Single Mode [12] เราเรียกความยาวคลื่นแสงนี้ว่า Cut-off Wavelength (λ_c) หาได้จากสมการ 2.4

$$\lambda_c = \frac{2\pi a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{2.405} \quad (2.4)$$

หรือ

$$\lambda_c = 3.7 a n_1 \sqrt{\Delta} \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$a = \text{รัศมีของ Core}$$

$$n_1 = \text{ดัชนีหักเหของแสงที่ Core}$$

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

ทั้งนี้เส้นใยแก้วชนิด Single mode ต้องกำหนดให้ n_1 ใกล้เคียงกับ n_2 มากๆ โดยต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.3 เช่น $n_1 = 1.448$, $n_2 = 1.444$ เป็นต้น

2.3.5 ความถี่นอร์มอลไลซ์ (Normalized Frequency)

ความถี่นอร์มอลไลซ์ (Normalized Frequency) หรือ วี-นัมเบอร์ (V-number) เป็นค่าที่สำคัญในการจำแนกชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงในขณะใช้งานว่าเป็นชนิด Single mode หรือ Multi Mode จำนวนโหมดที่มากที่สุดที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.6

$$M = \frac{V^2}{2} \quad (2.6)$$

เมื่อ

$$M = \text{จำนวน โหมดย่อยทั้งหมดของแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง}$$

$$V = \text{ค่าความถี่นอร์มอลไลซ์ (Normalized Frequency)}$$

ซึ่งสามารถหาค่า V-number ได้จากสมการ

$$V = kaNA \quad (2.7)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

เมื่อ

$$k = \text{Wave number ของคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่น } (\lambda) \text{ ในอากาศหรือสุญญากาศ ในกรณีที่ตัวกลางไม่มีการสูญเสียสัญญาณ (Lossless medium) ค่าของ } k \text{ จะเรียกว่า ค่าคงตัวการเคลื่อนที่ (Propagation constant)}$$

$$a = \text{รัศมีของ Core}$$

$$NA = \text{Numerical Aperture}$$

กรณีที่เป็นเส้นใยแก้วชนิด Single mode ค่า V-number จะต้องมามีค่าดังนี้

$$V \leq 2.405$$

แทนค่าของ V ลงไปในสมการ 2.5 ได้

$$\frac{2\pi}{\lambda} aNA \leq 2.405$$

จัดรูปสมการจะได้

$$\lambda \geq \frac{2\pi aNA}{2.405}$$

2.4 กำลังงานที่สำรอง (Power Margin)

Link ระหว่างชุมสายจะกำหนดกำลังงานต่ำสุดหรือ Power Budget [2] และอัตราสัญญาณที่ลดทอนรวมใน Link นั้นๆ หรือ Total Attenuation (A) ดังนั้นในออกแบบโครงข่ายต้องทราบกำลังงานที่สำรองหรือ Power Margin (P_m) ใน Link นั้น ๆ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ 2.8

$$\text{Power Margin } (P_m) = \text{Power Budget } (P_t - P_r) - \text{Attenuation } (A) \quad (2.8)$$

คำนวณ Attenuation รวมใน Link ของโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสง[1] ได้จากสมการ 2.9

$$\text{Attenuation } (A) = \alpha L + \alpha_s X + \alpha_c Y \quad (2.9)$$

เมื่อ	α	=	ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสง
	L	=	ความยาว Link ข่ายสายเส้นใยแก้วนำแสง
	α_s	=	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียสัญญาณจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง
	X	=	จำนวนจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง
	α_c	=	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียสัญญาณ Connectors
	Y	=	จำนวน Connectors

2.5 การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending Loss)

การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending Loss) ของเส้นใยแก้วนำแสง แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

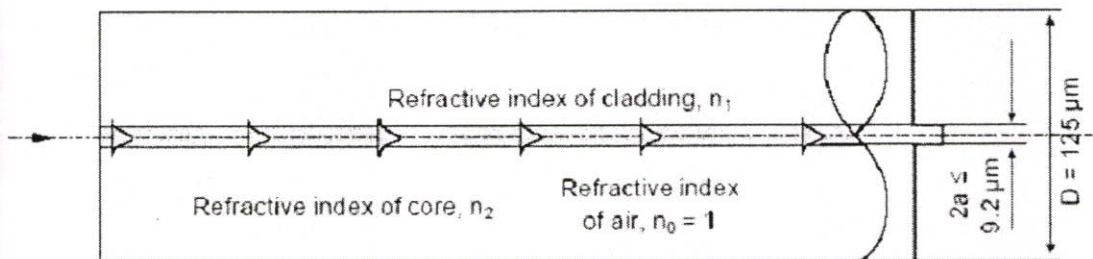
- 1) Macro Bend เกิดจากรัศมีของส่วนโค้งมากกว่า 10 mm
- 2) Micro Bend เกิดจากรัศมีของส่วนโค้งน้อยกว่า 10 mm

การสูญเสียจาก Macro Bend จะแปรผันกับ e^{-R/R_c}

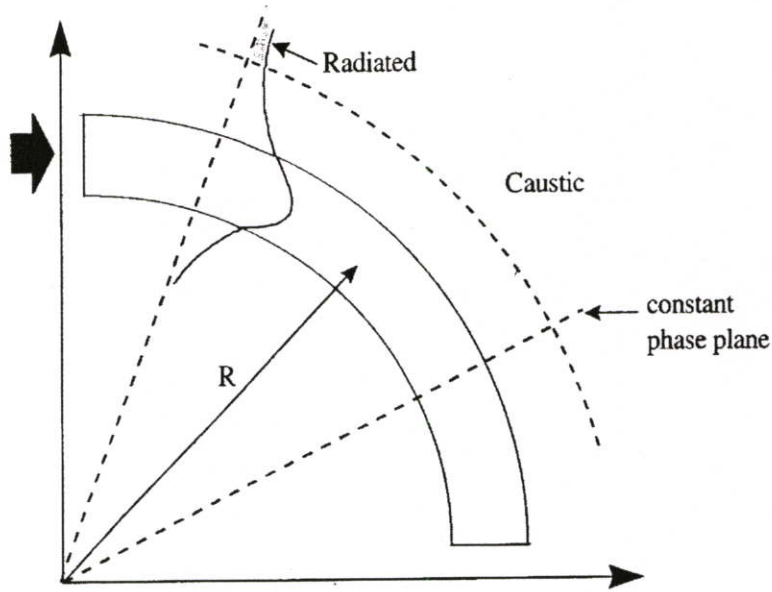
$$R_c = \frac{a}{NA^2} \quad (2.10)$$

เมื่อ R = รัศมีของการโค้งงอ
 a = รัศมีของแกนใยแก้วนำแสง
 NA = Numerical Aperture

Macro Bend การสูญเสียเนื่องจากรังสีของแสงตกกระทบตรงรอยต่อระหว่าง Core และ Cladding ที่มีค่าน้อยกว่ามุมวิกฤต จึงทำให้แสงกระจายออกไปนอกเส้นใยแก้วนำแสง รูปที่ 2.11 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแนวตรง และรูปที่ 2.12 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอ



รูปที่ 2.11 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแนวตรง



รูปที่ 2.12 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอ

จาก Index Profile สามารถหาสัญญาณสูญเสียจาก Macro Bend (p_{loss}) ซึ่งเกิดจากการโค้งงอได้จากสมการ 2.11 [13]

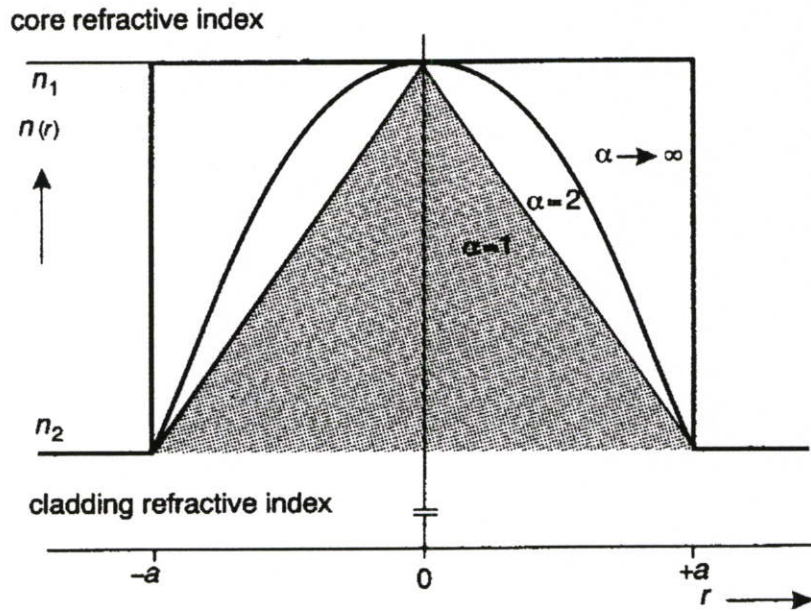
$$p_{loss} = -10 \log_{10} \left[1 - \left(\frac{\alpha + 2}{2\alpha\Delta} \right) \left\{ \frac{d}{R} + \left(\frac{3\lambda}{4\pi n_2 R} \right)^{\frac{2}{3}} \right\} \right] \quad \text{dB} \quad (2.11)$$

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad \text{และ} \quad d = 2a$$

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

- เมื่อ
- p_{loss} = กำลังงานที่สูญเสียจากการโค้งงอ (dB)
 - n_1 = ดัชนีการหักเหของแสงใน Core
 - n_2 = ดัชนีการหักเหของแสงใน Cladding
 - NA = Numerical Aperture
 - Δ = ค่าความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีหักเหของ Core กับ Cladding
 - d = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ Core (μm)
 - a = รัศมีของ Core (μm)
 - λ = ความยาวคลื่น (m)
 - R = รัศมีการโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสง (m)

ตามที่เส้นใยแก้วนำแสงแบ่ง Refractive Index Profile [12] เป็น Step Index และ Graded Index จากสมการ 2.11 สามารถหา Index Profile $\frac{\alpha+2}{\alpha}$ จากรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดง Index Profile ของเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละชนิด

จาก Index Profile Step-index Single mode (SI-SM)

$$\alpha = \infty$$

$$\frac{\alpha+2}{\alpha} = 1$$

แทนค่า α ในสมการ $\frac{\infty+2}{\infty} = 1$

จาก Index Profile Graded-index Multimode (GI-MM)

$$\alpha = 2$$

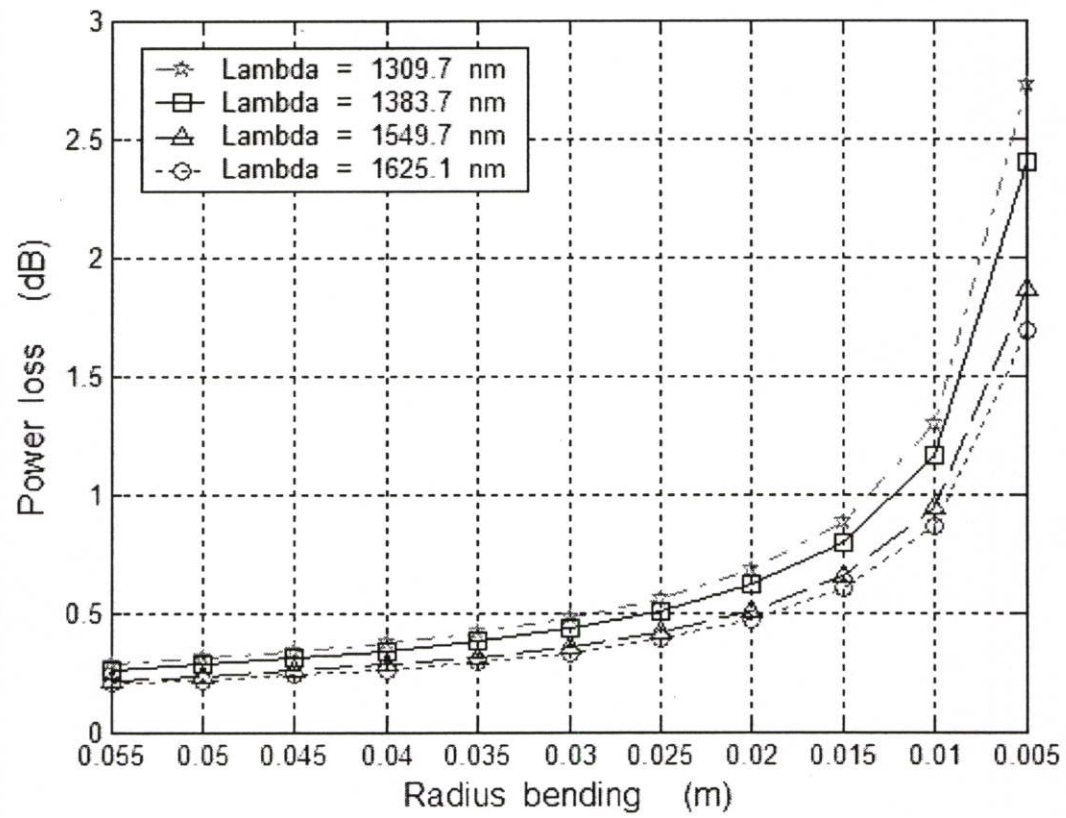
$$\frac{\alpha+2}{\alpha} = 2$$

แทนค่า α ในสมการ $\frac{2+2}{2} = 2$

โครงข่ายทางแสง (Optical Network) ระยะทางไกล ๆ ใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิด Single Mode เนื่องจากมีการลดทอนสัญญาณต่ำกว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Multi Mode มาก สาย OFC สำหรับ Access Service ตามมาตรฐาน ITU-T G.652 D[9] เส้นใยแก้วนำแสง Single Mode เส้นผ่านศูนย์กลางของ Core 8.6 – 9.5 μm ซึ่งมีปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เกิดการโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสงมากกว่า Critical Radius ทำให้ลำแสงทะลุออกด้านข้าง เกิด Loss ณ จุดโค้งงอดังกล่าว ซึ่งความยาวคลื่นแต่ละ λ ค่า Critical Radius จะไม่เท่ากัน จากสมการ 2.11 ใช้โปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์คำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ Critical Radius ผลการคำนวณรายละเอียดดังนี้

Single mode (SM) ϕ Core = 8.6 μm

$n_1 = 1.4670$	$n_1 = 1.4670$	$n_1 = 1.4670$	$n_1 = 1.4670$
$n_2 = 1.46236$	$n_2 = 1.46182$	$n_2 = 1.4605$	$n_2 = 1.45985$
$\lambda_c = 1309.7 \text{ nm}$	$\lambda_c = 1383.7 \text{ nm}$	$\lambda_c = 1549.7 \text{ nm}$	$\lambda_c = 1625.1 \text{ nm}$



รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ Critical Radius ϕ Core=8.6 μm

Single mode (SM) ϕ Core = 9.5 μ m

$$n_1 = 1.4670$$

$$n_1 = 1.4670$$

$$n_1 = 1.4670$$

$$n_1 = 1.4670$$

$$n_2 = 1.46320$$

$$n_2 = 1.46320$$

$$n_2 = 1.46320$$

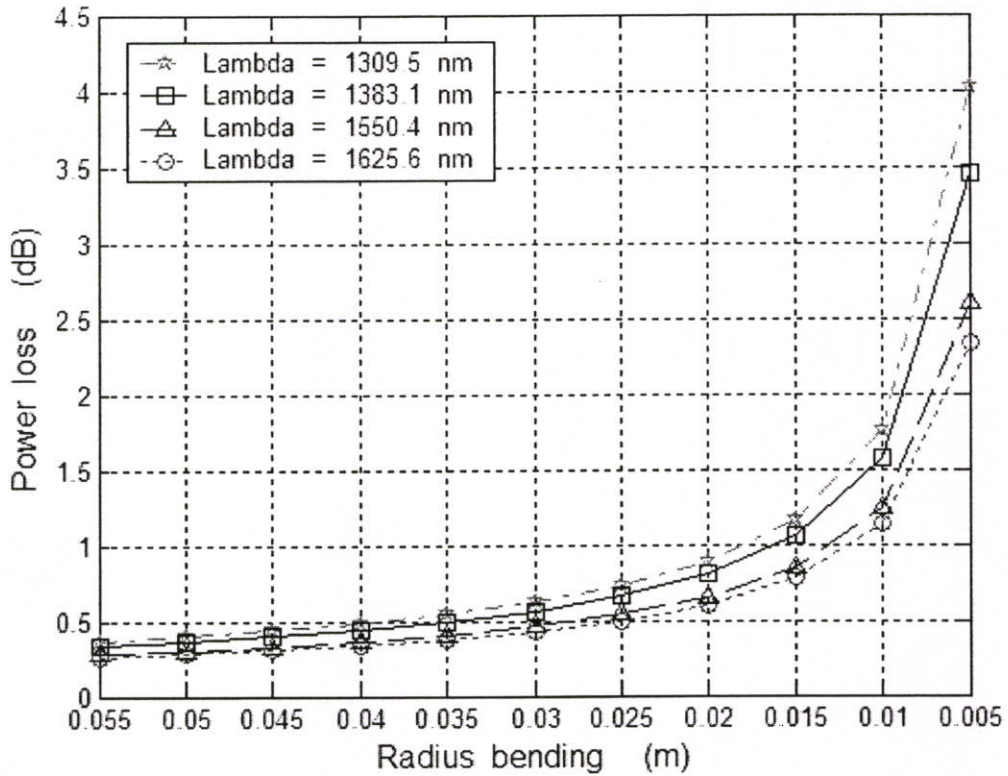
$$n_2 = 1.46320$$

$$\lambda_c = 1309.5 \text{ nm}$$

$$\lambda_c = 1309.5 \text{ nm}$$

$$\lambda_c = 1309.5 \text{ nm}$$

$$\lambda_c = 1309.5 \text{ nm}$$



รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ Critical Radius ϕ Core=9.5 μ m

โดยสรุปผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ Critical Radius พบว่าเส้นใยแก้วนำแสง Core ขนาดเล็ก (ϕ Core=8.6 μ m) มี Loss ต่ำกว่าเส้นใยแก้วนำแสง Core ขนาดโตกว่า (ϕ Core=9.5 μ m) รัศมีโค้งงอ (Radius Bending) ที่เหมาะสมคือ 30 mm โดยมี Power Loss เฉลี่ยประมาณ 0.3 dB จึงกำหนดรัศมีเส้นใยแก้วนำแสงเมื่อโค้งงอของอุปกรณ์ที่รองรับจุดต่อเชื่อม (Fusion) ต้องมากกว่า 30 mm โดยหาวิธีป้องกันไม่ให้เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวหรือออกแบบอุปกรณ์รองรับให้รองรับรัศมีการโค้งงอที่ระบุ

บทที่ 3

วิเคราะห์และทดลอง

จากปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงของสาย OFC สำหรับ Access Service เคลื่อนตัวภายในจุดต่อเชื่อมหรือหัวต่อจนเกิด Bending Loss มีผลกระทบต่อผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่นำสาย OFC สำหรับ Access Service ไปติดตั้งใช้งานและโรงงานผู้ผลิตสาย Optical Fiber ในประเทศไทยเป็นวงกว้าง เช่น บมจ. กสท บมจ. ทีโอที ผู้ให้บริการเคเบิลทีวีท้องถิ่น และผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น โดยเฉพาะ บมจ. ทีโอที ซึ่งติดตั้งใช้งานสาย OFC สำหรับ Access Service ไปแล้วกว่า 2,000,000 เมตร สำรองในคลังพัสดุอีกประมาณ 670,000 เมตร (สิงหาคม 2548) ถ้าไม่สามารถหาแนวทางแก้ไขปัญหานี้ได้ ผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่กล่าวถึงข้างต้นอาจต้องระงับการติดตั้งใช้งานใหม่และรื้อถอนสาย OFC สำหรับ Access Service ทั้งหมดลง

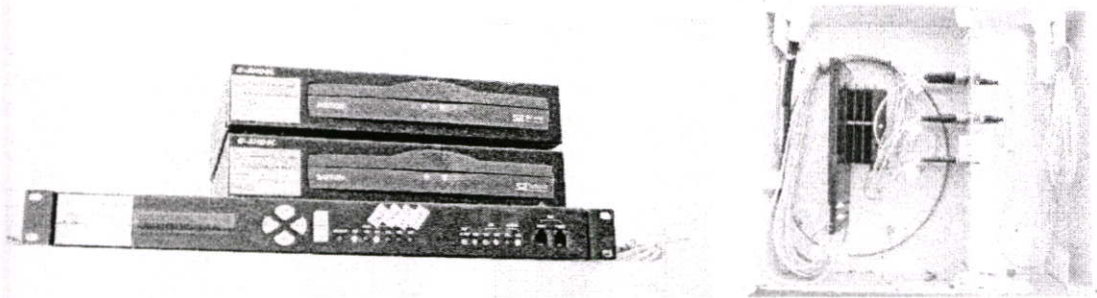
3.1 ตำรวจและเก็บข้อมูลปัญหาสาย OFC สำหรับ Access Service เคลื่อนตัว

หน่วยงานที่วางโครงข่ายทางแสง (Optical Network) ด้วยสาย OFC สำหรับ Access Service เริ่มแจ้งปัญหาการใช้งานเข้ามาจากหลายพื้นที่ ระบุโครงข่ายที่นำสาย OFC สำหรับ Access Service ไปใช้งานมี Loss เพิ่มขึ้นโดยไม่ทราบสาเหตุ หลังรับแจ้งผู้วิจัยได้ออกไปสำรวจปัญหาดังกล่าวโดยสุ่มสำรวจจากจังหวัดที่นำสาย OFC สำหรับ Access Service ไปใช้งานสูงสุดลำดับต้น ๆ คือ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงรายและจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยประสานงานโรงงานผลิตสาย OFC สำหรับ Access Service ที่ผลิตสาย OFC สำหรับ Access Service ที่เกิดปัญหาข้างต้น 2 โรงงาน คือ บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) และ บริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) ร่วมสำรวจและเก็บข้อมูลในครั้งนี้ด้วย

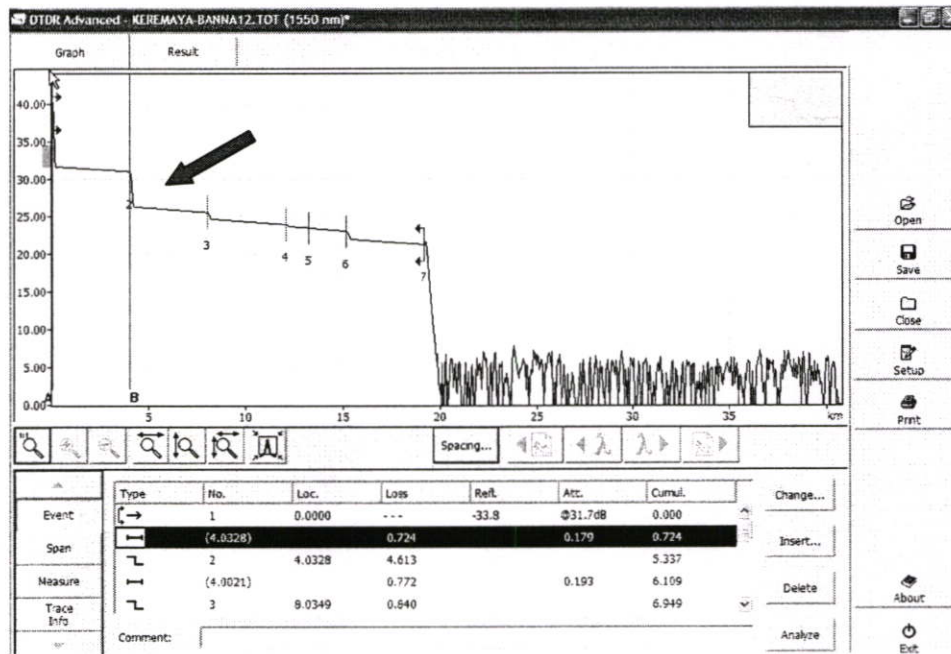
3.1.1 ตำรวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดนครราชสีมา

ผู้วิจัยและตัวแทนจากทั้ง 2 บริษัท ร่วมเก็บข้อมูลในจังหวัดนครราชสีมา Route ระหว่างชุมสายบ้านนา กับชุมสายศิริมา ยา บริเวณบ้านท่ามะปรางค์ทางขึ้นเขาใหญ่ Route นี้ Link ระหว่างชุมสายด้วยสาย OFC สำหรับ Access Service จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) 12 Cores มีหัวต่อ (Closure) ทั้งหมดรวม 7 หัวต่อ Route นี้ยาวประมาณ 19,000 เมตร ตรวจวัดค่า Loss ด้วยเครื่อง Mini OTDR EXFO Model FTB-100B จากชุมสายศิริมา ยา ผลการวัดค่าพบว่า มีเพียงหัวต่อเดียว จากจำนวนหัวต่อทั้งหมด 7 หัวต่อที่ค่า Loss อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหลืออีก 6 หัวต่อสูงกว่า

มาตรฐานที่กำหนด ตัวอย่างเช่นหัวต่อที่ 2 มีค่า Loss 4.613 dB และหัวต่อที่ 6 มีค่า Loss 1.035 dB (มาตรฐาน ≤ 0.03 dB) [24] รายละเอียดตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ Modem และ Distribution Box ในชุมสายคีรีมาศ จุดที่วัดค่า Loss

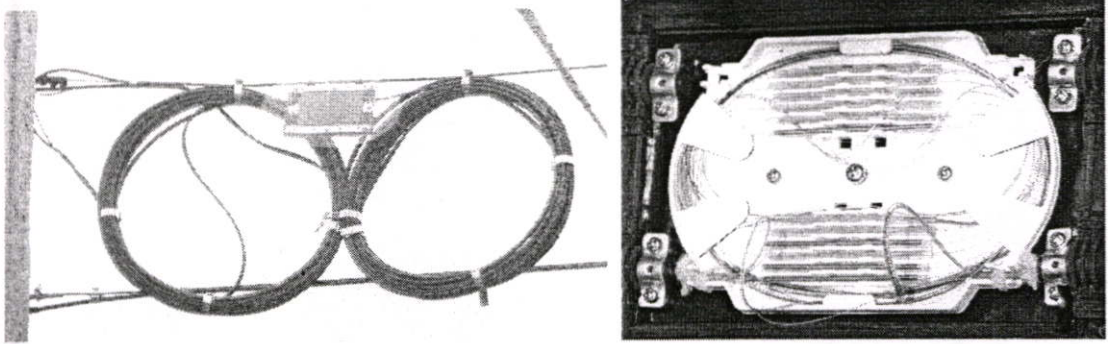


OTDR Report

Events Table						
No.	Loc. (km)	Event Type	Loss (dB)	Refl. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-33.8		0.000
		Fiber Section (4.0328 km)	0.724		0.179	0.724
2	4.0328	Non-Reflective Fault	4.613			5.337
		Fiber Section (4.0021 km)	0.772		0.193	6.109
3	8.0349	Non-Reflective Fault	0.840			6.949
		Fiber Section (4.0532 km)	0.765		0.189	7.714
4	12.0881	Non-Reflective Fault	0.238			7.953
		Fiber Section (1.1537 km)	0.227		0.197	8.180
5	13.2418	Non-Reflective Fault	0.026			8.205
		Fiber Section (1.9296 km)	0.400		0.207	8.605
6	15.1714	Non-Reflective Fault	1.035			9.640
		Fiber Section (4.0379 km)	0.777		0.192	10.417
7	19.2092	Reflective Fault	---	-57.7		10.417
		Fiber Section (21.5829 km)	1.177		0.055	---

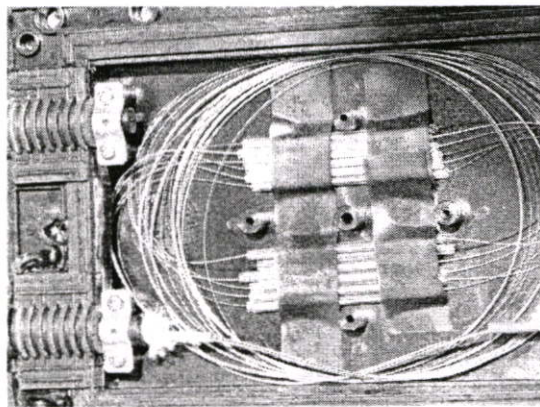
รูปที่ 3.2 แสดงกราฟและตารางผลการวัดค่า Loss ด้วยเครื่อง OTDR ณ ชุมสายคีรีมาศ

หลังวัดค่า Loss ในชุมสายคีรีมาชา เก็บข้อมูลจุดที่ 1 ตำแหน่งหัวต่อที่ 2 จากชุมสายคีรีมาชา ซึ่งค่า Loss สูงสุดใน Route นี้ คือ 4.613 dB สาย OFC สำหรับ Access Service จากหัวต่อที่ 2 สายยาวด้านละ 4,000 m เท่ากันทั้งสองด้าน ก่อนถึงหัวต่อจะมี Loop ซึ่งในรายงานฉบับนี้จะเรียก Loop นี้ว่า Service Loop มีเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน สามารถปลดหัวต่อลงมาปฏิบัติงานข้างล่างได้ Service Loop ของหัวต่อที่ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54 เซนติเมตร สายใน Service Loop ยาว 15 เมตร ใกล้เคียงกันทั้งสองด้าน เมื่อเปิดเพื่อดูสภาพเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อ พบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube ทั้งสองด้านตามรูปที่ 3.3



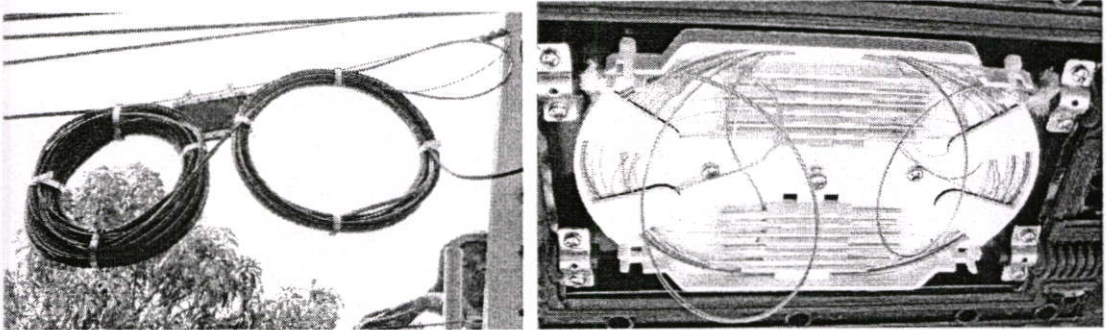
รูปที่ 3.3 หัวต่อที่ 2 ลักษณะ Service Loop และสภาพเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลื่อนตัวในหัวต่อ

จากปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube ทั้งสองด้าน จึงทดลองเอาอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงออก จากนั้นจัดตำแหน่งเส้นใยแก้วนำแสงไม่ให้โค้งงอ โดยวาง Protective Sleeve กลางหัวต่อและยึดด้วยเทปพันสายไฟ (Electrical Tape) ตามรูปที่ 3.4 เพื่อศึกษากรณีที่ปล่อยให้เส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระ จะช่วยลดปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวได้หรือไม่ และมีผลกระทบอะไรตามมา โดยประสานงานกับผู้ดูแลโครงข่ายให้เผื่อระวังและคอยตรวจสอบผลการทดลองและรีบแจ้งผลเมื่อโครงข่ายมี Loss เพิ่มขึ้น (ปกติจะมีการตรวจสอบ Loss โครงข่ายเมื่อ Network นั้นๆ ล่มหรือมีปัญหาเรื่อง Power Margin เท่านั้น)



รูปที่ 3.4 แสดงหัวต่อที่เอาอุปกรณ์ฯ ออก ยึด Protective Sleeve กลางหัวต่อชั่วคราวด้วย Tape

เก็บข้อมูลจุดที่ 2 รูปที่ 3.5 ตำแหน่งหัวต่อที่ 6 จากชุมสายคีรีมาศ ซึ่งมีค่า Loss สูงรองจากหัวต่อที่ 2 ใน Route นี้ สาย OFC สำหรับ Access Service ด้านชุมสายบ้านนายาวประมาณ 4,000 เมตร และสาย OFC สำหรับ Access Service ด้านชุมสายคีรีมาศยาวประมาณ 1,900 เมตร ก่อนถึงหัวต่อมี Service Loop ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54 เซนติเมตร เท่ากันทั้งสองด้าน สายด้านชุมสายคีรีมาศสายใน Service Loop ยาว 70 เมตร และด้านชุมสายบ้านนาสายใน Service Loop ยาว 25 เมตร ซึ่งสายใน Service Loop ด้านชุมสายคีรีมาศยาวกว่าถึง 45 เมตรเมื่อเปิดหัวต่อพบเส้นใยแก้วนำแสงด้านชุมสายคีรีมาศเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube 17.2 เซนติเมตร ขณะที่เส้นใยแก้วนำแสงด้านชุมสายบ้านนาเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube เพียง 10.9 เซนติเมตร ทดลองเอาอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงออก จากนั้นจัดตำแหน่งเส้นใยแก้วนำแสงไม่ให้โค้งงอเหมือนหัวต่อที่ 2



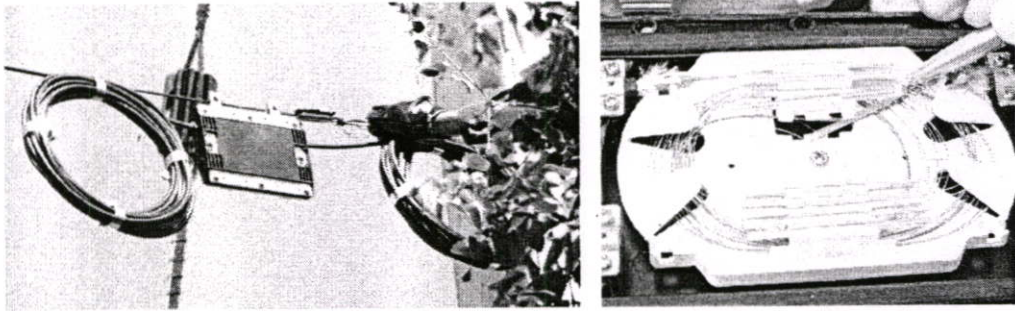
รูปที่ 3.5 หัวต่อที่ 6 ลักษณะ Service Loop และสภาพเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลื่อนตัวในหัวต่อ

กลับมาวัดค่า Loss ที่ชุมสายคีรีมาศอีกครั้ง วัดค่า Loss พบว่า หัวต่อที่แก้ไขและจัดเส้นใยแก้วนำแสงไม่ให้โค้งงอค่า Loss หายไป แต่หัวต่ออื่น ๆ ที่ยังไม่ได้แก้ไข ค่า Loss ยังปรากฏเหมือนเดิม ข้อสังเกตระยะที่เส้นใยแก้วนำแสง เคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube สัมพันธ์กับความยาวสายใน Service Loop กล่าวคือสายใน Service Loop มาก เส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อก็จะเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube มากตาม

3.1.2 ตำรวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดกาญจนบุรี

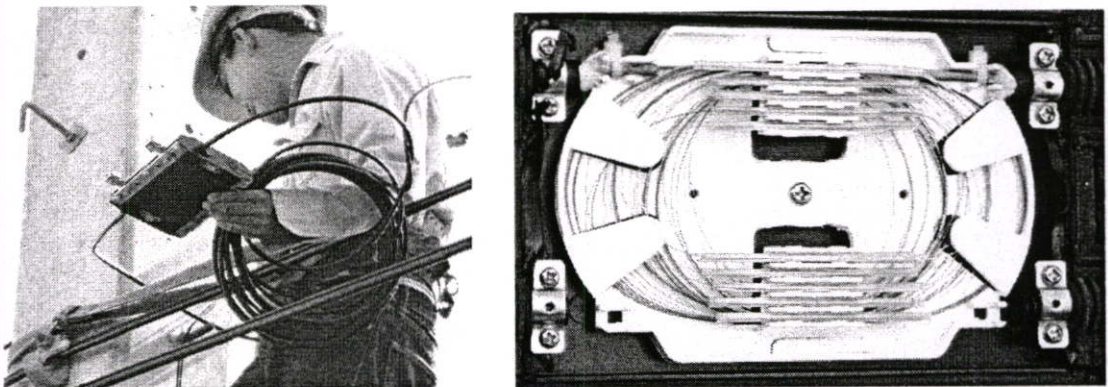
ผู้วิจัยและตัวแทนจากทั้ง 2 บริษัท ร่วมเก็บข้อมูลในจังหวัดกาญจนบุรีเป็นจังหวัดที่สอง ใช้วิธีสุ่มสำรวจเปิดหัวต่อโดยไม่ได้วัดค่า Loss ความยาว Route ตำรวจประมาณ 10,000 เมตร สาย OFC สำหรับ Access Service มีจำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 12 Cores หัวต่อแรกสุ่มเปิดบริเวณหน้าโรงงานบรรจุแก๊สห่างจากทางแยก บ่อพลอย-กาญจนบุรี ประมาณ 500 เมตร มี Service Loop มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 เซนติเมตร สายใน Service Loop ยาว 11.5 เมตร โก๊สเดียวกันทั้งสองด้าน เมื่อ

เปิดหัวต่อพบเส้นใยแก้วนำแสง 1 Core เคลื่อนตัวจนกระทั่ง Protective Sleeve หลุดจากร่อง ขณะที่เส้นใยแก้วนำแสง Core อื่นๆ อยู่ในสภาพปกติตามรูปที่ 3.6 ณ จุดนี้ไม่ปรับปรุงแก้ไข ปล่อยให้เส้นใยแก้วนำแสง อยู่ในสภาพเดิมเพื่อเก็บข้อมูลการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสง และขอความร่วมมือผู้ดูแลโครงข่ายให้คอยตรวจสอบค่า Loss และรับแจ้งเมื่อค่า Loss มีการเปลี่ยนแปลง



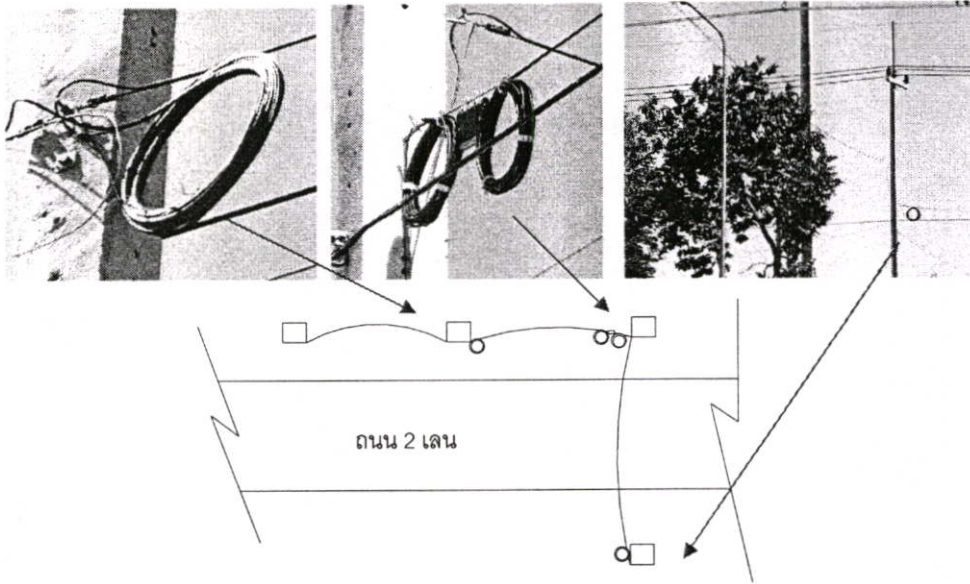
รูปที่ 3.6 หน้าโรงงานบรรจุแก๊ส ลักษณะ Service Loop และสภาพเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อ

หัวต่อที่สองสุมเปิดบริเวณหน้าโรงงานสุรา สาย OFC สำหรับ Access Service จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 12 Cores ซึ่งเป็น Route เดียวกับจุดแรก สายด้าน โรงงานบรรจุ แก๊สยาวประมาณ 4,000 เมตร และสายด้านเข้าโรงงานสุรายาวประมาณ 2,000 เมตร มี Service Loop ก่อนเข้าหัวต่อทั้งสองด้าน เส้นผ่านศูนย์กลาง Service Loop 26 เซนติเมตร ความยาวสายใน Service Loop 11.5 เมตร ใกล้เคียงกันทั้งสองด้าน เปิดหัวต่อไม่พบการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงตามรูปที่ 3.7



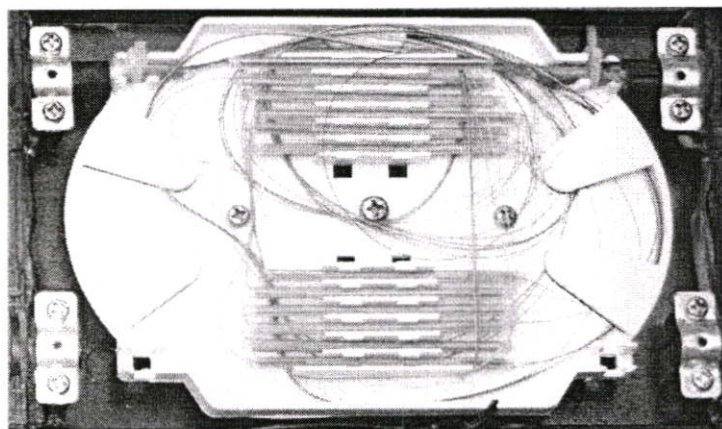
รูปที่ 3.7 สภาพเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อหน้าโรงงานสุรา

เมื่อสังเกตลักษณะการแขวนสาย OFC สำหรับ Access Service พบว่าก่อนถึงหัวต่อ ช่วงเสาทั้งสองด้านจะมี Loop เพิ่มด้านละ Loop ซึ่งในรายงานฉบับนี้จะเรียก Loop นี้ว่า Fix Loop เพิ่มจาก Service Loop ตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ลักษณะการ Loop และผังการติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service หน้าโรงงานสุรา

โดยสรุปจากการสัมภาษณ์และข้อสังเกตพบว่า หัวต่อหน้าโรงงานบรรจุแก้วพบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวจาก Loose Tube ขณะที่หัวต่อหน้าโรงงานสุราไม่พบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวจาก Loose Tube ซึ่งการติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service ทั้ง 2 จุด มีข้อแตกต่างกันเฉพาะหัวต่อหน้าโรงงานสุรามีการ Fix Loop สายทั้งสองด้านเท่านั้น ดังนั้นจึงตั้งข้อสันนิษฐานเบื้องต้นว่าการ Fix Loop สายก่อนถึงหัวต่ออาจช่วยเพิ่มแรง Friction ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับ Loose Tube ลดปัญหาการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงลงได้ระดับหนึ่ง



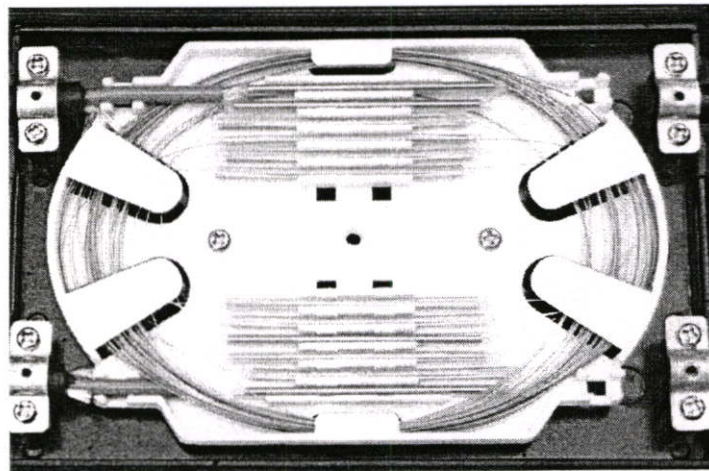
รูปที่ 3.9 สภาพเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อหน้าโรงแรมเฟลิกซ์

สุมเปิดหัวต่อจุดที่สามบริเวณหน้าโรงแรมเฟลิกซ์ Route นี้ยาวประมาณ 8,400 เมตร สาย OFC สำหรับ Access Service จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 12 Cores สายด้านชุมสายยาวประมาณ 4,000 เมตร และสายเข้าโรงแรมยาวประมาณ 400 เมตร สายด้านโรงแรมมี Service Loop ก่อนเข้าหัวต่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร ความยาวสายใน Service Loop 9.4 เมตร เมื่อเปิดหัวต่อพบว่าเส้นใยแก้วนำแสง เคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube จนเส้นใยแก้วนำแสงขาดจำนวน 4 Cores (Core ม่วง-น้ำเงิน-เทา-เหลือง) ตามรูปที่ 3.9 ขณะเก็บข้อมูล Route นี้ไม่ได้ใช้งาน (Route นี้วางเพื่อรองรับการประชุมคณะรัฐมนตรี ณ โรงแรมเฟลิกซ์)

3.1.3 สำรวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดเชียงใหม่

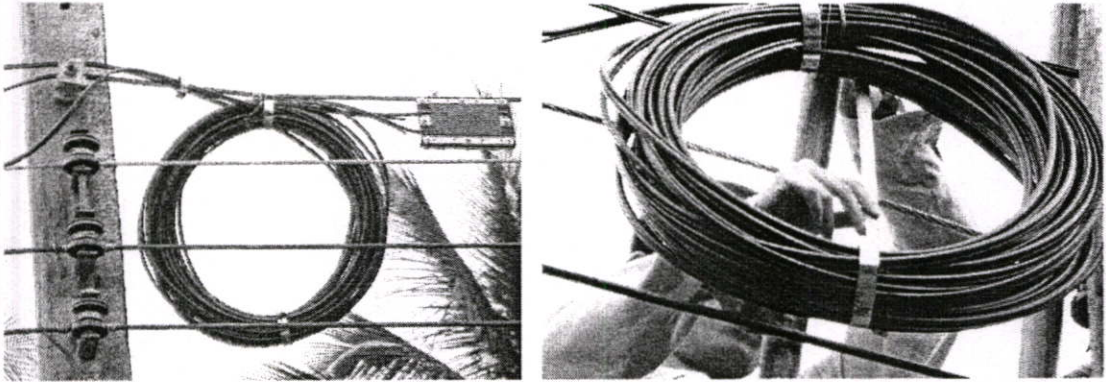
สัมภาษณ์ทางโทรศัพท์หน่วยงานที่รับผิดชอบในจังหวัดเชียงใหม่ไม่พบปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว ทั้งที่เบิกสาย OFC สำหรับ Access Service จากผู้ผลิตรายเดียวกันกับจังหวัดที่มีปัญหา ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจมาก ผู้วิจัยและตัวแทนจากทั้ง 2 บริษัท ได้ประสานงานเพื่อเก็บข้อมูลที่จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับจังหวัดที่มีปัญหา

สุมเปิดหัวต่อจุดแรก Route จากชุมสายสารภีไปสนามกอล์ฟกัสซัน Route นี้ยาวประมาณ 8,000 เมตร มีหัวต่อใน Route รวมทั้งหมด 2 หัวต่อ ก่อนตัดต่อ (Fusion) สาย OFC สำหรับ Access Service เส้นนี้แขวนสายทิ้งไว้ประมาณ 3 เดือน โดยปลายสายทั้งสองด้าน ไม่ได้เปิดปลายออก Route นี้มี Fix Loop ทั้งหมด 6 Loop (4,000 เมตร /6 Fix Loop เฉลี่ย 600 เมตร/Fix Loop) จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 12 Cores สายทั้งสองด้านยาว 4,000 เมตร เท่ากัน มี Service Loop ก่อนเข้าหัวต่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ความยาวสายใน Service Loop 51 เมตร เท่ากันทั้งสองด้านเมื่อเปิดหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง ไม่มีการเคลื่อนตัวตามรูปที่ 3.10



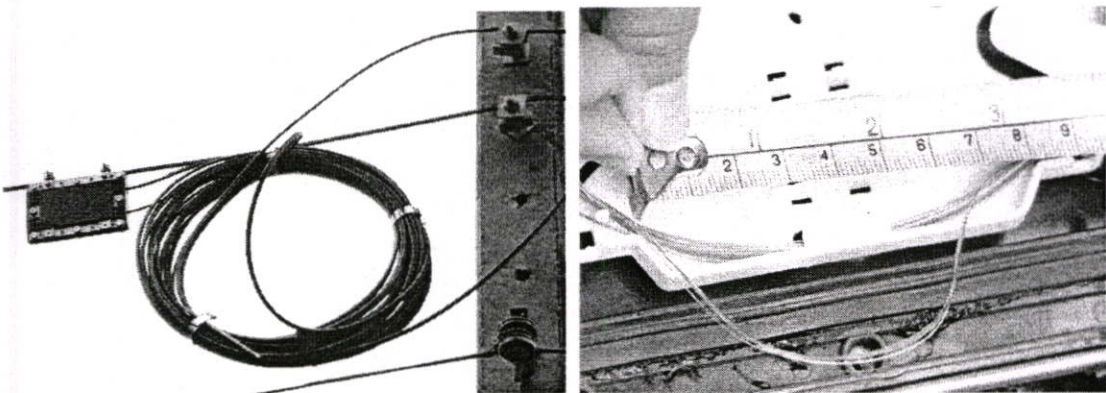
รูปที่ 3.10 สภาพเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อของ Route ชุมสายสารภี

ลักษณะ Service Loop ของจังหวัดเชียงใหม่แตกต่างกันกับของจังหวัดกาญจนบุรี กล่าวคือของจังหวัดเชียงใหม่จะเอาสายมา Loop รวมกันด้านเดียวตามรูปที่ 11 ไม่แยกเป็น Loop ด้านละวงเหมือนจังหวัดกาญจนบุรี ด้วยเหตุผลที่ว่าในการ Loop สายไม่ต้องพลิกหัวต่อเหมือน Loop 2 วง



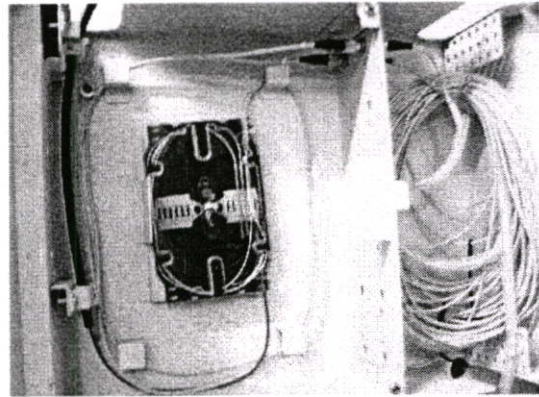
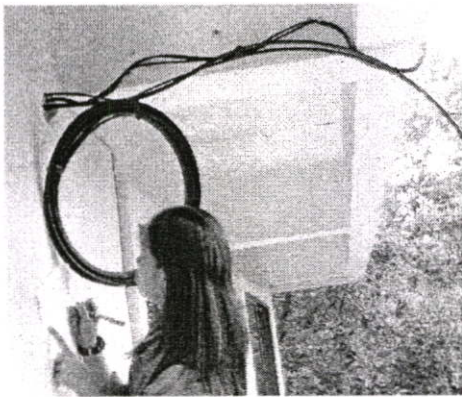
รูปที่ 3.11 ลักษณะ Service Loop ของจังหวัดเชียงใหม่จะเอาสายมา Loop รวมกันด้านเดียว

ส้อมเปิดจุดที่สองเส้นทางไปกรรมการปกครองและเทคโนโลยีสะเท็ด เคเบิล Route นี้จากชุมสายคอยสะเท็ดสาย OFC สำหรับ Access Service ของ Route นี้ยาวประมาณ 7,000 เมตร จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 6 Cores สายทั้งสองด้านยาวประมาณ 4,000 เมตร เท่ากัน สาย OFC สำหรับ Access Service เส้นนี้วางเทียบขนานกับคลองชลประทาน เนื่องจากสายวางเป็นแนวตรงจึงมี Fix Loop เพียง 2 จุด และมี Service Loop ก่อนเข้าหัวต่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง Service Loop 60 เซนติเมตร ความยาวสายใน Service Loop ยาว 34 เมตร เท่ากันทั้งสองด้าน เมื่อเปิดหัวต่อพบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกมาประมาณ 5 เซนติเมตร และ 1.5 เซนติเมตร ตามลำดับตามรูปที่ 3.12



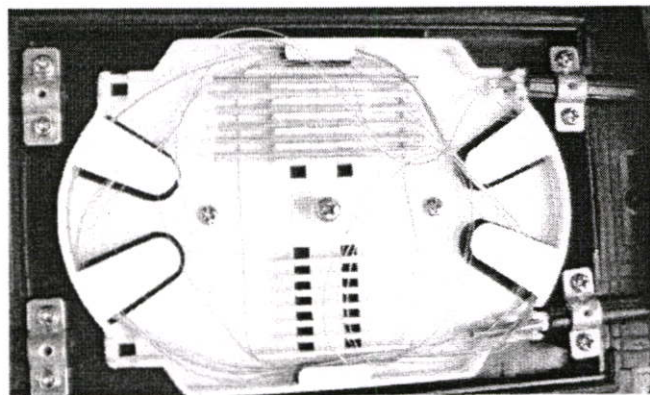
รูปที่ 3.12 Service Loop ก่อนปลดลงมาและสภาพเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลื่อนตัวในหัวต่อ

สุมจุดที่สามคดยสุเทพกับหอดูดาวสิรินธร Route นี้ สาย OFC สำหรับ Access Service จำนวน เส้นใยแก้วนำแสง 6 Cores แยกจากสาย Optical Cable ด้วยหัวต่อ Branch Joint จึงเก็บข้อมูลจาก Distribution Box ภายในอาคารหอดูดาวสภาพเส้นใยแก้วนำแสงในตู้ Box ปกติ จุดสังเกตก่อนเข้า อาคารมี Fix Loop ด้านนอกเส้นผ่านศูนย์กลาง Fix Loop 47 เซนติเมตร สายใน Fix Loop ยาว 19.2 เมตร



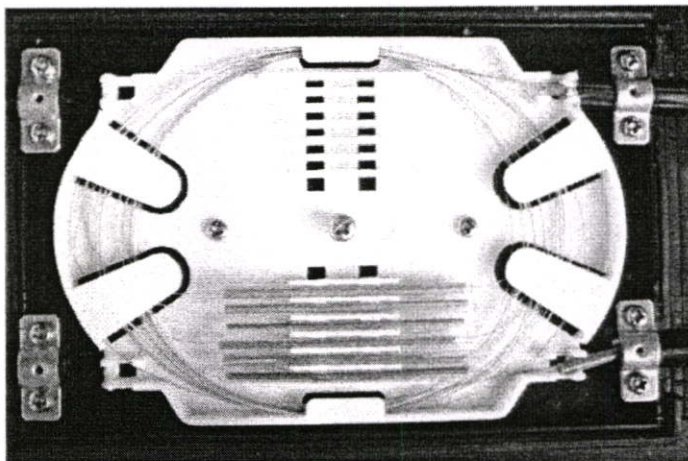
รูปที่ 3.13 Distribution Box ในหอดูดาวและ Fix Loop ภายนอกก่อนเข้าอาคาร

สุมเปิดจุดที่สี่เส้นทางพรวัวถึงสำนักงานที่ดิน อำเภอพรวัว Route นี้ยาวประมาณ 4,000 เมตร ไม่สามารถใช้งานได้ ตรวจสอบเบื้องต้นแล้วปรากฏว่าเส้นใยแก้วนำแสงขาด 1 Core จากเส้นใยแก้วนำแสง ที่ใช้งานอยู่ 2 Cores ตามรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงก่อนแก้ไขหัวต่อที่เส้นใยแก้วนำแสงขาด

เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลโครงข่ายได้ไปตรวจสอบ Link ดังกล่าวด้วยเครื่อง OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) พบเส้นใยแก้วนำแสงขาด 1 Core จากที่ใช้งานอยู่ 2 Cores เส้นใยแก้วนำแสงขาดห่างจากชุมสายพร้าวประมาณ 4,000 เมตร จึงเปิดหัวต่อซ่อมแซมใหม่ ตามรูปที่ 3.15



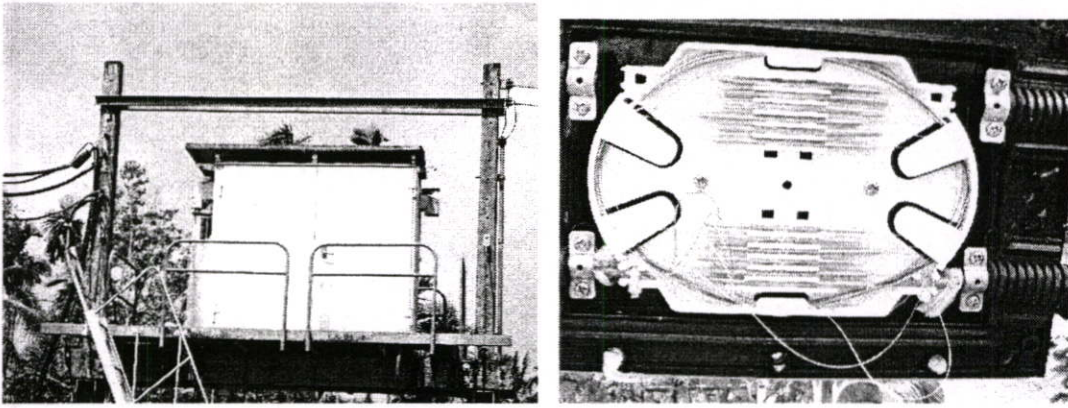
รูปที่ 3.15 แสดงหลังแก้ไขหัวต่อที่เส้นใยแก้วนำแสงขาด

3.1.4 ตำรวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดเชียงราย

สุมเปิดหัวต่อ Route ระหว่าง เชียงราย-คองวาวี บริเวณบ้านห้วยน้ำมา Route นี้ สาย OFC สำหรับ Access Service จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 12 Cores ก่อนเข้าหัวต่อมี Service Loop เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความยาวสายใน Service Loop ยาว 5.6 เมตร ก่อนตัดต่อ (Fusion) เคาเปิดเส้นนี้จากการสัมผัสภายนอกสายทิ้งไว้ก่อนตัดต่อประมาณ 8 เดือน เมื่อเปิดหัวต่อไม่พบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว

3.1.5 ตำรวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

สุมเปิดหัวต่อ Route ระหว่างชุมสายหลักในอำเภอเมืองจังหวัดสุราษฎร์ธานี ถึงชุมสายย่อย DLC (Digital Loop Carrier) จำนวน 3 หัวต่อ พบปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออก จาก Loose Tube ทุกตัวอย่างที่สุมเปิด



รูปที่ 3.16 Link ระหว่างชุมสายเมื่อส้อมเปิดหัวต่อพบเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลื่อนตัวภายใน

3.1.6 สรุปผลสำรวจและเก็บข้อมูล

สรุปผลการเก็บข้อมูลปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออกจาก Loose Tube จากกลุ่มตัวอย่าง 5 จังหวัด 29 ข้อมูล พบว่า 62 % (41+21) มีปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออกจาก Loose Tube ระยะที่เส้นใยแก้วเคลื่อนตัวออกมาสูงสุด 180 mm ซึ่งปัญหาอยู่ในระดับวิกฤติ และกระจายไปทุกพื้นที่ทั่วประเทศ รายละเอียดผลการเก็บข้อมูลมีดังนี้

- 1) ปลายเคเบิลมีเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube 12 ข้อมูล (41 %)
- 2) ปลายเคเบิลมีเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube 6 ข้อมูล (21 %)
- 3) ปลายเคเบิลที่เส้นใยแก้วนำแสงอยู่ในสภาพปกติ 11 ข้อมูล (38 %)

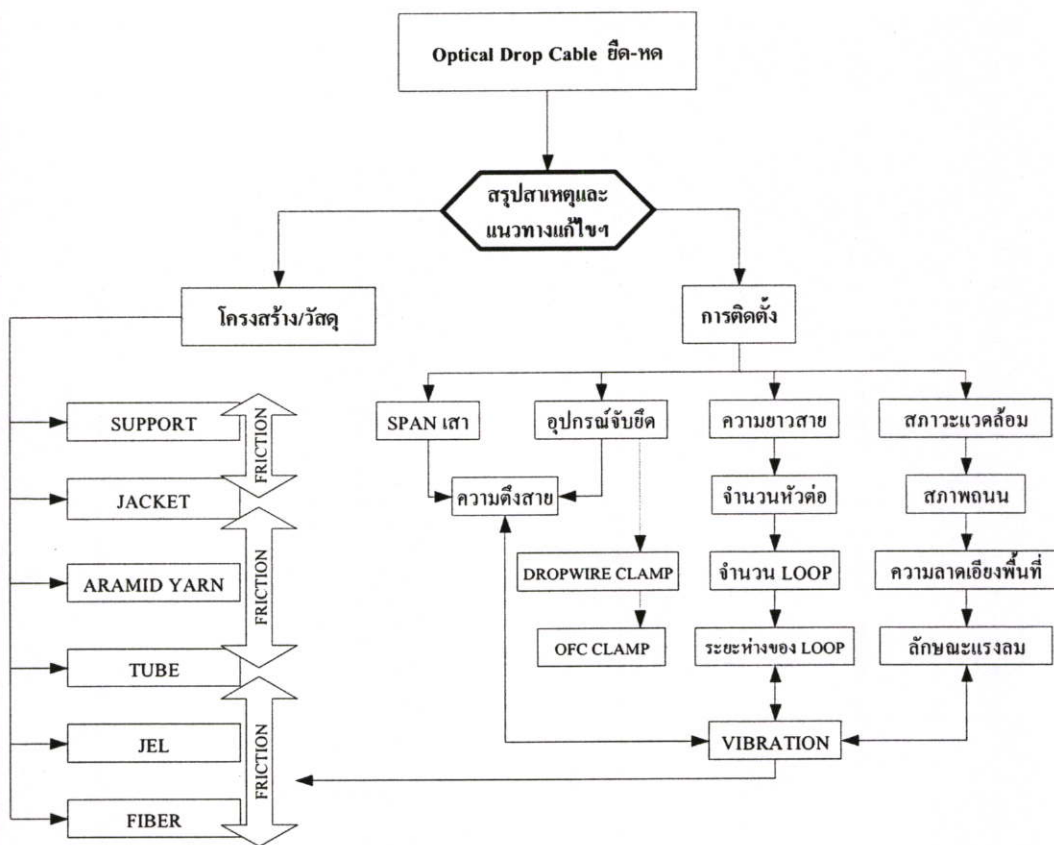
3.2 วิเคราะห์ปัญหา

ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว ในสาย OFC สำหรับ Access Service ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพบว่าการแขวนสายทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งก่อนตัดต่อเส้นใยแก้วนำแสง เสริมกับ Route ใดที่มี Fix Loop มีปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวภายในหัวต่อน้อยกว่า Route ที่ไม่มี Fix Loop

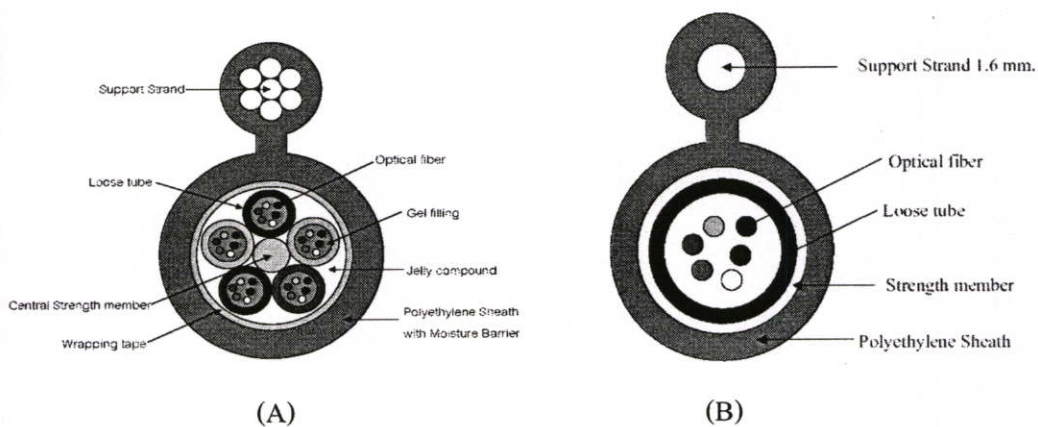
สรุปประเด็นเพื่อวิเคราะห์ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเป็น Flowchart ตามรูปที่ 3.17 โดยกำหนดประเด็นใหญ่ๆ ไว้ 2 ประเด็น คือ

- 1) ปัญหาจากโครงสร้างและวัสดุของสาย OFC สำหรับ Access Service
- 2) ปัญหาจากการติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service

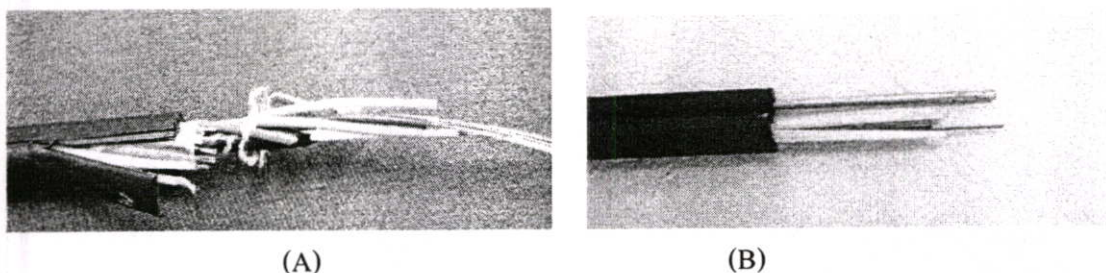
โครงสร้างสาย Optical Cable กับสาย OFC สำหรับ Access Service แตกต่างกัน กล่าวคือสาย Optical Cable โครงสร้างภายใน Loose Tube จะ Twist เข้าด้วยกัน ขณะที่สาย OFC สำหรับ Access Service โครงสร้างภายในเป็น Mono Loose Tube ตามรูปที่ 3.18 และ 3.19



รูปที่ 3.17 Flowchart วิเคราะห์ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว



รูปที่ 3.18 แสดง Cross-Section (A) Optical Cable และ (B) OFC สำหรับ Access Service



รูปที่ 3.19 แสดงตัวอย่างสาย (A) Optical Cable และ (B) OFC สำหรับ Access Service

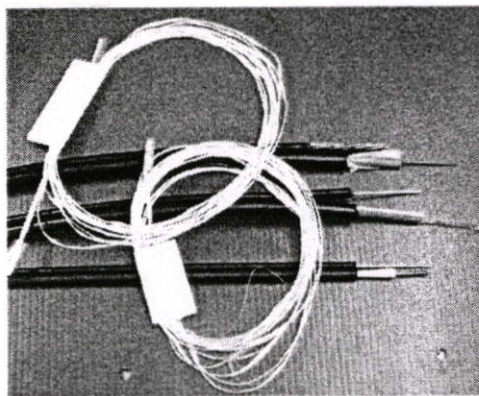
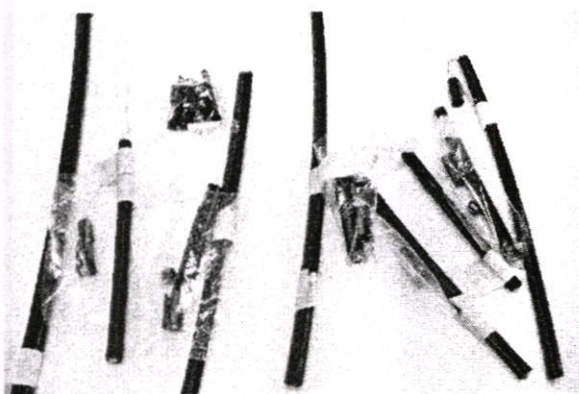
ข้อมูลจากผู้ผลิต Fiber Optic พบว่าเกือบทุกโรงงานซื้อ Bare Fiber จากต่างประเทศมาหุ้ม Cable Sheath ตามชนิดสายที่ลูกค้าสั่ง ข้อมูลปี พ.ศ. 2549 มีโรงงานผลิต Bare Fiber ทั่วโลก ประมาณ 300 โรงงาน เฉพาะในประเทศไทยมีเพียง บริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) เพียงบริษัทเดียวที่ผลิต Bare Fiber เองในสายการผลิต ทั้งนี้สาย Optical Cable และสาย OFC สำหรับ Access Service ผลิตด้วย Bare Fiber จากแหล่งเดียวกัน ดังนั้นสายทั้งสองชนิดใช้วัตถุดิบใกล้เคียงกัน

3.3 วิเคราะห์-ทดลอง วัสดุและโครงสร้างสาย OFC สำหรับ Access Service

3.3.1 ทดลองวัสดุ

ข้อมูลจากโรงงานผลิตสาย OFC สำหรับ Access Service มีโครงสร้างและวัสดุดังนี้ Loose Tube ผลิตจาก PBT (Polybutylene Terephthalate) ภายใน Loose Tube วาง Bare Fiber ซึ่งยาวกว่า Loose Tube 0.1 % ถึง 0.3 % และมี Thixotropic Compound บรรจุใน Loose Tube ป้องกันการเกิด Micro Bending กรณีสาย OFC สำหรับ Access Service โค้งงอ รอบ Loose Tube พันด้วย Aramid Yarn เพื่อรับแรงดึง (Strength Member) ชั้นนอกสุดห่อหุ้ม (Cable Sheath) ด้วย HDPE (High Density Polyethylene) และมี Messenger wire ผลิตจาก Galvanized Steel เดี่ยวเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 mm และ Galvanized Steel 7 เส้นตีเกลียวขนาด 7/1.32 mm ทำหน้าที่ Support Strand ช่วยรับแรงดึงขณะแขวนสาย

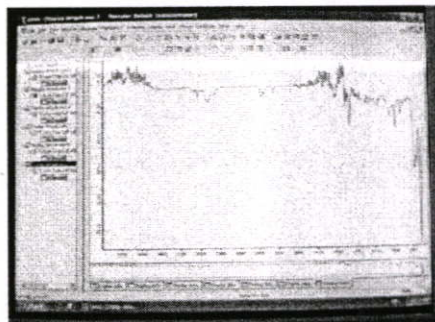
เนื่องจากไม่สามารถส่องตัวอย่างสาย OFC สำหรับ Access Service ที่ติดตั้งใช้งานได้เพราะอาจรบกวนให้บริการโทรคมนาคม จึงส่องตัวอย่างจากปลายสายที่ค้างในระวิงจาก บมจ. กสท บมจ. ทีโอที ผู้ให้บริการเคเบิลทีวีท้องถิ่น ผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือ และโรงงานผลิตสายที่ผลิต Lot เดียวกัน เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ผลิตขายในท้องตลาดตามรูปที่ 3.20 ประกอบการศึกษาและทดลอง เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบประกอบการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างสาย OFC สำหรับ Access Service ทุกขนาดที่ส่งทดลองวัสดุ



รูปที่ 3.21 เครื่องมือวิเคราะห์ Thermal Analysis และ X-ray Fluorescence Analysis



รูปที่ 3.22 เครื่องมือวิเคราะห์ FT-IR และผลการวิเคราะห์

วิเคราะห์หาชนิดของวัสดุด้วยเครื่อง Thermal Analysis และ X-ray Fluorescence Analysis ตามรูปที่ 3.21 และเครื่อง FT-IR (Fourier Transform infrared Spectrometer) ตามรูปที่ 3.22 ในห้องปฏิบัติการ ผลการใช้เครื่องมือวิเคราะห์วัสดุตามข้อกำหนด [3] ทุกตัวอย่างได้ตามมาตรฐานที่ระบุในข้อกำหนด รายละเอียดตามตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

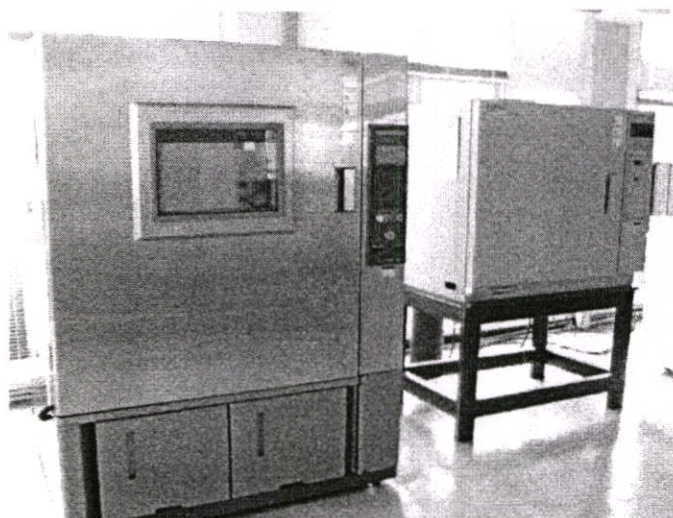
ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวภายในหัวต่อ มีการตั้งสมมุติฐานว่าสาเหตุอาจมาจาก อุณหภูมิที่ติดตั้งใช้งาน อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการหดตัวของวัสดุที่เป็นพลาสติก จึงทดลองตาม สมมุติฐานที่ตั้งไว้ในหัวข้อการหดตัว (Shrink back) ของวัสดุที่เป็นพลาสติก ทดลองที่อุณหภูมิ $115 \pm 1^{\circ}C$ [3][10] ตามข้อกำหนด และทดลองที่อุณหภูมิ $55 \pm 1^{\circ}C$ ความชื้น 85% ซึ่งเป็น อุณหภูมิและความชื้นที่นำไปงานจริง โดยอ้างอิงอุณหภูมิและความชื้นจากข้อกำหนดในการทดลอง คู่ชุมสาย DLC (Digital Loop Carrier) ด้วยเครื่อง Oven และ Temperature & Humidity Chamber ตามลำดับตามรูปที่ 3.23

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองชนิดของพลาสติกและโลหะ

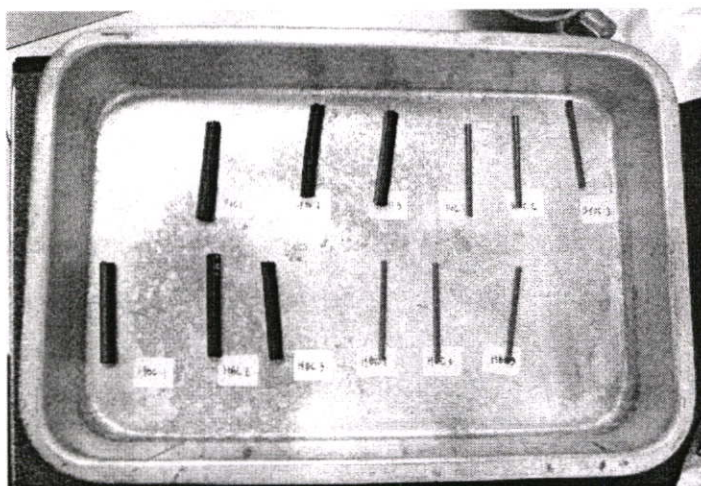
บริษัทผู้ผลิต/ตัวอย่าง	ชนิดพลาสติก Cable Sheath	ชนิดพลาสติกของ Loose Tube	ชนิดโลหะของ Support Steel Wire
Hitachi จำกัด # 1	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Hitachi จำกัด # 2	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Hitachi จำกัด # 3	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Siam Fiber จำกัด # 1	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Siam Fiber จำกัด # 2	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Siam Fiber จำกัด # 3	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Thai Fiber จำกัด # 1	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Thai Fiber จำกัด # 2	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Thai Fiber จำกัด # 3	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Sum sung จำกัด #1	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Sum sung จำกัด #2	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Sum sung จำกัด #3	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
LG Cable จำกัด # 1	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
LG Cable จำกัด # 2	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
LG Cable จำกัด # 3	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
MVT จำกัด # 1	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
MVT จำกัด # 2	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
MVT จำกัด # 3	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Spec. Limit	HD-PE	PBT	Galvanized Steel

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองหาค่าความหนาของ Support Strand Steel Wire และ Cable Sheath

บริษัทผู้ผลิต/ตัวอย่าง	ความหนา Support Steel Wire	เส้นผ่านศูนย์กลาง Support Steel Wire	ความหนา Cable Sheath
Hitachi จำกัด # 1	1.39	1.62	1.64
Hitachi จำกัด # 2	1.36	1.62	1.61
Hitachi จำกัด # 3	1.37	1.61	1.63
Siam Fiber จำกัด# 1	1.49	1.61	1.60
Siam Fiber จำกัด# 2	1.51	1.63	1.58
Siam Fiber จำกัด# 3	1.37	1.61	1.54
Spec. Limit	Min. 1.0 mm	≈ 1.60 mm	Min. 1.5 mm



รูปที่ 3.23 ตู้ Oven และ Temperature & Humidity Chamber ที่ทดลอง Shrink back



รูปที่ 3.24 ตัวอย่างหลังผ่านการทดลอง Shrink back

จากมาตรฐานงานพลาสติกกำหนดค่าการหดตัวของพลาสติก (Shrink back) ของ LD-PE มีค่าการหดตัว 1-2 % HD-PE มีค่าการหดตัว 2-3% และมีความแข็งตัวมากกว่า LD-PE ซึ่งในกระบวนการผลิตของโรงงาน อาจทำให้โครงสร้างทางเคมีของพลาสติกมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น โรงงานจึงกำหนดมาตรฐานค่าการหดตัวของพลาสติก HD-PE ให้ค่าการหดตัวไม่เกิน 5% ซึ่งผลการทดลองการหดตัวของวัสดุที่อุณหภูมิ $115 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และ $55 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ความชื้น 85% ทุกตัวอย่างมีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่กำหนด รายละเอียดตามตารางที่ 3.3 และ 3.4

ตารางที่ 3.3 ค่าการหดตัวของ Loose Tube ที่ $115 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และ 55°C ความชื้น 85%

บริษัทผู้ผลิต/ตัวอย่าง	Shrink back (%) อุณหภูมิ $115 \pm 1^{\circ}\text{C}$	Shrink back (%) อุณหภูมิ 55°C , ความชื้น 85%
Hitachi จำกัด # 1	0.00 %	0.19 %
Hitachi จำกัด # 2	0.20 %	0.00 %
Hitachi จำกัด # 3	0.77 %	0.00 %
Siam Fiber จำกัด # 1	0.19 %	0.00 %
Siam Fiber จำกัด # 2	0.38 %	0.19 %
Siam Fiber จำกัด # 3	0.20 %	0.19 %
Spec. Limit	Max. 5.00 %	ไม่มีมาตรฐานกำหนด

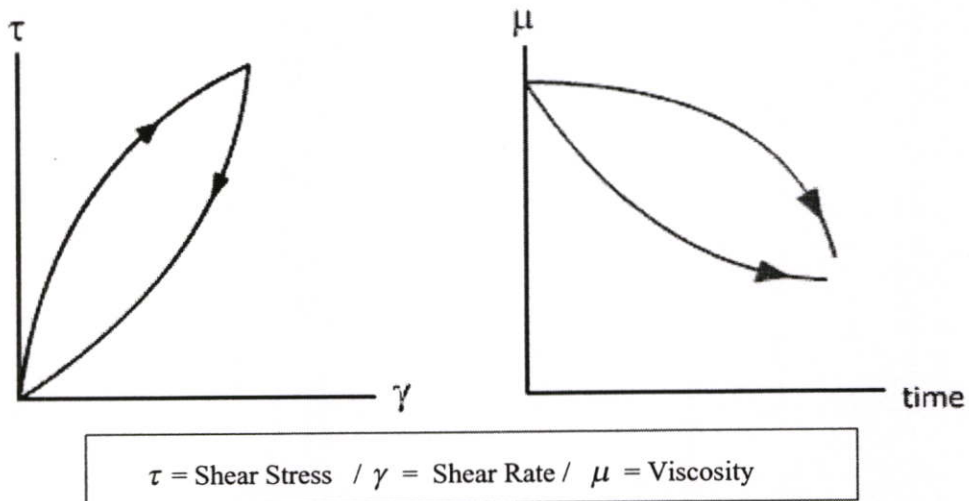
ตารางที่ 3.4 ค่าการหดตัวของ Cable Sheath ที่ $115 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และ $55 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ความชื้น 85%

บริษัทผู้ผลิต/ตัวอย่าง	Shrink back (%) $115 \pm 1^{\circ}\text{C}$	Shrink back (%) 55°C ความชื้น 85%
Hitachi จำกัด # 1	0.02 %	0.38 %
Hitachi จำกัด # 2	4.00 %	0.00 %
Hitachi จำกัด # 3	3.24 %	0.77 %
Siam Fiber จำกัด # 1	2.87 %	0.56 %
Siam Fiber จำกัด # 2	4.01 %	0.38 %
Siam Fiber จำกัด # 3	3.36 %	0.19 %
Spec. Limit	Max. 5.00 %	ไม่มีมาตรฐานกำหนด

โดยสรุปจากผลการทดลองพบว่าสายตัวอย่างส่วนที่เป็นพลาสติก HD-PE (Cable Sheath) และพลาสติก PBT (Loose Tube) ของสาย OFC สำหรับ Access Service ทุกตัวอย่างมีค่าการหดตัวของพลาสติกเป็นไปตามมาตรฐาน จึงตัดประเด็นปัญหาสาย OFC สำหรับ Access Service เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวสาเหตุมาจากวัสดุออกไป

3.3.2 สาร Thixotropic Compound

สาร Thixotropic มีคุณสมบัติเป็นของไหลที่ค่าความหนืดจะลดลงตามระยะเวลา เมื่อของไหลได้รับแรงเค้นเฉือนในอัตราคงที่ ค่าความหนืดของของไหลพวกนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับค่า Shear Stress และ Shear Rate แล้ว ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลา (Time Dependent Non-Newtonian Fluids) ที่ของไหลได้รับแรงเค้นเฉือนคงที่ที่ได้รับตามผังรูปที่ 3.25 ลักษณะการไหลประเภทนี้ จะพบในวัสดุประเภท Grease สีทาบ้าน และน้ำหมึกสำหรับเครื่องพิมพ์ขนาดใหญ่ เป็นต้น



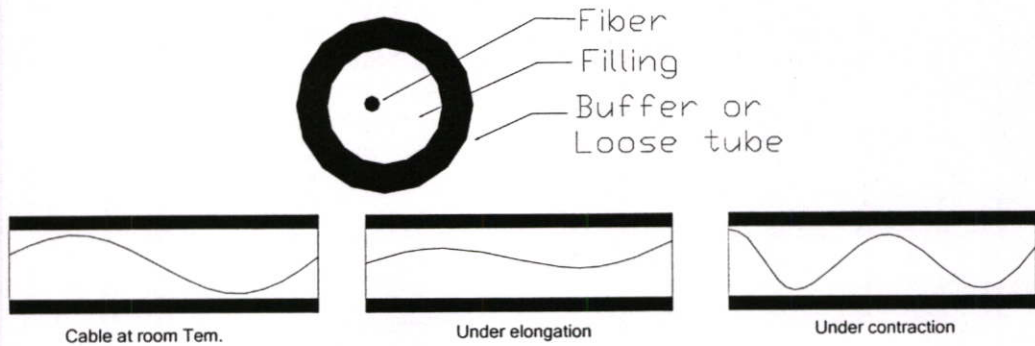
รูปที่ 3.25 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบ Non-Newtonian Thixotropic

Thixotropic Compound สำหรับใช้ในงานด้านโทรคมนาคมนั้น จะใช้เป็น Filling Compound ใน Loose Tube ของ Optical Fiber มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันน้ำ ความชื้น และป้องกันเส้นใยเส้นใยแก้วนำแสงไม่ให้แตกหักหากเคเบิลมีการเคลื่อนตัว Compound ชนิดนี้ จะมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว เมื่ออยู่ในสภาวะปกติไม่มีแรงกระทำใดๆ จะมีลักษณะกึ่งแข็ง สามารถละลายเป็นของเหลวได้เมื่อมีแรงกระทำใด ๆ เช่น การสั่นสะเทือน แรงกดหรือบีบอัด สามารถป้องกัน Micro Bending Loss ของเส้นใยแก้วนำแสงได้

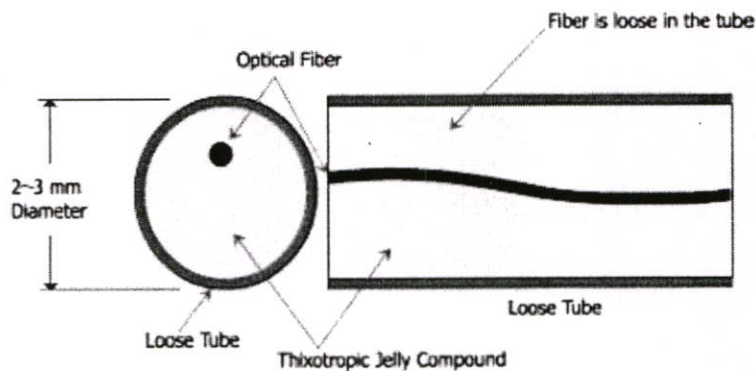
3.3.3 Fiber Access length ใน Loose Tube

สาย Optical Cable มาตรฐานการผลิตระบุให้เส้นใยแก้วนำแสง ยาวกว่า Loose Tube (Access length) 0.1 % ถึง 0.3 % [5] เพื่อให้เส้นใยแก้วนำแสง ยึดหยุ่นรองรับการโค้งงอ ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง และ Loose Tube มีสาร Thixotropic Compound ป้องกันเส้นใยแก้วนำแสง จากแรงกระทำจากภายนอก ซึ่งเส้นใยแก้วนำแสง ที่วางตัวคล้ายตัวหนอนใน Loose Tube เมื่อเจอสภาพแวดล้อมจากการใช้งาน เช่น แรงดึง แรงกด เส้นใยแก้วนำแสง จะเคลื่อนตัวโดยมี

Thixotropic Compound ปรับสภาพตามการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสง ป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหาย ตามรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 Fiber Access lengths ใน Loose Tube และสถานะต่างๆ ของเส้นใยแก้วนำแสง

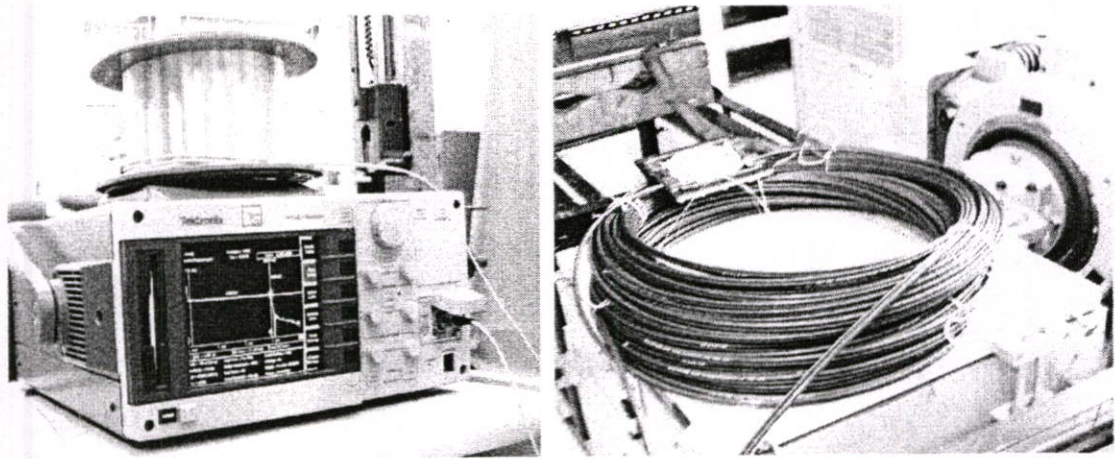


รูปที่ 3.27 แสดงโครงสร้าง Access length เส้นใยแก้วนำแสง ใน Loose Tube

3.3.4 ทดลอง Vibration สาย OFC สำหรับ Access Service

สาย OFC สำหรับ Access Service ติดตั้งใช้งานจะแขวนกับเสาไฟฟ้าระยะห่างเสา (Span) 40 ถึง 60 เมตร สูงจากพื้น 4 ถึง 5 เมตร สายจะแกว่งตามแรงลมหรือสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกที่วิ่งบนถนน ซึ่งผลจากแรงกระทำดังกล่าวจะมีผลต่อการติดตั้งใช้งานสาย OFC สำหรับ Access Service หรือไม่

เตรียมสาย Optical Cable และสาย OFC สำหรับ Access Service โดยตัวอย่างทดสอบยาวเส้นละ 50 เมตร มาตัดต่อเหมือนใช้งานจริง ทดลองสั่น (Vibration) ตามมาตรฐาน TIA/EIA ด้วยเครื่องมือทดลอง: Vibration Test System ที่ความถี่ 10-20 Hz Amplitude 3.0 mm และวัดค่า Loss ของเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยเครื่อง OTDR ทุก 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 168 ชั่วโมง (7 วัน) ตามรูปที่ 3.28



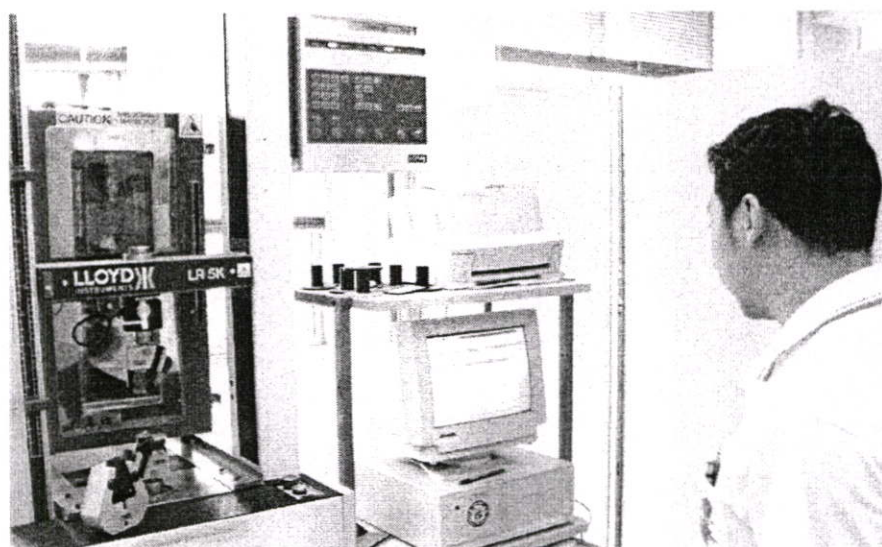
รูปที่ 3.28 ทดลอง Vibration สาย OFC สำหรับ Access Service และสาย Optical Cable

ผลการทดลองทุกตัวอย่างไม่มีค่า Loss เกิดขึ้น (มาตรฐาน $\leq 0.01dB$) [9] และพบว่าเส้นใยแก้วนำแสงของสาย OFC สำหรับ Access Service เคลื่อนออกจาก Loose Tube เริ่มอึดตัวในวันที่ 3 ของการทดลอง และหลังจากทดลองครบ 7 วัน เส้นใยแก้วนำแสงไม่เคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube เพิ่มขึ้น

สรุปได้ว่าสาย Optical Cable ไม่มีปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube ขณะที่สาย OFC สำหรับ Access Service มีปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวจาก Loose Tube โดยมีจุดอึดตัว หลังจากทดลอง 3 วัน

3.3.5 ทดลองการรับแรงดึง (Tensile) ของ Support Steel Wire

Support Steel Wire ของสาย OFC สำหรับ Access Service เป็นชนิด Extra High Strength Grade เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 mm มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM B-498 [3] การรับแรงเมื่อติดตั้งใช้งานระบุเพียงระยะ Span เสาไม่เกิน 40 เมตร ช่วงดกท้องช้าง (Sag) 1 % ไม่ระบุค่าการรับแรงดึงของ Support Steel Wire ทดลองค่าการรับแรงดึงตามรูปที่ 3.29 โดยสุ่มตัวอย่างสายจากจังหวัดกาญจนบุรีทดลองเปรียบเทียบกับสายที่สุ่มจาก บริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) ผลการทดลองการรับแรงดึงทุกตัวอย่างทดลองมีค่าใกล้เคียงกันรายละเอียดตามตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.29 ทดลองแรงดึง (Tensile) ของ Steel Wire และ Bare Fiber

ตารางที่ 3.5 ค่าแรงดึง (Tensile) ของ Steel Wire

Sample	สายตัวอย่างจากพื้นที่ใช้งาน (จังหวัดกาญจนบุรี)			ผู้มาจากบริษัท
	SFO	HBC	TFOC	HBC
1	325.00	320.00	330.00	320.00
2	327.00	324.00	325.00	327.00
3	326.00	325.00	328.00	324.00
4	325.00	325.00	326.00	326.00
5	323.00	326.00	324.00	325.00
avg.	325.20	324.00	326.60	324.40
unit	kgf.			kgf.

3.3.6 ทดลองการรับแรงดึงของเส้นใยแก้วนำแสง

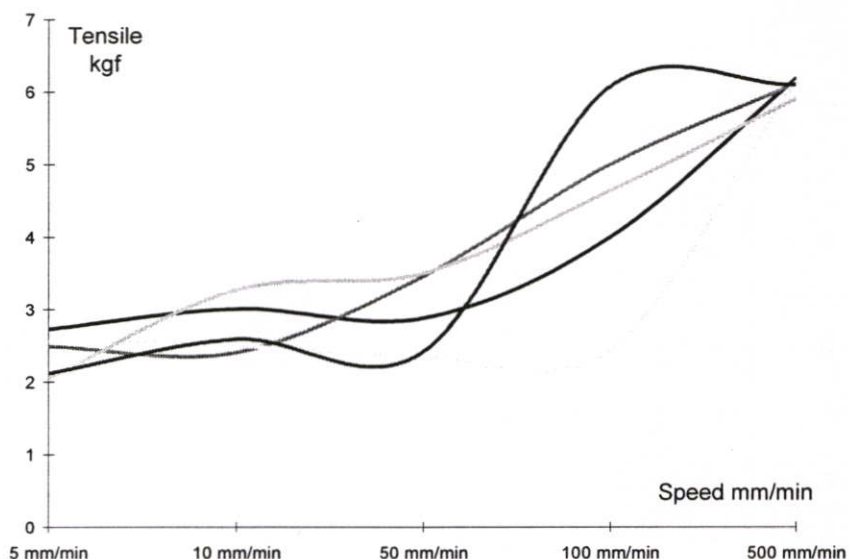
มาตรฐานการรับแรงดึง (Tensile) ของเส้นใยแก้วนำแสงหรือ Bare Fiber ของโรงงานผลิต Bare Fiber รับแรงดึงประมาณ 6 kgf. ที่ความเร็ว 500 mm/min แต่จากสภาพการเคลื่อนตัวจริงของเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดกับสาย OFC สำหรับ Access Service ความเร็วที่สันนิษฐานน่าจะน้อยกว่าความเร็วที่ใช้ตรวจสอบวัตถุดิบในโรงงานมาก ซึ่งจากการหารือโรงงานผลิตในประเทศไทยยังไม่พบโรงงานใดทดลองเส้นใยแก้วนำแสงที่ความเร็วทดลองต่างจากความเร็ว 500 mm/min เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลในการวิเคราะห์ปัญหา จึงทดลองหาค่าการรับแรงดึงของ Bare Fiber แต่ละ

เส้นที่ความเร็วต่างๆ ด้วยเครื่อง Tensile LLOYD Model LR 5K เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ในการแก้ปัญหาต่อไป

ตารางที่ 3.6 ค่าการรับแรงดึง (Tensile) ของ Bare Fiber แต่ละเส้นที่ความเร็วต่างๆ

ตัวอย่างที่	Speed				
	500 mm/min	100 mm/min	50 mm/min	10 mm/min	5 mm/min
1	6.18	4.00	2.88	3.01	2.73
2	6.11	5.00	3.47	2.41	2.49
3	6.14	2.45	2.33	2.50	2.57
4	5.90	4.64	3.51	3.28	2.05
5	6.09	6.07	2.42	2.59	2.12
เฉลี่ย	6.08	4.43	2.92	2.76	2.39
Unit	kgf.				

การรับแรงดึง (Tensile) เฉลี่ยของ Bare Fiber แต่ละเส้นที่ความเร็วต่างกันพบว่า Speed สูงกว่า 50 mm/min ค่าแรงดึงจะแตกต่างกันมาก แต่ Speed ต่ำกว่า 50 mm/min ค่าแรงดึงจะแตกต่างกันน้อยมากเฉลี่ยประมาณ 2.4 kgf.



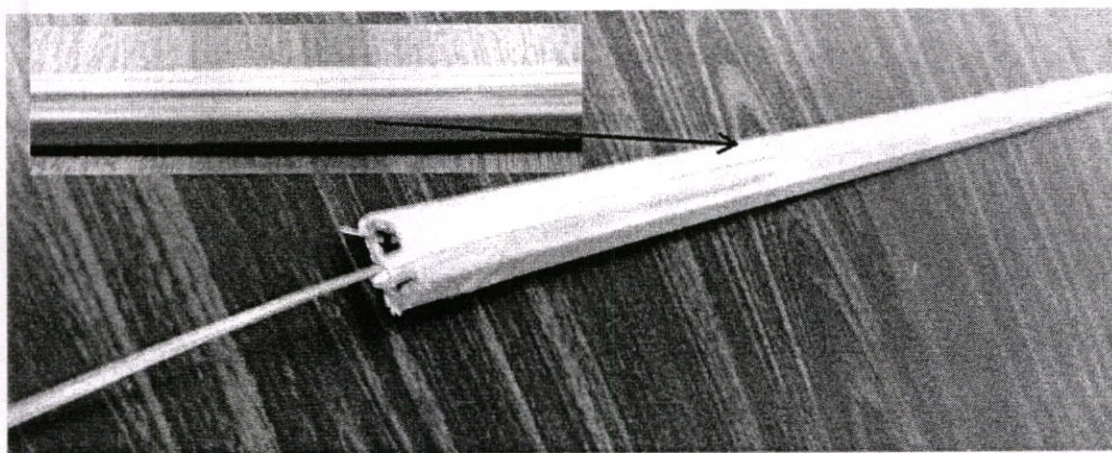
รูปที่ 3.30 กราฟแสดงค่าการรับแรงดึง (Tensile) เฉลี่ยของ Bare Fiber

สรุปผลการทดลองการรับแรงดึงของสาย OFC สำหรับ Access Service แต่ละ Cores ประมาณ 2.4 kgf. ถ้า Bare Fiber 12 Cores รับแรงดึงพร้อมกันจะได้ $12 \times 2.4 = 28.8$ kgf. แต่

ขบวนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงที่วางใน Loose Tube จะมีความตึงของเส้น Fiber แต่ละเส้นไม่เท่ากัน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงกำหนดค่าเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวจนกระทั่งเส้นใยแก้วนำแสงขาดต้องมีตึงเส้นใยแก้วนำแสง มากกว่า 2.4 kgf./core (10 mm/min) เป็นข้อมูลอ้างอิง

3.3.7 ทดลองการรับเค้น (Stress) ของเส้นใยแก้วนำแสง

ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในหัวต่อของสาย OFC สำหรับ Access Service กรณีมีแรงเค้นจากภายนอกดันเข้าไปใน Loose Tube แรงกระทำที่เกิดกับเส้นใยแก้วนำแสงมีเล็กน้อยเพียงใด และผลจากแรงเค้นทำความเสียหายต่อเส้นใยแก้วนำแสงหรือไม่ จึงจำลองแรงกระทำที่เกิดกับเส้นใยแก้วนำแสงใน Loose Tube



รูปที่ 3.31 จำลองแรงเค้นที่เกิดกับเส้นใยแก้วนำแสง ใน Loose Tube

ทดลองแรงเค้นที่เกิดกับเส้นใยแก้วนำแสง โดยจำลอง Loose Tube จากท่อกลมใสที่มองเห็นเส้นใยแก้วนำแสงภายในท่อ และบังคับทิศทางด้วยประกับยาว 1 เมตร สอดเส้นใยแก้วนำแสง 12 Cores เข้าไปในท่อกลม ปลายด้านหนึ่งจับยึดเส้นใยแก้วนำแสง ไม่ให้เคลื่อนตัวตามรูปที่ 3.31 จากนั้นทดลองดันเส้นใยแก้วนำแสง พร้อมกันทั้ง 12 Cores ผลการทดลองพบว่าเส้นใยแก้วนำแสงจะโค้งงอรูปตัว "S" ตามแรงเค้นสลับไปมาในท่อกลม จนกระทั่งเส้นใยแก้วนำแสง โค้งงอเต็มที่ ไม่สามารถที่จะดันเส้นใยแก้วนำแสง เข้าไปในท่อกลมได้อีก ลักษณะเส้นใยแก้วนำแสงที่โค้งงอรูปตัว "S" มีลักษณะเป็น Curve ไม่มีการหักงอ ซึ่งมุม Curve มากกว่ารัศมีโค้งงอที่ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหายมาก



รูปที่ 3.32 หาค่าแรงเค้นสูงสุดของเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยเครื่องชั่งละเอียด

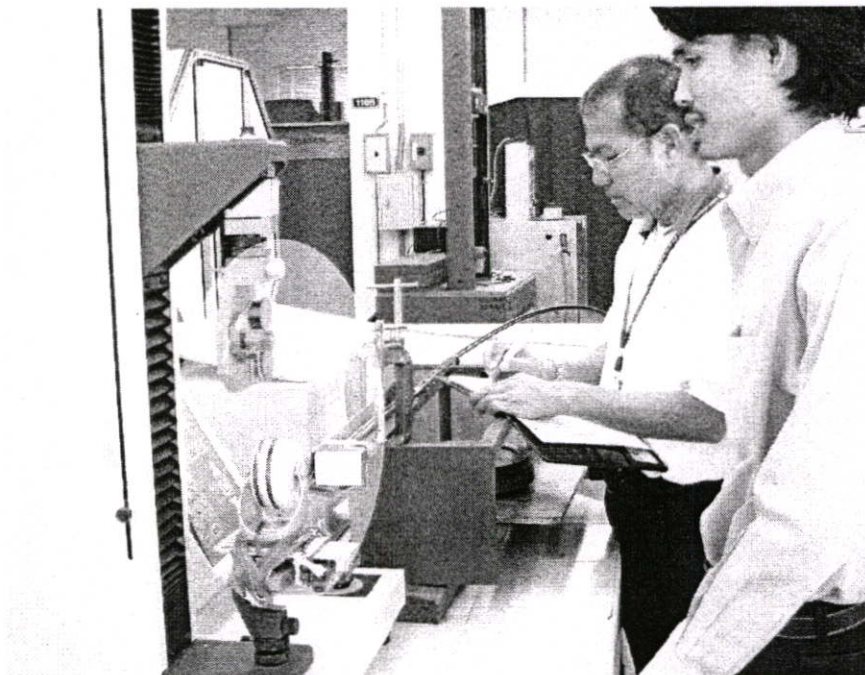
เพื่อหาค่าแรงเค้นสูงสุดของเส้นใยแก้วนำแสง จนเป็นรูปตัว "S" Curve ในท่อกลม ทดลองแรงเค้นด้วยเครื่องชั่งละเอียด 3 ตำแหน่ง จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 1 Core และ 12 Cores ตามรูปที่ 3.32 ผลการทดลองแรงเค้นสูงสุดของเส้นใยแก้วนำแสง 1 และ 12 Cores สูงสุด 14.95 กรัม ตามตารางที่ 3.7 สรุปได้ว่าเส้นใยแก้วนำแสงที่ชำรุดเสียหายจากการติดตั้งใช้งานในสนามเกิดจากแรงรั้งดึงจากภายในของ Loose Tube เองไม่ใช่แรงเค้นภายในหัวต่อ (Fiber 1 Core รับแรงดึง 2.4 kgf.)

ตารางที่ 3.7 ค่าการรับแรงเค้น (Pressure) ของเส้นใยแก้วนำแสง 12 Cores และ 1 Core

Sample	12 Cores (g.)	Sample	12 Cores (g.)	Sample	1 Core (g.)	Sample	1 Core (g.)
1	14.95	6	3.70	1	0.70	6	0.31
2	8.32	7	3.38	2	0.61	7	0.34
3	14.53	8	3.24	3	0.63	8	0.80
4	3.56	9	3.26	4	0.30	9	0.77
5	3.62	10	3.10	5	0.32	10	0.30
		Max	14.95			Max	0.80
		MIN	3.10			MIN	0.30
		Aver	6.17			Aver	0.51

3.3.8 ทดลองการจับยึด (Friction)

ทดลองค่า Friction ของเส้นใยแก้วนำแสงและ Loose Tube เปรียบเทียบ OFC สำหรับ Access Service และ Optical Cable ที่จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 12 Cores/Loose Tube จำนวนเท่ากัน

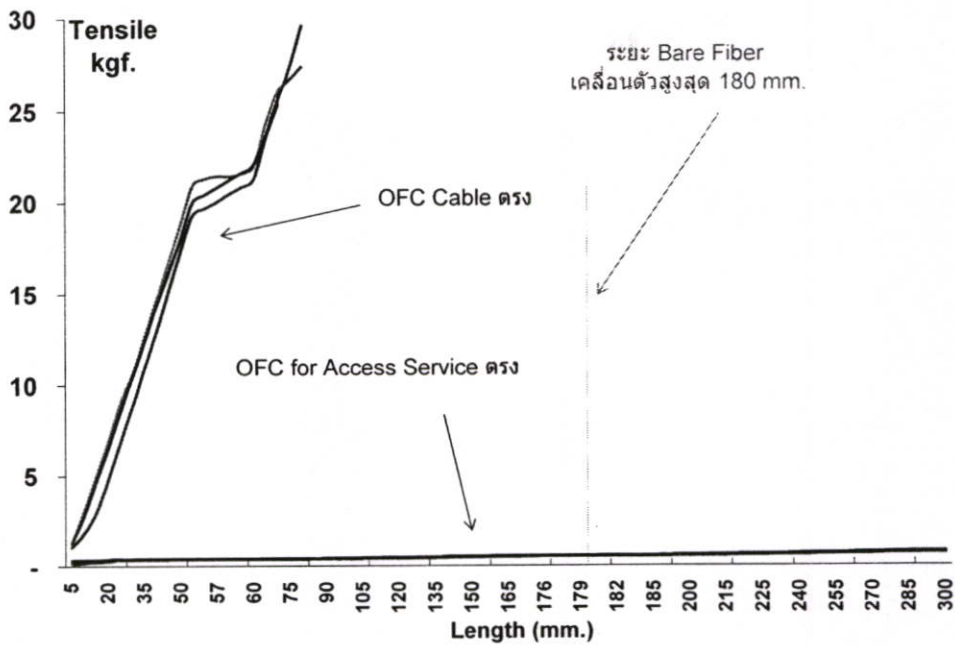


รูปที่ 3.33 ทดลอง ค่า Friction ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง กับ Loose Tube

ทดลองค่า Friction ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับ Loose Tube ทุกตัวอย่างใช้เส้นใยแก้วนำแสง 12 Cores/Tube ความเร็วในการทดลอง 10 mm/min โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง ดังนี้

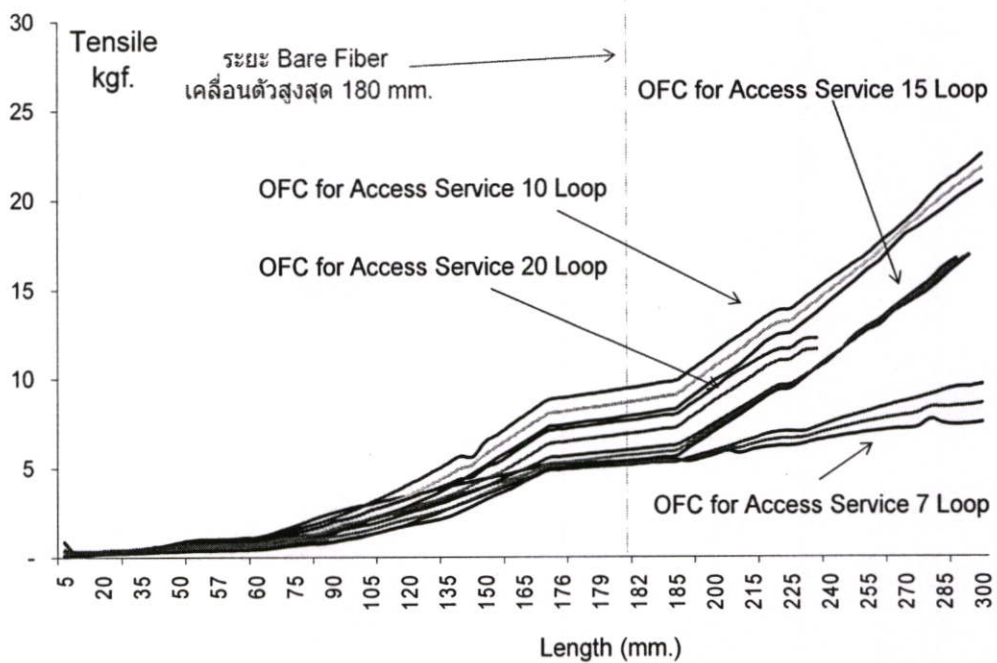
- | | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 1) Optical Cable | แนวตรง 3 ตัวอย่าง |
| 2) OFC สำหรับ Access Service | แนวตรง 3 ตัวอย่าง |
| 3) OFC สำหรับ Access Service | โค้ง Loop 7 รอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง |
| 4) OFC สำหรับ Access Service | โค้ง Loop 10 รอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง |
| 5) OFC สำหรับ Access Service | โค้ง Loop 15 รอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง |
| 6) OFC สำหรับ Access Service | โค้ง Loop 20 รอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง |

ทดลองค่า Friction ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับ Loose Tube แนวตรง ทุกตัวอย่างใช้เส้นใยแก้วนำแสง 12 Cores/Tube สายยาว 10 m Speed 10 mm/min ผลการทดลองค่า Friction แนวตรงพบว่าสาย Optical Cable มีค่า Friction สูงกว่าสาย OFC สำหรับ Access Service อย่างชัดเจน

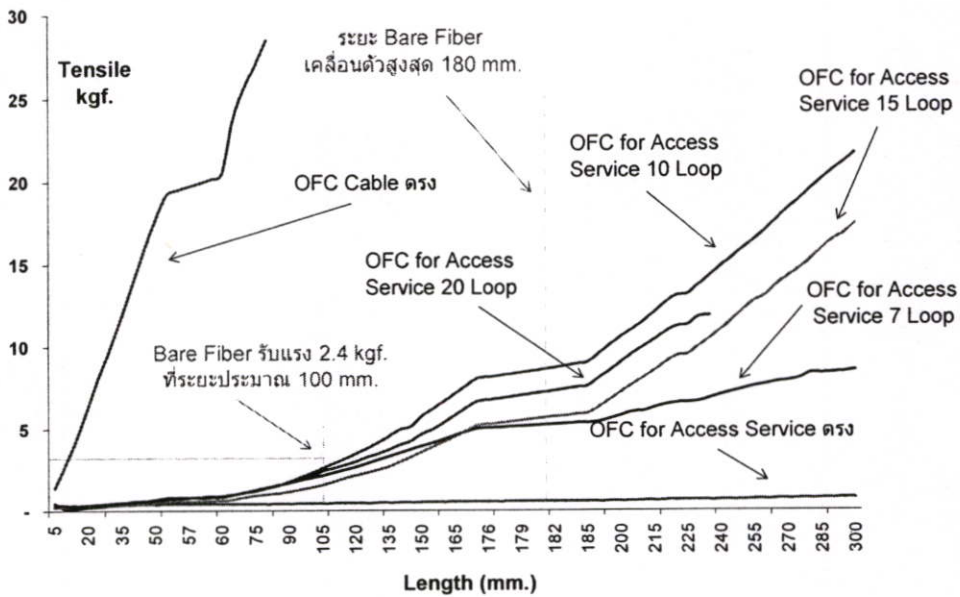


รูปที่ 3.34 กราฟค่า Friction แนวตรงของสาย Optical Cable และสาย OFC สำหรับ Access Service

สาย OFC สำหรับ Access Service ที่มีปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออก เพื่อแก้ปัญหาสายที่ติดตั้งใช้งานไปแล้ว โดย Loop เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร จำนวน Loop 7 10 15 และ 20 รอบ ตามลำดับ



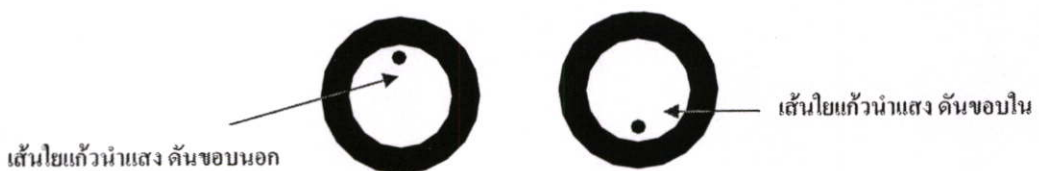
รูปที่ 3.35 กราฟค่า Friction สาย OFC สำหรับ Access Service จำนวน Loop 7 10 15 และ 20 รอบ



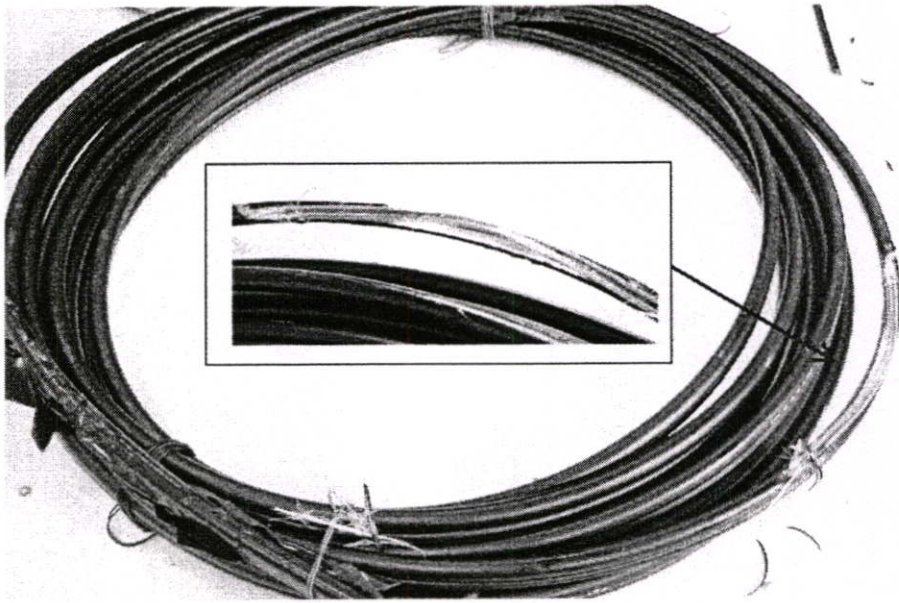
รูปที่ 3.36 สรุปภาพรวมกราฟค่า Friction ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง

ผลการทดลอง Friction สาย OFC สำหรับ Access Service สรุปได้ว่าการ Loop สายสามารถลดปัญหาการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงได้ จำนวน Loop ที่เหมาะสมคือ 10 รอบ กรณีมีข้อจำกัดในการ Loop สาย จำนวน Loop ต่ำสุดไม่ควรน้อยกว่า 7 รอบ จากรูปที่ 3.36 ระยะเคลื่อนตัวที่ 100 mm เส้นใยแก้วนำแสงรับแรงดึงเฉลี่ยที่ 2.4 kgf. ประมาณ 55 % จากระยะเคลื่อนตัวสูงสุดที่ 180 mm ดังนั้น Fix Loop สามารถแก้ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวได้ 55 % (ระยะที่เส้นใยแก้วนำแสงรับแรงดึงสูงสุด 2.4 kgf/Core ที่ระยะเคลื่อนตัว 100 mm อ้างอิง)

วิเคราะห์เหตุใดจำนวน Loop 10 รอบ จึงมีค่า Friction มากกว่า Loop 15 และ 20 รอบทั้งที่จำนวน 10 รอบน้อยกว่า ผลจากการกรีด Cable Sheath คูโครงสร้างภายในเปรียบเทียบจำนวน Loop 10 15 และ 20 รอบ พบว่าที่ จำนวน Loop 15 และ 20 รอบ เส้นใยแก้วนำแสงใน Loose Tuber อยู่ในตำแหน่งเอียงไปทางขอบนอกของ Loose Tube ขณะที่ จำนวน Loop 10 รอบ เส้นใยแก้วนำแสง ใน Loose Tuber อยู่ในตำแหน่งเอียงไปทางขอบในของ Loose Tube เมื่อมีแรงดึงการเคลื่อนของเส้นใยแก้วนำแสงที่ 10 รอบจะมีค่า Friction มากกว่า ซึ่งสรุปได้ว่าตำแหน่งของเส้นใยแก้วนำแสง ใน Loose Tube มีผลต่อค่า Friction ตามรูปที่ 3.37 และ 3.38



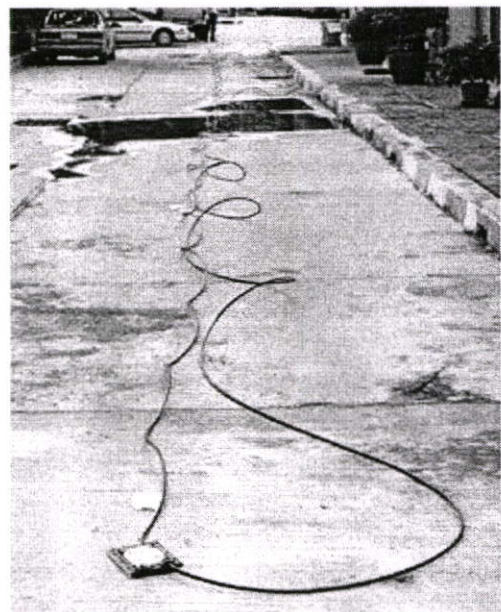
รูปที่ 3.37 แสดงเส้นใยแก้วนำแสงใน Loose Tuber อยู่ในตำแหน่งเอียง ขอบนอกและขอบใน



รูปที่ 3.38 กริด Cable Sheath คูณลักษณะเส้นใยแก้วนำแสง ภายใน Loose Tuber

3.3.9 จำลอง Loop และคลี่สายเหมือนสภาพใช้งานจริง

ตัวอย่างทดลองยาว 50 เมตร 2 เส้น นำมาตัดต่อ (Fusion) เส้นใยแก้วนำแสงด้วยหัวต่อเหมือนสภาพใช้งานจริง ทดลองจำนวน 3 ตัวอย่าง ตามรูปที่ 3.39 ผลการทดลองเส้นใยแก้วนำแสง มีการเคลื่อนตัวตามวง Loop กล่าวคือ เมื่อคลี่สายตรงเส้นใยแก้วนำแสงจะหดตัวเข้าไปใน Loose Tube แต่เมื่อ Loop สายกลับเส้นใยแก้วนำแสง จะเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube



รูปที่ 3.39 ทดลองคลี่ Loop เพื่อดูค่า Friction ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง กับ Loose Tube

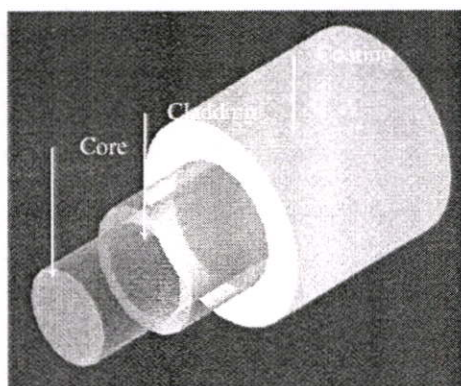


รูปที่ 3.40 เส้นใยแก้วนำแสง ที่เคลื่อนออกจาก Loose Tube เมื่อ Loop สาย

ผลการทดลองสอดคล้องกับการเก็บข้อมูลภาคสนามด้านที่มีจำนวนรอบของวง Loop มาก เส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อด้านนั้นเส้นใยแก้วนำแสงจะเคลื่อนตัวในหัวต่อมากตาม ดังนั้น Service Loop ก่อนถึงหัวต่อจึงมีผลทำให้เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออก เมื่อคลี่ Service Loop เพื่อซ่อมบำรุง

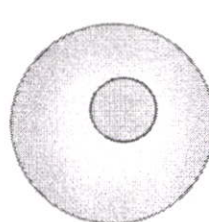
3.4 ตรวจวัด Mode Field Diameter และโครงสร้าง Geography

ตรวจวัด Mode Field Diameter และโครงสร้าง Geography จากกลุ่มตัวอย่างที่สุ่ม 5 ตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบ Bar Fiber ที่ผลิตสาย OFC สำหรับ Access Service ว่าได้มาตรฐาน [9] ตามที่ระบุว่า Mode Field Diameter ที่ Wavelength 1310 nm อยู่ที่ 8.6 - 9.5 μm Tolerance $\pm 0.7 \mu\text{m}$ และ Cladding Diameter กำหนด Nominal 125.0 μm Tolerance $\pm 2\%$ ผลการตรวจวัดค่า Mode Field Diameter และโครงสร้าง Geography ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ตามรูปที่ 3.43 ทุกตัวอย่างทดลองอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดค่าเฉลี่ยประมาณ 9.07 μm

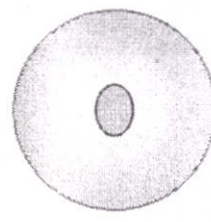


ได้มาตรฐาน

ไม่ได้มาตรฐาน



Core Eccentricity

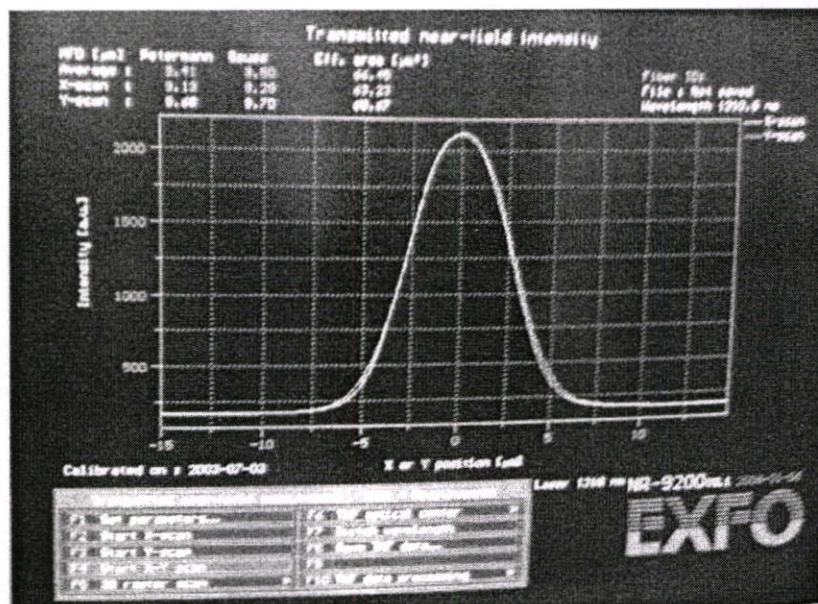


Core Ellipticity

รูปที่ 3.41 แสดง Geography ของ Bare Fiber



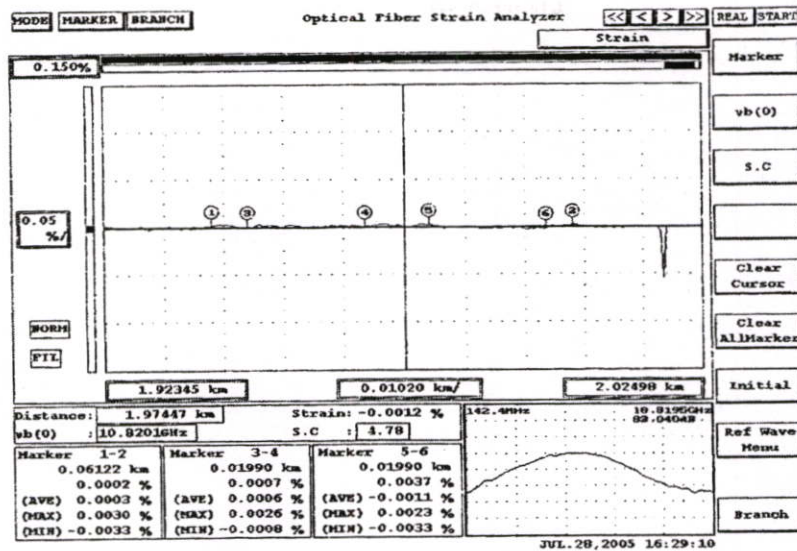
รูปที่ 3.42 เครื่องมือวิเคราะห์ Mode Field Diameter และ โครงสร้าง Geography



รูปที่ 3.43 ผลการวิเคราะห์ Mode Field Diameter และ โครงสร้าง Geography

3.5 ตรวจวัด Fiber Strain และ Stress และ Chromatic Dispersion

ข้อมูลจากกาญจนบุรีหั่วต่อบริเวณหน้าโรงแรมเฟลิกซ์ ที่พบว่าเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวแต่ละ Core ไม่เท่ากัน ผู้วิจัยได้ขอความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC) ตรวจวัดค่า Fiber Strain และ Stress และ Chromatic Dispersion เพื่อดูความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงจากตัวอย่างว่าผิดพลาดจากขบวนการผลิตหรือไม่ ผลการตรวจวัดสายตัวอย่างทดลอง เป็นไปตามมาตรฐาน



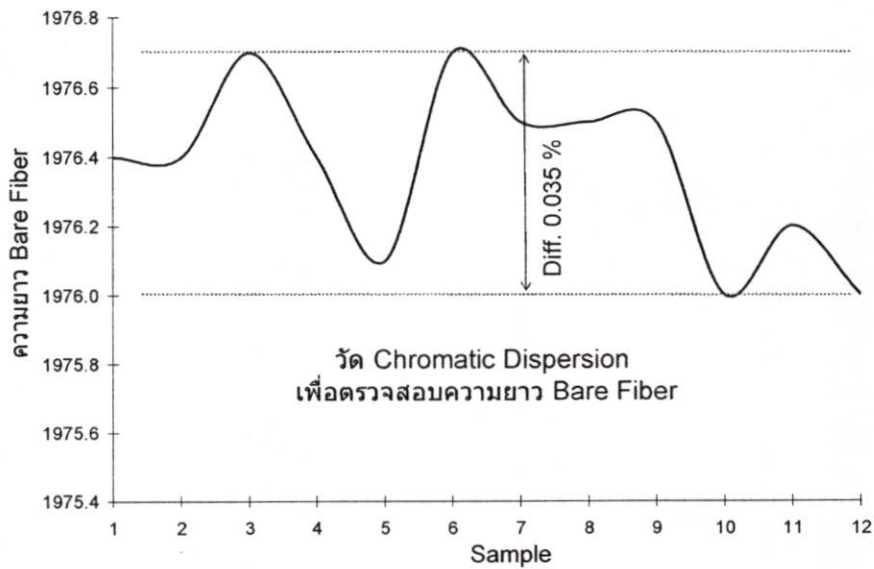
รูปที่ 3.44 กราฟแสดงค่า Fiber Strain และ Stress และ Chromatic Dispersion

สายตัวอย่าง OFC สำหรับ Access Service ที่ทดลองค่า Fiber Strain และ Stress และ Chromatic Dispersion Tube สายตัวอย่างทดลองยาว 1,970 เมตร

- Apply load = 2200 Newton เช็คค่าความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ = 0.005 dB
- Check Fiber Strain และ Stress of Before Load During Load และ Release Load พบว่าค่า Fiber Strain ไม่เปลี่ยนแปลง
- เช็คค่า Chromatic Dispersion เพื่อดูความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงได้ผลดังนี้

1)	Fiber	Blue	length	=	1976.4	เมตร
2)	Fiber	Red	length	=	1976.4	เมตร
3)	Fiber	Orange	length	=	1976.7	เมตร
4)	Fiber	Black	length	=	1976.4	เมตร
5)	Fiber	Green	length	=	1976.1	เมตร
6)	Fiber	Yellow	length	=	1976.7	เมตร
7)	Fiber	Brown	length	=	1976.5	เมตร
8)	Fiber	Violet	length	=	1976.5	เมตร
9)	Fiber	Slate	length	=	1976.5	เมตร
10)	Fiber	Pink	length	=	1976.0	เมตร
11)	Fiber	White	length	=	1976.2	เมตร
12)	Fiber	Aqua	length	=	1976.0	เมตร

สรุปความยาวของเส้นใยแก้วทั้ง 12 เส้นแตกต่างกัน = 0.035% ซึ่งอยู่ในมาตรฐาน

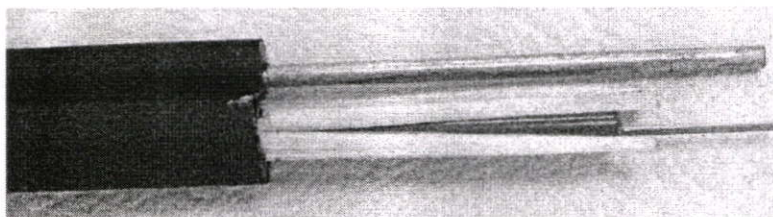


รูปที่ 3.45 กราฟแสดง Chromatic Dispersion ตรวจสอบความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง

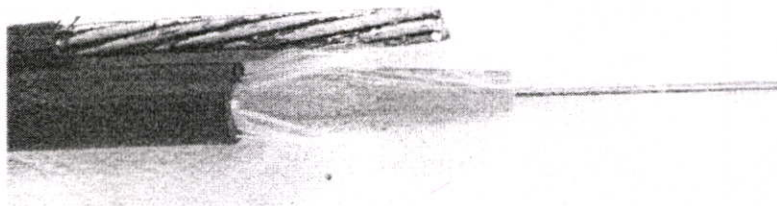
3.6 วิเคราะห์และทดลองเปรียบเทียบ Messenger wire แต่ละแบบ

ระยะห่างเสาไฟฟ้า (Span) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตามมาตรฐานสูงสุดประมาณ 80 เมตร แต่ในทางปฏิบัติสภาพภูมิประเทศบางพื้นที่มีข้อจำกัดในการปักเสา ระยะห่างเสาไฟฟ้าจึงห่างกว่ามาตรฐาน และเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการแขวนสาย โรงงานผู้ผลิตสาย Optical Fiber ได้ผลิตสาย OFC สำหรับ Access Service รองรับการแขวนสายเพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน 2 ชนิด คือ

- 1) Messenger wire Galvanized Steel เส้นเดี่ยวเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.6 mm สำหรับใช้งานระยะห่างเสาไฟฟ้าทั่วไป ตามรูปที่ 3.46
- 2) Messenger wire Galvanized Steel เส้น 7 เส้นตีเกลียวขนาด 7/1.32 mm สำหรับใช้งานระยะห่างเสาไฟฟ้าที่เกินมาตรฐาน ตามรูปที่ 3.47

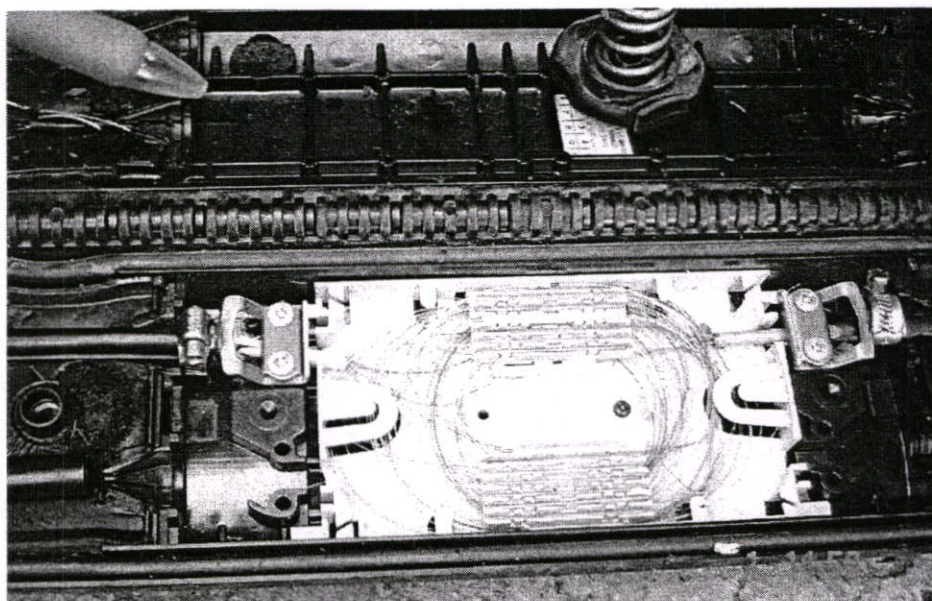


รูปที่ 3.46 Messenger wire ผลิตจาก Galvanized Steel เดี่ยวเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 mm



รูปที่ 3.47 Messenger wire ผลิตจาก Galvanized Steel 7 เส้น ดีเกลียว 7/1.32 mm

จากคำถามค่า Friction สาย OFC สำหรับ Access Service ที่มี Messenger wire ต่างกันจะมีผลต่อเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออกจาก Loose Tube หรือไม่ ผู้วิจัยได้ประสานงานกับบริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) และ บมจ.กสท. ซึ่งนำสาย OFC สำหรับ Access Service ที่มี Messenger wire Galvanized Steel เส้น 7 เส้นดีเกลียวไปติดตั้งใช้งาน ผลการเก็บข้อมูลเมื่อเปิดดูภายในหัวต่อพบปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเหมือนกันตามรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 Messenger wire 7 เส้นดีเกลียวมีปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลื่อนตัวในหัวต่อเหมือนกัน

3.7 สรุป

ผลการเก็บข้อมูลปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออกจาก Loose Tube ของสาย OFC สำหรับ Access Service พบว่า 62 % มีปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว ระยะเคลื่อนตัวสูงสุด 180 mm ขณะที่สาย Optical Cable ไม่มีปัญหาดังกล่าว ซึ่งผลการทดลองวัสดุที่นำมาผลิตสาย OFC สำหรับ Access Service ทุกบริษัทเป็นไปตามมาตรฐาน จึงตัดประเด็นปัญหาจากวัสดุออกไป

ทดลองค่าการจับยึด (Friction) สาย Messenger wire แต่ละรูปแบบผลการทดลองไม่แตกต่างกัน แต่ค่าการจับยึดระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับ Loose Tube ระหว่างสาย Optical Cable เปรียบเทียบกับสาย OFC สำหรับ Access Service แนวตรง ค่า Friction ของสาย Optical Cable สูงกว่าสาย OFC สำหรับ Access Service อย่างชัดเจน จึงทดลองเพิ่มค่า Friction ของสาย OFC สำหรับ Access Service โดยวิธี Loop สาย พบว่าสามารถเพิ่มค่า Friction ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับ Loose Tube ได้ในระดับที่น่าพอใจ

ผลจากการวิเคราะห์และทดลอง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงกำหนดแนวทางศึกษาความน่าจะเป็นที่จะแก้ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออกจาก Loose Tube ของสาย OFC สำหรับ Access Service ดังนี้

- 1) แขนงสาย OFC สำหรับ Access ทิ้งไว้ก่อนตัดต่อเพื่อให้สายลดแรงเค้น
- 2) Fix Loop สาย OFC สำหรับ Access ขณะติดตั้งเพื่อเพิ่มค่า Friction จำนวน Fix Loop เหมาะสมที่สุด 10 รอบ กรณีมีข้อจำกัดจำนวน Fix Loop ไม่ควรต่ำกว่า 7 รอบ (สามารถลดปัญหาสาย OFC สำหรับ Access Service เคลื่อนตัวลงได้ประมาณ 55 %)
- 3) ออกแบบอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในหัวต่อไม่น้อยกว่า 180 mm เพื่อรองรับปัญหาสาย OFC สำหรับ Access ที่ยังมีปัญหาการเคลื่อนตัว

บทที่ 4.

ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว

ผลการศึกษาทดลองปัญหาสาย OFC สำหรับ Access Service เคลื่อนตัวที่ผ่านมา การเพิ่ม Fix Loop เมื่อแวนสาย OFC สำหรับ Access Service สามารถลดปัญหาลงได้ 55 % ดังนั้นปัญหาอีก 45 % จึงกำหนดแนวทางลดปัญหาสาย OFC สำหรับ Access Service เคลื่อนตัวไว้ 2 แนวทาง คือ

- 1) เพิ่มค่า Friction ของสาย OFC สำหรับ Access Service
- 2) ออกแบบอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงบริเวณจุดต่อเชื่อมหรือหัวต่อ

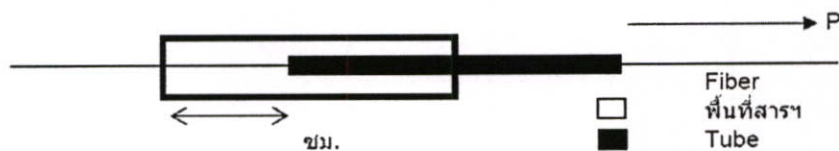
4.1 เพิ่มค่าการจับยึด (Friction) ของสาย OFC สำหรับ Access Service

4.1.1 เพิ่มความหนืดของ Thixotropic Compound

การปรับค่าความหนืดของ Thixotropic Compound เพิ่มขึ้นหรือเจลดเฉพาะ จากการหารือกับ ผู้ผลิต Optic Fiber คือ บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) และ บริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) ได้รับคำแนะนำว่าขบวนการผลิตต้องตั้งค่าเครื่องจักรใหม่ ส่งผลให้ราคาสาย OFC สำหรับ Access Service เพิ่มขึ้นตาม และความหนืดของเจลดเฉพาะที่เพิ่มขึ้นอาจสร้างปัญหา Micro bending Loss ของเส้นใยแก้วนำแสงเมื่อโค้งงอ โดยสรุปในการแก้ปัญหาสาย OFC สำหรับ Access Service เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวนั้น วิธีเพิ่มค่าความหนืดของเจลดเฉพาะไม่เหมาะสมเพราะจะมีปัญหาเรื่องต้นทุนการผลิตและ Micro bending Loss ตามมา

4.1.2 จับยึดเส้นใยแก้วนำแสงติดกับ Loose Tube

แนวคิดเพิ่มค่า Friction ของสาย OFC สำหรับ Access Service ถ้าหาวิธีจับยึดเส้นใยแก้วนำแสงทุก Core ให้ยึดติดกับ Loose Tube เพื่อให้เส้นใยแก้วนำแสงทุก Core ช่วยรับแรงดึงพร้อมกัน ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออก จาก Loose Tube อาจลดลง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงทดลองหาสารเคมีหรือวัสดุเพื่อจับยึดบริเวณปลายที่เส้นใยแก้วนำแสงโผล่ออกจาก Loose Tube โดยไม่ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหาย (เส้นใยแก้วนำแสงรับแรงดึงสูงสุด 2.4 kgf./core) ตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปแบบการจับยึดเส้นใยแก้วนำแสงกับ Loose Tube ด้วยสารเคมี

จากการศึกษาสารเคมีหลายชนิดพบว่าสารซิลิโคนและอะคริลิกพอลิเมอร์เหมาะสมที่สุดสำหรับเพิ่มค่า Friction ของเส้นใยแก้วนำแสง เนื่องจากคุณสมบัติของสารทั้ง 2 ชนิดเมื่อสารแข็งตัวยึดหยุ่นคล้ายยาง ช่วยป้องกันไม่ให้เส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหายจากแรงดึงหรือแรงกดใดระดับหนึ่ง



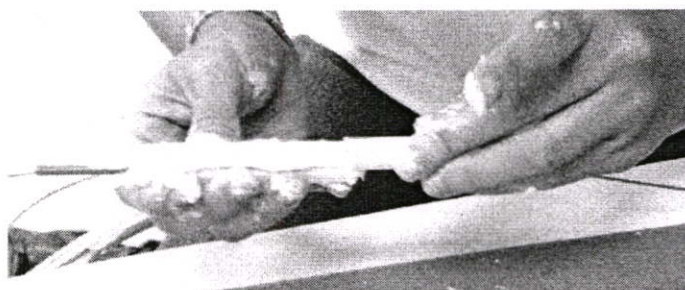
(A)



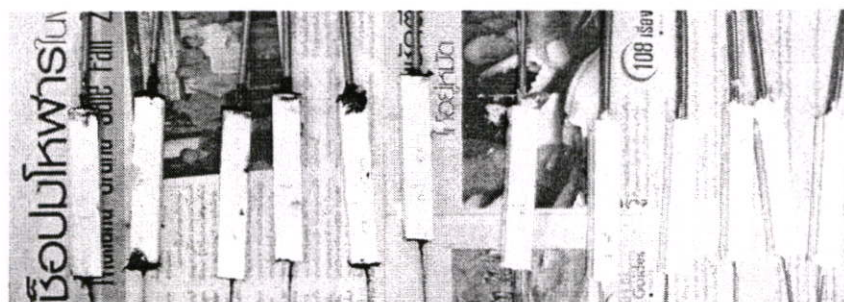
(B)

รูปที่ 4.2 แสดง (A) สารอะคริลิกพอลิเมอร์ และ (B) สารซิลิโคน

ทดลองการจับยึดของซิลิโคนและอะคริลิกพอลิเมอร์กับเส้นใยแก้วนำแสง โดยใช้รางปะกัที่ติดตั้งสายโทรศัพท์ภายในบ้านแบบหล่อ ด้านหนึ่งโผล่เฉพาะเส้นใยแก้วนำแสง อีกด้านหนึ่งหล่อเส้นใยแก้วนำแสงยึดติดกับ Loose Tube ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงตามรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 เตรียมตัวอย่างทดลองการเกาะยึดของซิลิโคนและอะคริลิกพอลิเมอร์กับเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างทดลองการเกาะยึดของซิลิโคนและอะคริลิกพอลิเมอร์กับเส้นใยแก้วนำแสง

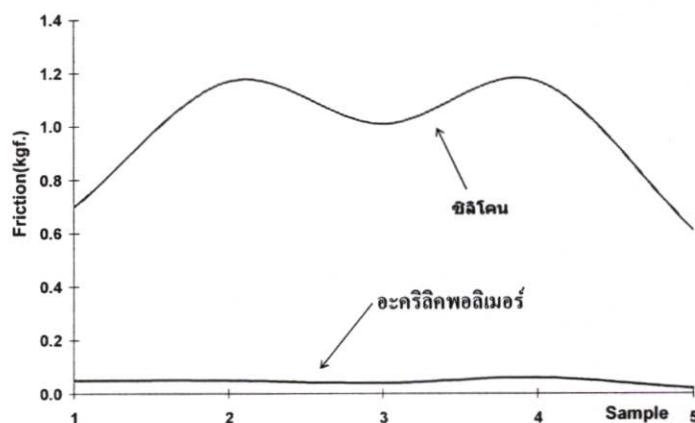
หลังจากทิ้งตัวอย่างไว้ครบ 24 ชั่วโมงทดลองค่าแรงดึงด้วยเครื่อง Tensile LLOYD Model LR 5K เพื่อประเมินประสิทธิภาพการจับยึดของสารซิลิโคนและอะคริลิกพอลิเมอร์ ตามรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ทดลองการจับยึดของซิลิโคนและอะคริลิกพอลิเมอร์กับเส้นใยแก้ว

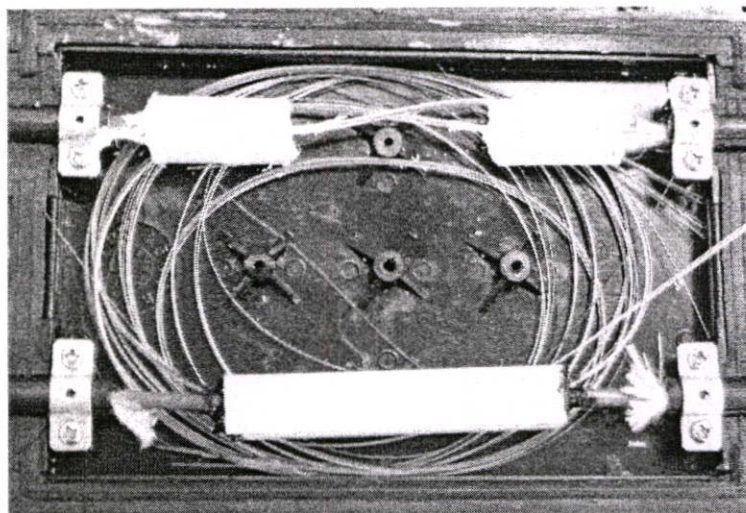
ตารางที่ 4.1 ค่าการจับยึด (Friction) ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับซิลิโคนและอะคริลิกพอลิเมอร์

ตัวอย่างที่	ซิลิโคน (kgf)	อะคริลิกพอลิเมอร์ (kgf)
1	0.70	0.05
2	1.17	0.05
3	1.01	0.04
4	1.17	0.06
5	0.61	0.02
เฉลี่ย	0.93	0.04



รูปที่ 4.6 แสดงค่าการจับยึด (Friction) สารซิลิโคนและอะคริลิกพอลิเมอร์

ผลการทดลองตามตารางที่ 4.1 และกราฟรูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยการต้านแรงดึงของสารซิลิโคน ด้านทานแรงดึงเฉลี่ยได้ที่ 0.93 kgf. และอะคริลิกพอลิเมอร์ ด้านทานแรงดึงเฉลี่ยได้ที่ 0.04 kgf. ขณะที่เส้นใยแก้วนำแสงรับแรงดึงประมาณ 2.4 kgf./Core



รูปที่ 4.7 ทดลองจับยึดเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อ

โดยสรุปผลการทดลองคุณสมบัติด้านแรงดึงของสารทั้งสองชนิดมีข้อจำกัด กล่าวคือสารซิลิโคนสามารถรับแรงดึงประมาณ 0.04 kgf เพียง 1.66 % ของแรงดึงที่เส้นใยแก้วนำแสงรับได้เท่านั้น (2.4 kgf/Core) อีกทั้งวิธีเตรียมสารยุ่งยากไม่สะดวกในการประยุกต์ใช้งานในสนาม ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่เหมาะสมในการเพิ่มค่า Friction ของสาย OFC สำหรับ Access Service

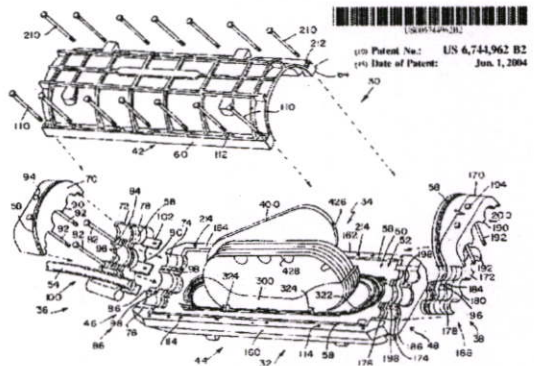
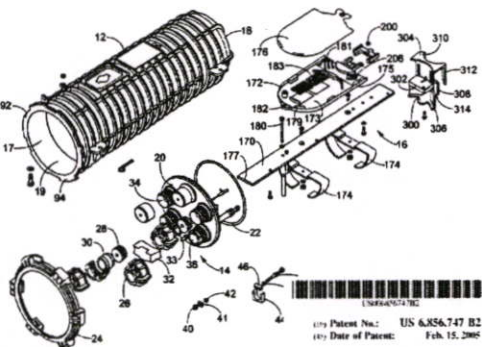
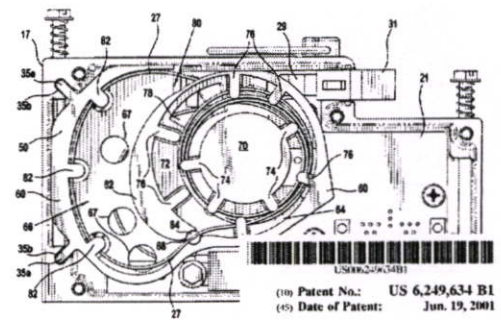
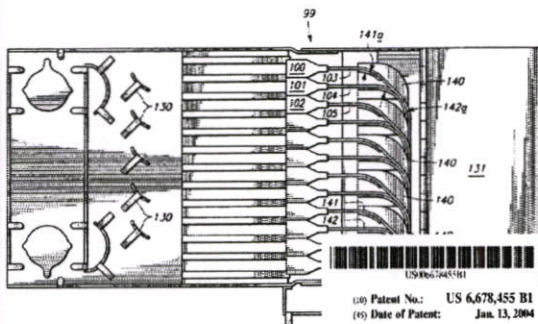
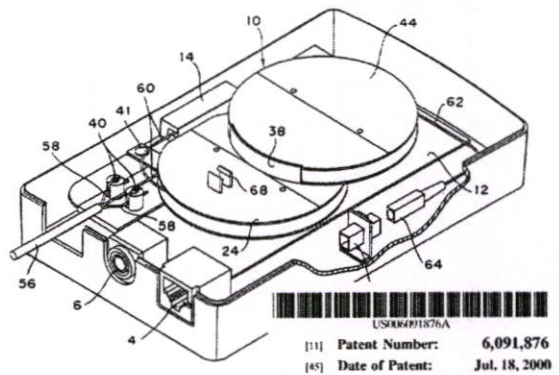
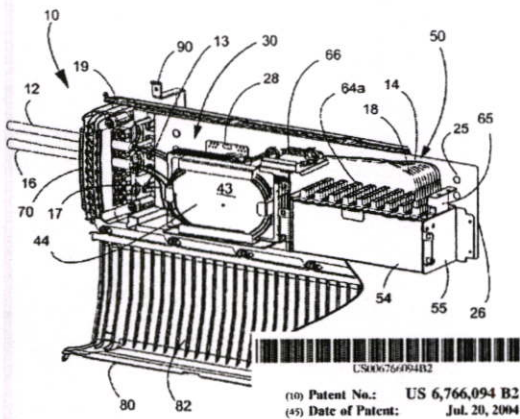
4.2 ออกแบบอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสง

4.2.1 ศึกษาภูมิหลังสิทธิบัตรอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีอยู่เดิม

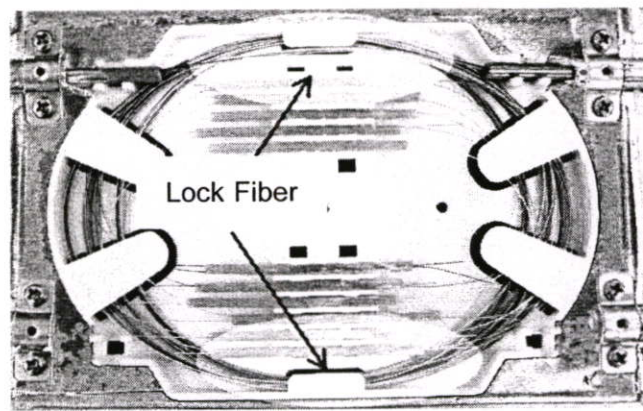
จากการศึกษาภูมิหลังสิทธิบัตร (Patent) อุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีอยู่เดิมของหัวต่อ Optical Fiber ทั้งในประเทศและต่างประเทศ [14-22] ทุกสิทธิบัตรออกแบบมาสำหรับจัดเก็บ Protective Sleeve และเส้นใยแก้วนำแสงให้เป็นระเบียบเท่านั้น ยังไม่พบสิทธิบัตรใดที่ออกแบบให้เส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระ เช่น ตัวอย่างสิทธิบัตรอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีอยู่เดิมของหัวต่อ Optical Fiber ตามรูปที่ 4.8 เหตุผลอาจมาจากยังไม่มีประเทศใดเจอปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเหมือนที่เกิดในประเทศไทย ซึ่งในการนำอุปกรณ์หรือวิธีการใด ๆ จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไปแก้ปัญหาโครงข่ายสาย OFC สำหรับ Access Service ในเชิงพาณิชย์ อุปกรณ์หรือวิธีการดังกล่าวต้องไม่ละเมิดสิทธิบัตรใดในโลกที่ได้ยื่นรับความคุ้มครอง

สิทธิไว้ (สิทธิบัตรการประดิษฐ์อายุคุ้มครอง 20 ปีจากวันขึ้น) มิฉะนั้นจะถูกฟ้องร้องในการละเมิดสิทธิบัตร เหมือนกรณีอุปกรณ์ล็อคล้อของกรมตำรวจที่ผ่านมา

ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวของสาย OFC สำหรับ Access Service สาเหตุหนึ่งมาจากอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้งาน ออกแบบสำหรับเก็บเส้นใยแก้วนำแสงและหลอด Protective Sleeve ให้เป็นระเบียบเท่านั้น ไม่สามารถรองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวได้ตามรูปที่ 4.9 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงกำหนดเป้าหมายในการออกแบบอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในหัวต่อไม่น้อยกว่า 180 mm เพื่อรองรับปัญหาสาย OFC สำหรับ Access ที่ยังมีปัญหาการเคลื่อนตัว ลดปัญหา Bending Loss หรือเส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหายบริเวณหัวต่อ



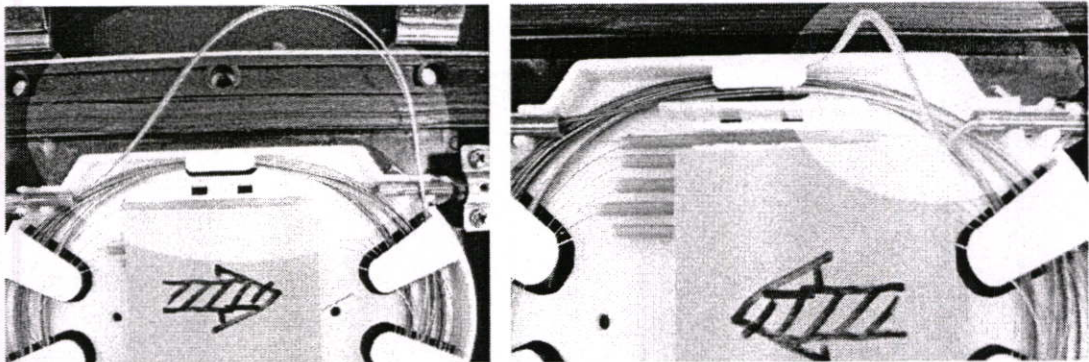
รูปที่ 4.8 ภูมิหลังสิทธิบัตรอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีอยู่เดิม



รูปที่ 4.9 อุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงเดิม ไม่สามารถรองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวได้

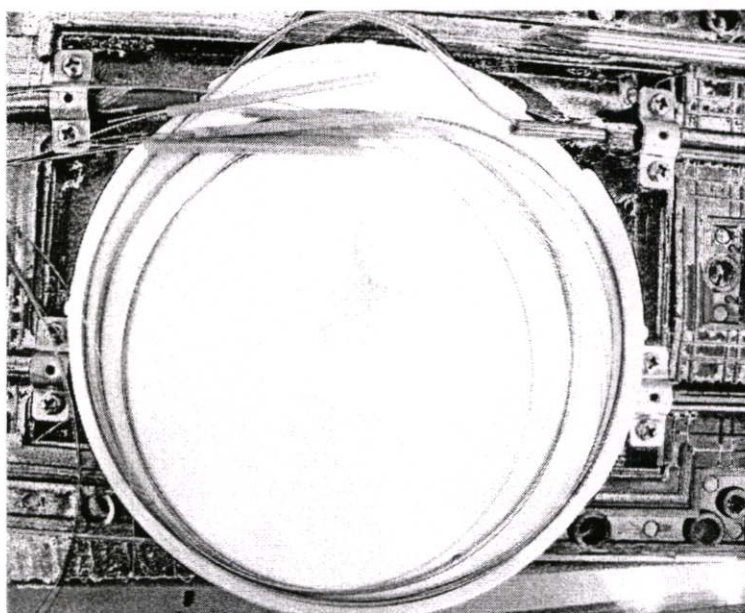
4.2.2 วิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อ

เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อ ได้จำลองสถานะเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในอุปกรณ์รองรับทั้งสองด้าน ผลการทดลองซ้ำ ๆ ประมาณ 10 ครั้ง พบว่า อุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้งานอยู่ไม่สามารถรองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวได้ตามข้อสันนิษฐาน และพบเส้นใยแก้วนำแสงลื่นออกจากอุปกรณ์และโค้งงอในทิศทางไม่แน่นอนตามรูปที่ 4.10 ในทางกลับกันเมื่อทดลองดึงเส้นใยแก้วนำแสงกลับเข้าไปใน Loose Tube เส้นใยแก้วนำแสงจะม้วนเป็นวงแคบลงตามระยะที่ดึง ตำแหน่งของเส้นใยแก้วนำแสงจะมีทิศทางใกล้เคียงตำแหน่งเดิม



รูปที่ 4.10 จำลองเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงในทิศทางต่าง ๆ

ผลจากการทดลองในอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วที่ใช้งานอยู่ พบเส้นใยแก้วนำแสงลื่นออกจากอุปกรณ์และโค้งงอในทิศทางไม่แน่นอน จึงทดลองนำกล่องใส่ CD ROM ซึ่งมีผิวเรียบมาจำลองสถานะเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว ผลการทดลองซ้ำ ๆ ประมาณ 10 ครั้ง พบว่าตำแหน่งที่เส้นใยแก้วนำแสงจะลื่นออกจาก กล่องใส่ CD ROM ตำแหน่งใกล้เคียงกันตำแหน่งเดิม

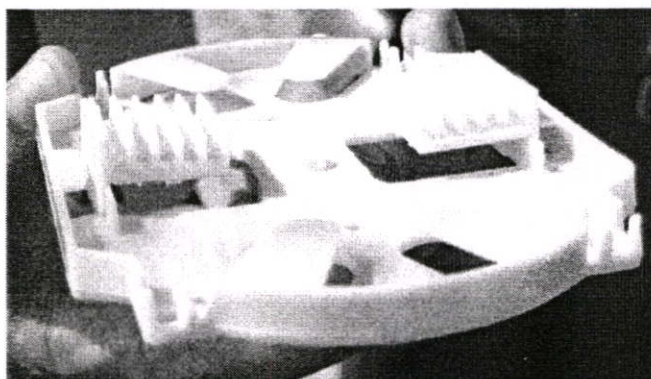


รูปที่ 4.11 จำลองเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในหัวต่อต้นแบบที่อุปกรณ์ทรงกลม

จากการทดลองสังเกตพบว่าเมื่อดึงเส้นใยแก้วนำแสงเข้าไปใน Loose Tube รัศมีการโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสงจะม้วนเป็นวงแคบลงตามระยะที่ดึง โดยวงแคบที่สุดควบคุมโดยแกนกลางของกล่องใส่ CD ROM ตามรูปที่ 4.11

4.2.3 ดัดแปลงอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงเดิมหาแนวทางออกแบบอุปกรณ์ใหม่

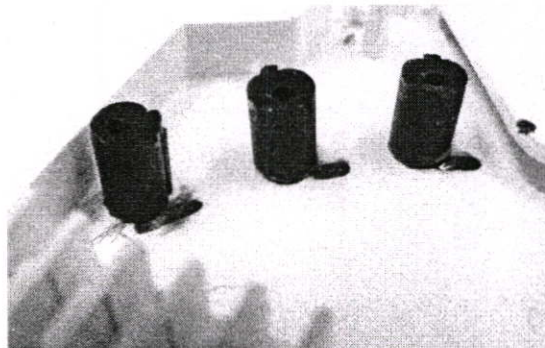
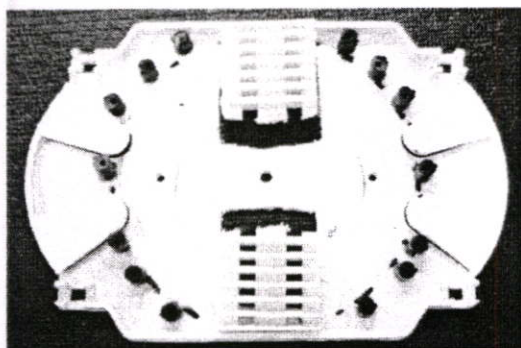
ดัดแปลงอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงเดิม ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต่อจากนี้ไปจะเรียก อุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงว่า “ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสง” โดยตัดส่วนที่วาง Protective Sleeve ของถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงเดิมออก เพื่อเพิ่มพื้นที่ให้เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวอย่างอิสระได้มากขึ้น จากนั้นนำ Protective Sleeve ซึ่งตัดออกมาจากถาดมายึดกับขอบด้านข้างด้วยกาวตามรูปที่ 4.12



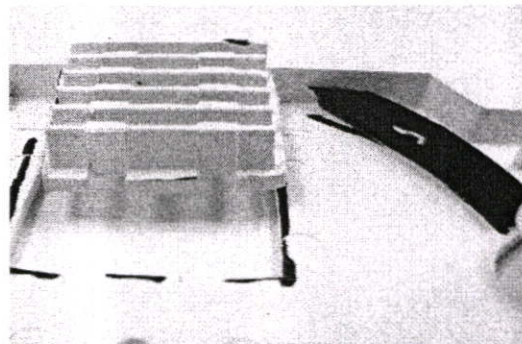
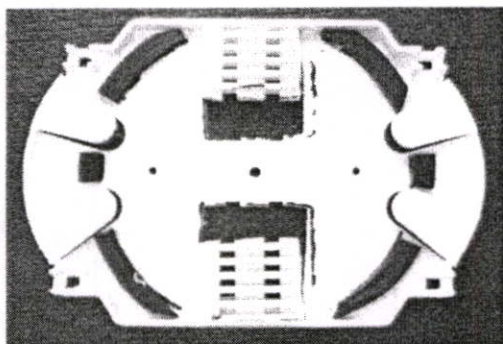
รูปที่ 4.12 ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่ปรับปรุงใหม่

จากผลการทดลองถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่ดัดแปลงจากถาดใส่ CD ROM ซึ่งมีผิวเรียบ ตำแหน่งที่เส้นใยแก้วนำแสงจะลื่นออกจากอุปกรณ์มีตำแหน่งใกล้เคียงกัน จึงทดลองออกแบบถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบ 2 รูปแบบ โดยตัดส่วนที่วาง Protective Sleeve เพื่อเพิ่มเนื้อที่ให้เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวอย่างอิสระได้มากขึ้นตามรูปที่ 4.12 ที่ผ่านมา โดยเพิ่มขอบถาดควบคุมให้เส้นใยแก้วนำแสงมีลักษณะคล้ายถาดใส่ CD ROM ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงรูปสลักกลมตามรูปที่ 4.13
- 2) ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงทรงกลมขอบตอเนื่องตามรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 ถาดฯ ใช้สลักยางบังคับเส้นใยแก้วอยู่ในวงกลม โดยดัดแปลงจากถาดที่ใช้งานเดิม

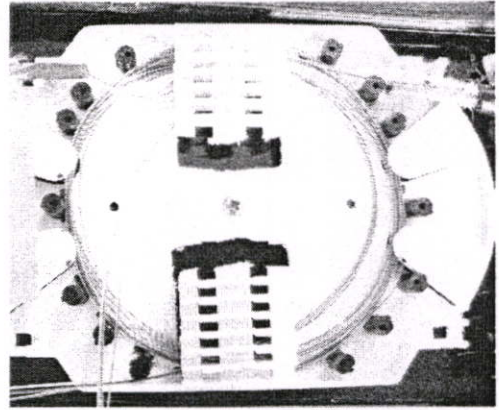
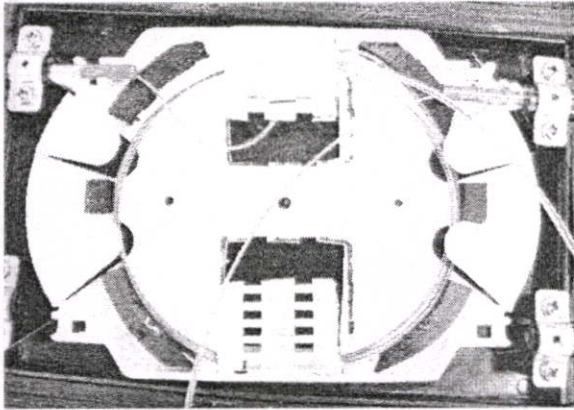


รูปที่ 4.14 ถาดฯ ใช้แผ่นยางบังคับเส้นใยแก้วอยู่ในวงกลม โดยดัดแปลงจากถาดที่ใช้งานเดิม

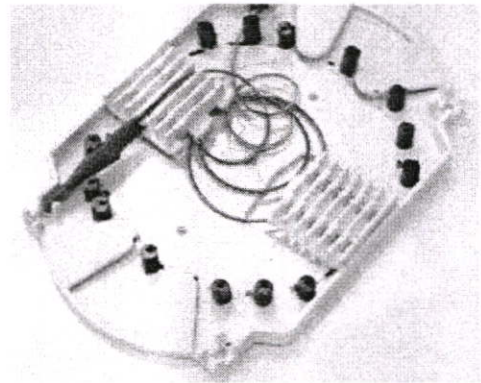
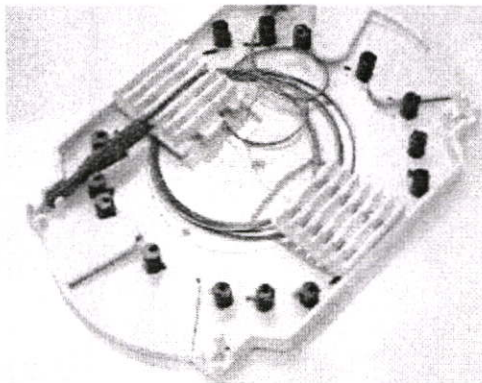
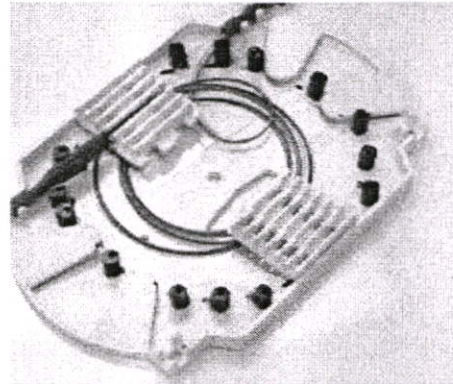
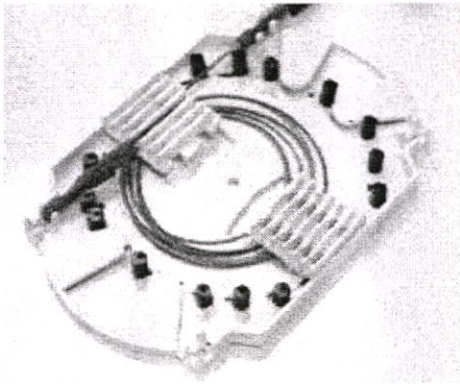
4.2.4 จำลองสภาพเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในถาดฯ ต้นแบบ

จากถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบรูปสลักกลมและทรงกลมขอบตอเนื่องตามรูปที่ 3.13 และ 4.14 จำลองสภาพเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube เข้าไปในถาดฯ ผลการทดลองซ้ำ ๆ ประมาณ 10 ครั้ง พบว่าต้นแบบทั้งสองตัวอย่างการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงไม่แตกต่างกันมากนักตามรูปที่ 4.15 และจำลองให้เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube ทดลองประมาณ 10 ครั้ง ผลการทดลอง พบว่าเส้นใยแก้วนำแสงที่ขดสำรองเริ่มเคลื่อนจากวงแรกไปวางที่สองและวงถัดไป จากถาดต้นแบบที่ไม่มีแกนกลางควบคุม Loop เมื่อมีแรงดึงถึงระดับหนึ่ง

ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงขดเป็นวงเล็กกว่า 30 mm น้อยกว่าค่าที่ระบุในข้อกำหนด [10] เกิด Bending Loss ตามรูปที่ 4.16



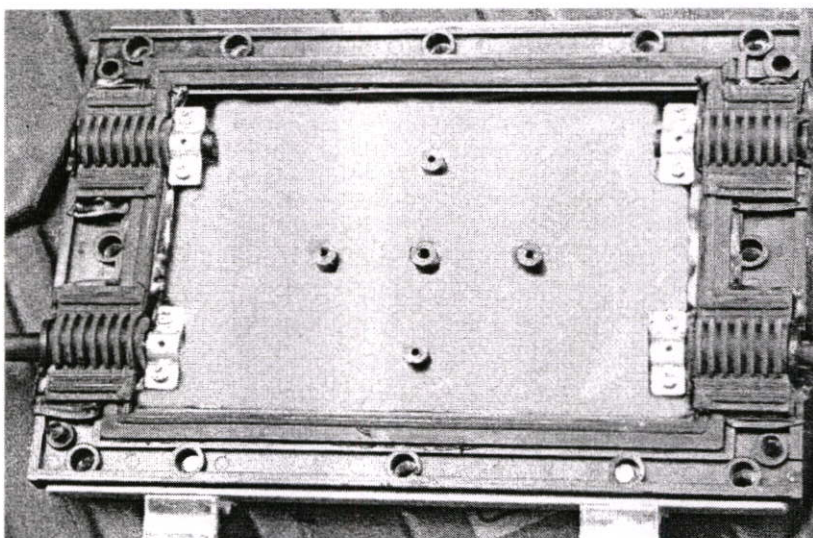
รูปที่ 4.15 จำลองเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในภาคทรงกลมต่อเนื่องและขอบสลักกลม



รูปที่ 4.16 เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube ในภาคที่ไม่มีแกนกลาง

4.3 ออกแบบอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสง

ผลการเก็บข้อมูลปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเข้า-ออกจาก Loose Tube (บทที่ 3 ข้อ 3.1.6) พบปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube 41 % (เส้นใยแก้วเคลื่อนตัวออกมาสูงสุด 180 mm) และเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube 21 % ดังนั้นการออกแบบอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงวิทยานិพนธ์ฉบับนี้ ต้องสามารถรองรับปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเข้าและออกจาก Loose Tube ได้ไม่น้อยกว่า 180 mm โดยอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่ออกแบบต้องสามารถรองรับหัวต่อภายนอกเดิมได้ตามรูปที่ 4.17 เพื่อลดต้นทุนในการปรับปรุงโครงข่ายเดิม



รูปที่ 4.17 หัวต่อภายนอกที่ใช้งานซึ่งยังไม่ได้ประกอบอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสง

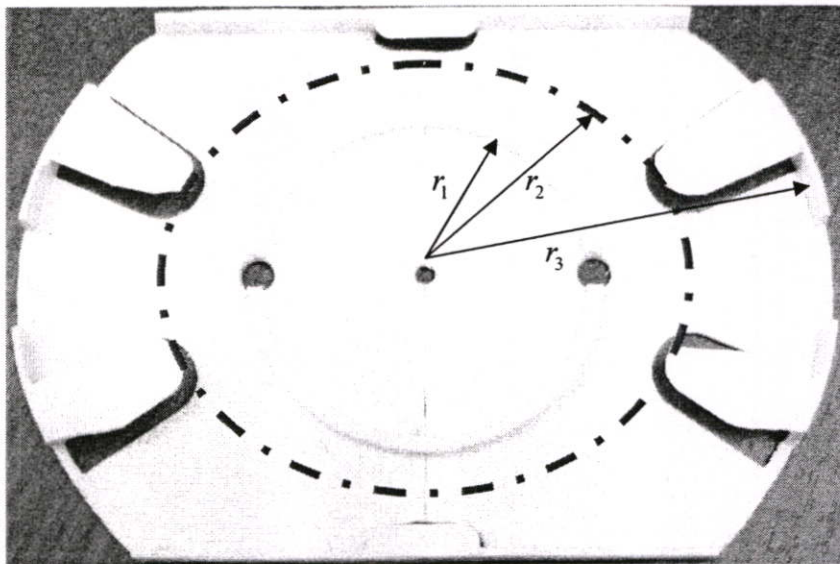
ตามข้อกำหนด OFC สำหรับ Access Service [10] ระบุ The maximum attenuation with micro bending shall not be exclude the specified value as follows 100 turns 30 mm radius ≤ 0.1 dB at 1550 nm ร่วมกับการวิเคราะห์และทดลองที่ผ่านมา สามารถคำนวณหาความยาวเส้นใยแก้วนำแสงที่รัศมีการโค้งงอต่าง ๆ จากสมการ

$$\text{เมื่อ } r_1 = 30\text{mm. :} \quad 2\pi r = 2X \frac{22}{7} X 30 = 189 \text{ mm} \quad (4.1)$$

ออกแบบอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงให้ตำแหน่งเส้นใยแก้วนำแสงวางกึ่งกลางระหว่างขอบนอกและแกนกลางแนวเส้นประ ตามรูปที่ 4.18 กำหนดให้เส้นใยแก้วนำแสงขดเป็นวงกลมตามสัน

ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 mm ($r_1 = 30 \text{ mm}$.) และวงรีกึ่งกลางกำหนดรัศมี $r_2 = 45 \text{ mm}$. แนวเส้นประตามรูปที่ 4.18 คำนวณเส้นรอบวงได้จากสมการ

$$\text{เมื่อ } r_2 = 45 \text{ mm. : } 2\pi r = 2 \times \frac{22}{7} \times 45 = 283 \text{ mm} \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.18 ภาครอบรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบที่ผลิตตามแนวคิด

4.3.1 จำนวนความยาวที่เผื่อการเคลื่อนหัดตัวของเส้นใยแก้วนำแสง ($r_2 = 45 \text{ mm}$.)

จำนวนความยาวคำนวณจากความยาวเส้นรอบวง $r_2 = 45 \text{ mm}$. (283 mm.) ลบด้วยความยาวเส้นรอบวง $r_1 = 30 \text{ mm}$. (189 mm) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ใน 1 รอบ ความยาวที่ขจัดเผื่อการเคลื่อนหัดตัว} = 283 - 189 = 95 \text{ mm}$$

$$\text{ใน 2 รอบ ความยาวที่ขจัดเผื่อการเคลื่อนหัดตัว} = 95 \times 2 = 190 \text{ mm}$$

$$\text{ใน 3 รอบ ความยาวที่ขจัดเผื่อการเคลื่อนหัดตัว} = 95 \times 2 = 285 \text{ mm}$$

$$\text{ใน N รอบ ความยาวที่ขจัดเผื่อการเคลื่อนหัดตัว} = 95 \times N = 95N \text{ mm}$$

กรณีเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวสั้นเข้ามาในภาครอบรับต้องควบคุมเส้นใยแก้วนำแสงให้อยู่ในขอบภาควงรีที่กำหนดรัศมี $r_2 = 45 \text{ mm}$. แนวเส้นประตามรูปที่ 4.18 คำนวณได้จากสมการ

$$2\pi r + 2L = \left(2 \times \frac{22}{7} \times 45\right) + (2 \times 40) = 363 \text{ mm} \quad (4.3)$$

เมื่อ L คือระยะที่เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวจากวงรี r_2 ที่กำหนดไปหาขอบภาคแต่ละด้าน r_3 กำหนดที่ 40 mm

4.3.2 จำนวนความยาวที่เผื่อการเคลื่อนยัดตัวของเส้นใยแก้วนำแสง ($r_2 = 45mm.$)

จำนวนความยาวคำนวณจากความยาวเส้นรอบวง $r_2 = 45mm.$ บวกระยะเคลื่อนตัว ($283+80 = 363 mm$) ลบด้วยความยาวเส้นรอบวง $r_2 = 45mm.$ ($283 mm$) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ใน 1 รอบ ความยาวที่ขจัดเผื่อการเคลื่อนยัดตัว} = 363 - 283 = 80 \text{ mm}$$

$$\text{ใน 2 รอบ ความยาวที่ขจัดเผื่อการเคลื่อนยัดตัว} = 80 \times 2 = 160 \text{ mm}$$

$$\text{ใน 3 รอบ ความยาวที่ขจัดเผื่อการเคลื่อนยัดตัว} = 80 \times 2 = 240 \text{ mm}$$

$$\text{ใน N รอบ ความยาวที่ขจัดเผื่อการเคลื่อนยัดตัว} = 80 \times N = 80N \text{ mm}$$

การเผื่อสายสำหรับป้องกันการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงขึ้นอยู่กับรัศมีของวงกลม r_2 น้อยกว่า $45 mm$ ถ้าจะรองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเข้าไปในเคเบิลได้น้อยลง แต่รองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกจากเคเบิลได้เพิ่มขึ้น ข้อมูลจากผลการสำรวจพบปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเข้ามาในหัวต่อมากกว่าเคลื่อนออก

4.3.3 ระยะความยาวสายเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องเผื่อสำหรับตัดต่อ

การเตรียมสายสำหรับตัดต่อเส้นใยแก้วนำแสงจากการคำนวณเพื่อความยาวสายที่ผ่านมาคำนวณจากสมมุติฐานเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียว แต่การใช้งานจริง จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงสูงสุด 12 Core ผลการทดลอง เมื่อจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงมีจำนวนมากต้องเผื่อความยาวเส้นใยแก้วนำแสงขณะตัดต่อ (Fusion) ให้ยาวกว่าจำนวนเส้นใยแก้วนำแสง

จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 1 ถึง 6 Cores สามารถคำนวณหาความยาวที่ต้องเผื่อสำหรับตัดต่อ โดยคำนวณจากเส้นรอบวง $r_2 = 45mm.$ ($283 mm$) บวกระยะที่คาดว่าจะตัดต่อ (Fusion) ข้อมูลจากสนามจำนวน 10 ข้อมูลซึ่งเผื่อสายยาวประมาณ $45 mm$

$$\text{วน 1 รอบ ต้องเผื่อเส้นใยแก้วนำแสงก่อนตัดต่อยาว} = 283 + 45 = 328 \text{ mm}$$

$$\text{วน 2 รอบ ต้องเผื่อเส้นใยแก้วนำแสงก่อนตัดต่อยาว} = 328 + 283 = 611 \text{ mm}$$

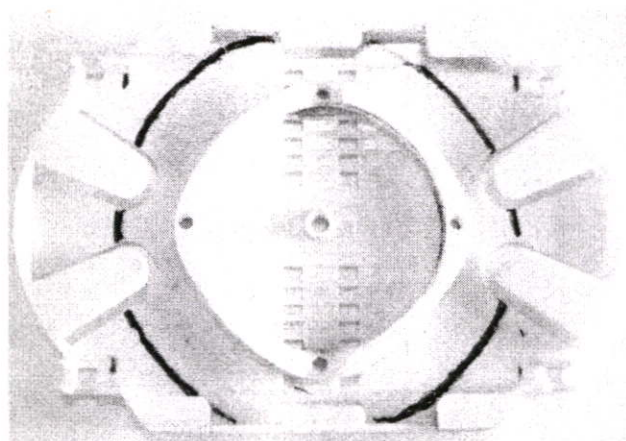
$$\text{วน 3 รอบ ต้องเผื่อเส้นใยแก้วนำแสงก่อนตัดต่อยาว} = 328 + (283 \times 2) = 894 \text{ mm}$$

$$\text{วน N รอบ ต้องเผื่อเส้นใยแก้วนำแสงก่อนตัดต่อยาว} = [328 + (283 \times (N - 1))] \text{ mm}$$

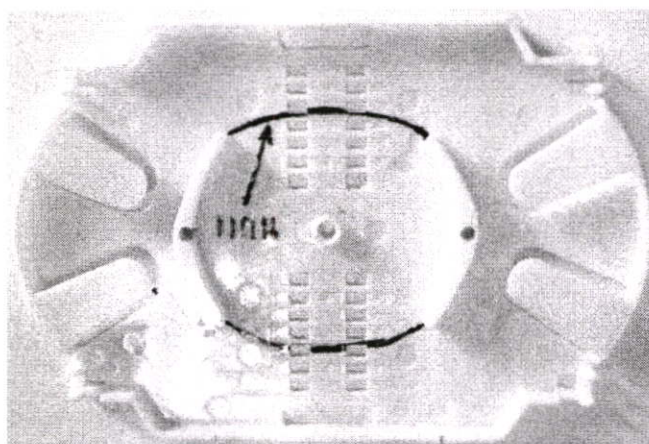
การจะวนเส้นใยแก้วนำแสงที่รอบขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงของสาย OFC สำหรับ Access Service เพื่อให้เส้นใยแก้วนำแสงขยับตัวได้สะดวก เส้นใยแก้วนำแสง 6 เส้นลงมา ควรวนเส้นใยแก้วนำแสงประมาณ 3 รอบ และเส้นใยแก้วนำแสง 7 เส้นขึ้นไป ควรวนเส้นใยแก้วนำแสงประมาณ 2 รอบ (เส้นใยแก้วนำแสง 7 ถึง 12 Cores วน 2.5 รอบ เนื่องจากครึ่งรอบเผื่อในการวาง Protective Sleeve ในร่อง Slot)

สรุปผลการจากแนวคิดการรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบและการคำนวณการรองรับเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อสามารถรองรับการยัดตัวได้สูงสุด $240 mm$ และรองรับการหดตัวได้สูงสุด

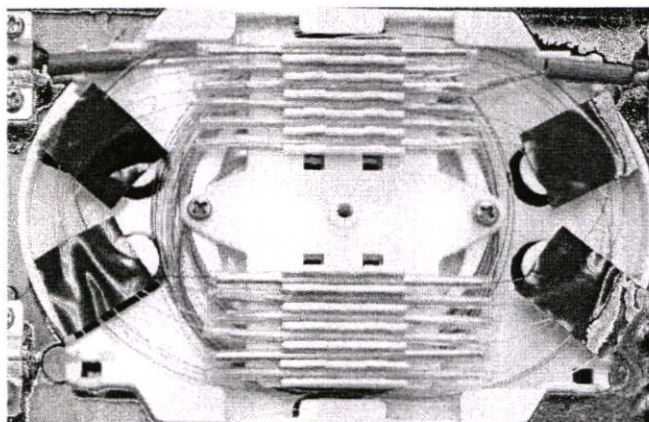
285 mm (จำนวน Loop 3 รอบ) สามารถรองรับปัญหาระยะเคลื่อนตัวสูงสุด 180 mm จึงออกแบบ ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงมีสันกลมภายใน 2 รูปแบบ คือ แบบที่สันวงกลมต่อเนื่องตามรูปที่ 4.19 และแบบที่สันวงกลมไม่ต่อเนื่องตามรูปที่ 4.20



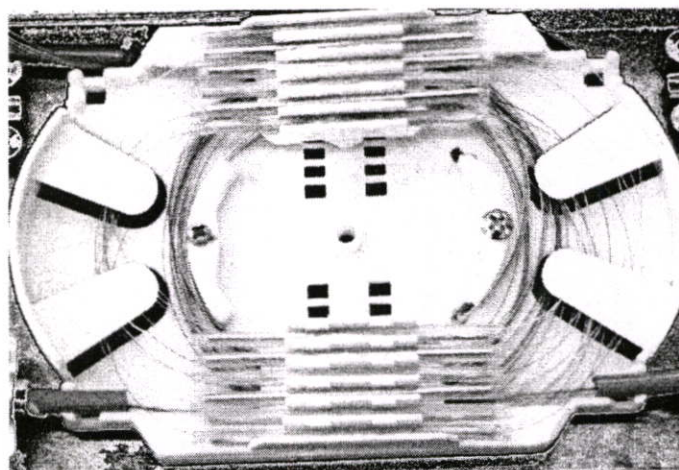
รูปที่ 4.19 ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบ ที่มีสันวงกลมต่อเนื่อง



รูปที่ 4.20 ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบ ที่มีสันวงกลมไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 4.21 ทดลองติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงในถาดฯ ต้นแบบสันวงกลมต่อเนื่อง



รูปที่ 4.22 ทดลองติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงในอาคาร ต้นแบบสัณวงกลมไม่ต่อเนื่อง

อาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบที่ออกแบบไว้ 2 รูปแบบ คือแบบที่สัณวงกลมต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่จะนำมาทดแทนอาคารเดิม ออกแบบให้เส้นใยแก้วนำแสงสามารถเคลื่อนตัวอย่างอิสระโดยมีสัณวงกลมด้านในป้องกัน Bending Loss ตามรูปที่ 4.21 และ 4.22 ผลการทดลองอาคารทั้งสองแบบสามารถรองรับการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงใกล้เคียงกัน

4.4 ผลิตรองรับเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อทดลองภาคสนาม

จากบทที่ 5 ข้อ 5.1 หลังจากนำต้นแบบอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงไปทดลองในห้องปฏิบัติการ และขอคำแนะนำจากผู้ปฏิบัติงานเสียงส่วนมากยอมรับอาคารต้นแบบที่มีสัณวงกลมแบบไม่ต่อเนื่อง แต่มีคำแนะนำเพิ่มเติมให้หุควาง Protective Sleeve ควรถอดประกอบได้นั้น

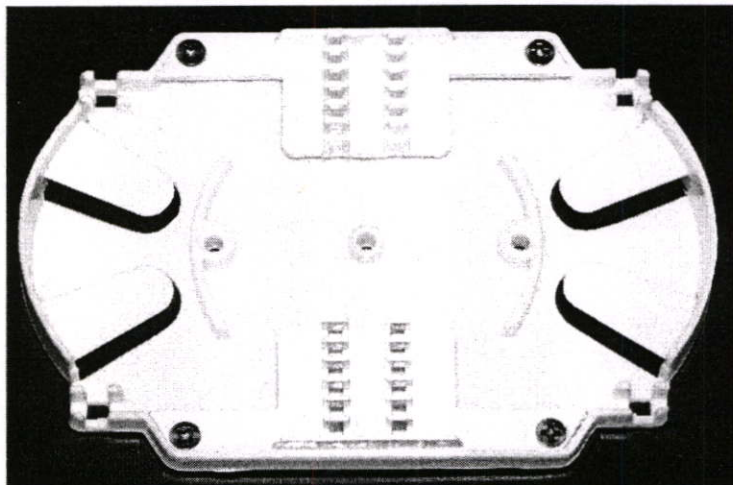
ต้นแบบเพื่อทดลองภาคสนาม กลุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ในการทดลองภาคสนามทางสถิติคำนวณได้จากสมการ 4.4 แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 30 ตัวอย่าง [23] ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยกำหนดตัวอย่างทดลองภาคสนามไว้ที่ 30 ตัวอย่าง ผลจากการติดต่อกับผู้ผลิตอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบหลายบริษัทเพื่อผลิตต้นแบบทดลองภาคสนาม ซึ่งผู้ผลิตเกือบทุกบริษัทแนะนำว่าควรผลิตด้วยวิธีฉีด โมลต้นทุนจะต่ำกว่าวิธีอื่นๆ

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (4.4)$$

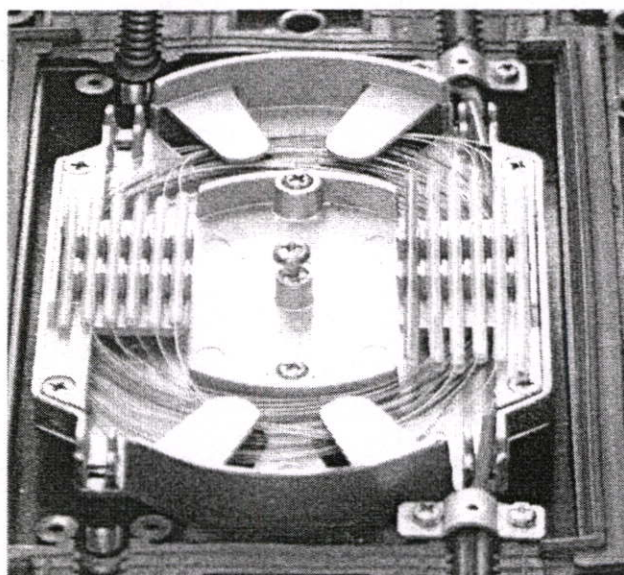
เมื่อ

$$\begin{aligned} n &= \text{ตัวแทนกลุ่มตัวอย่างที่สุ่ม} \\ e &= \text{ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้} \\ N &= \text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด} \end{aligned}$$

นำแบบตามรูปที่ 4.23 ไปเปรียบเทียบกับภูมิหลังสิทธิบัตร (Patent) ทั้งในประเทศและต่างประเทศ [14-22] เพื่อป้องกันการละเมิดสิทธิ ผลการตรวจสอบไม่พบซ้ำกับสิทธิบัตรใด ๆ ชำรงต้นจึงดำเนินการผลิตด้วยวิธีโมลด์จำนวน 30 ชุด ตามรูปที่ 4.24 เพื่อทดลองภาคสนาม



รูปที่ 4.24 ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่ผลิตด้วยโมลด์



รูปที่ 4.25 ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่ตัดต่อและติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงพร้อมใช้งาน

ทดลองตัดต่อ (Fusion) เส้นใยแก้วนำแสงเหมือนใช้งานจริงกับต้นแบบรองรับเส้นใยแก้วนำแสงตามรูปที่ 4.25 สามารถปฏิบัติงานได้สะดวกในและรับการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงได้ตามความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

4.5 สรุปการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว

ผลจากการวิเคราะห์และทดลองจากบทที่ 3 ซึ่งกำหนดแนวทางศึกษาความน่าจะเป็นที่จะแก้ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออกจาก Loose Tube ของสาย OFC สำหรับ Access Service ด้วยวิธีก่อนแขวนสาย OFC สำหรับ Access ที่ไว้ก่อนตัดต่อเพื่อให้สายลดแรงเค้น เสริมกับ Fix Loop สาย OFC สำหรับ Access ขณะติดตั้งเพื่อเพิ่มค่า Friction สามารถลดปัญหาลงได้ประมาณ 55 % และบทที่ 4 ได้ศึกษาและออกแบบอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในหัวต่อเพื่อรองรับปัญหาสาย OFC สำหรับ Access ที่ยังมีปัญหาการเคลื่อนตัว ดันแบบอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อสามารถรองรับการยืดตัวได้สูงสุด 240 mm และรองรับการหดตัวได้สูงสุด 285 mm เพื่อความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทดลองในห้องปฏิบัติการ ในบทที่ 5 ข้อมสรุปจากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและคำแนะนำจากผู้ปฏิบัติงาน ผู้วิจัยได้ออกแบบอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงสั่นวงกลมแบบไม่ต่อเนื่อง เพื่อทดลองภาคสนามต่อไป

บทที่ 5.

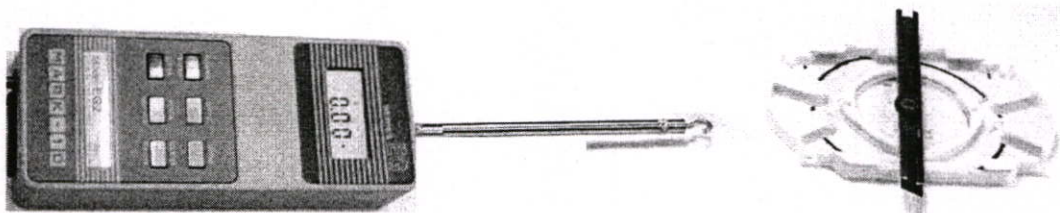
ทดลองในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม

ผลจากทดลองและวิเคราะห์วิธีแก้ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออกจาก Loose Tube ของสาย OFC สำหรับ Access Service (บทที่ 3.) ผลสรุปเบื้องต้นปัญหามาจากโครงสร้างของสาย OFC สำหรับ Access Service และข้อมูลที่ได้จากการสำรวจที่พบว่าถ้าแขวนสายทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งก่อนตัดต่อ (Fusion) เสริมกับ Fix Loop ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวใน Route นั้น ๆ น้อยกว่า Route ที่ไม่มี Fix Loop เสริมกับการนำถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่ออกแบบใหม่ (บทที่ 4.) ตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไปติดตั้งใช้งานจะบรรลุตามความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์หรือไม่ จึงทดลองแนวทางและอุปกรณ์ที่ออกแบบใหม่ในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม

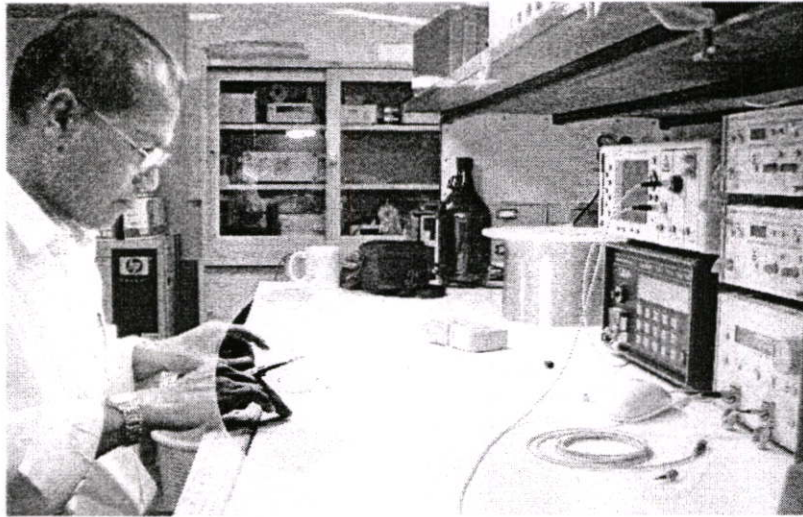
5.1 ทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory)

5.1.1 ทดลอง Bending Loss ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสง

ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบสันวงกลมต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่จะนำมาทดแทนถาดเดิม ผลการทดลองถาดทั้งสองแบบสามารถรองรับการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงใกล้เคียงกัน เพื่อทดลองว่าการออกแบบให้เส้นใยแก้วนำแสงสามารถเคลื่อนตัวอย่างอิสระ โดยมีสันวงกลมด้านในป้องกัน Bending Loss สันวงกลมดังกล่าวสามารถป้องกันการเกิด Bending Loss ได้หรือไม่ ด้วยเครื่อง EXFO Optic tests IQ-203 ตามรูปที่ 5.2 (เครื่องมือวัดค่าได้ต่ำสุด -80 dB) ที่ความยาวคลื่น 1310 nm และ 1550 nm และควบคุมแรงดึง (Tensile) ของเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยเครื่อง Mark-10 (Model EG2 Series EG # 45607, USA.) ตามรูปที่ 5.1 เพื่อให้ทุกตัวอย่างทดลองมีแรงดึงของเส้นใยแก้วนำแสงได้ค่ามาตรฐานเดียวกัน จำนวนรอบทดลอง 1 ถึง 10 รอบ รายละเอียดตามตารางที่ 5.1



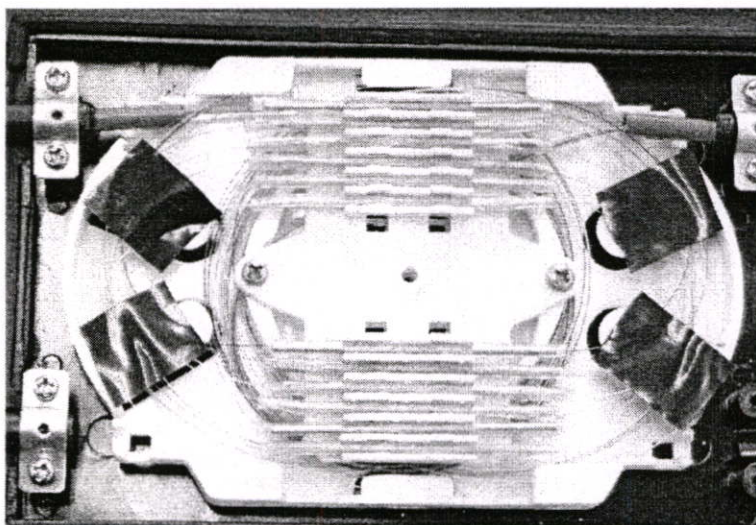
รูปที่ 5.1 ควบคุมแรงดึง (Tensile) ของเส้นใยแก้วนำแสงให้มีค่าแรงดึงมาตรฐานเดียวกัน



รูปที่ 5.2 ทดลอง Bending Loss ภาควิศวกรรมในห้องปฏิบัติการ

5.1.1.1 ทดลอง Bending Loss ภาควิศวกรรมรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีสัณวงกลมแบบต่อเนื่อง

ทดลอง Bending Loss ภาควิศวกรรมที่มีสัณวงกลมแบบต่อเนื่องตามรูปที่ 5.3 ที่ความยาวคลื่น 1310 nm และ 1550 nm ผลการทดลองค่า Bending Loss ตามตารางที่ 5.1 ภาควิศวกรรมที่มีสัณวงกลมแบบต่อเนื่อง ทดลองที่แรงดึงน้อยกว่า 2 นิวตัน ($1\text{ kg} = 9.807\text{ นิวตัน}$) ไม่มีค่า Loss เกิดในเส้นใยแก้วนำแสง ขณะทดลองเส้นใยแก้วนำแสงเริ่มเคลื่อนจากวงแรกไปวงที่สองและวงถัดไป จนกระทั่งกลุ่มเส้นใยแก้วนำแสงแนบกับสันแกนกลางที่ค่าแรงดึงประมาณ 0.6 นิวตัน ทดลองค่าแรงดึงสูงสุด 2 นิวตัน มี Loss สูงสุด 2.4 dB (รองรับระยะเส้นใยแก้วเคลื่อนตัวประมาณ 230 mm)



รูปที่ 5.3 ดัชนีแบบภาควิศวกรรมรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีสัณวงกลมแบบต่อเนื่อง

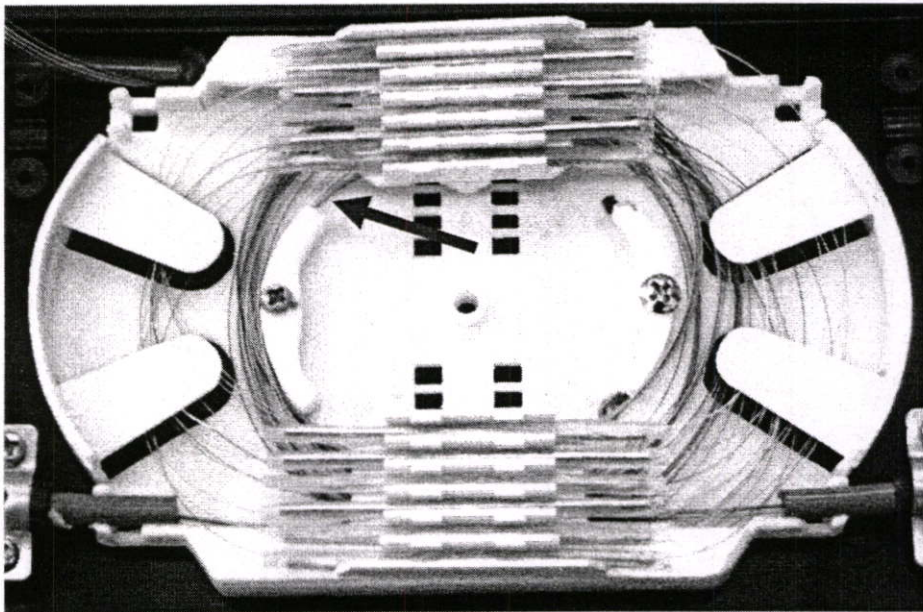
ตารางที่ 5.1 Bending Loss ภาคนั้นแบบที่ความยาวคลื่น 1310 nm และ 1550 nm

จำนวนรอบ	แรงดึง	ภาคนั้นภายในต่อเนื่อง		ภาคนั้นภายในไม่ต่อเนื่อง	
		1310 nm	1550 nm	1310 nm	1550 nm
1	0.5	0.0	0.0	-16.0	-15.9
	1.0	0.0	0.0	-	-
	2.0	-1.8	-1.7	-	-
2	0.5	0.0	0.0	-17.0	-17.0
	1.1	0.0	0.0	-	-
	2.0	-2.2	-2.0	-	-
3	0.5	0.0	0.0	-22.0	-20.0
	0.6	0.0	0.0	-	-
	2.0	-2.1	-2.0	-	-
4	0.5	0.0	0.0	-25.0	-25.0
	0.6	0.0	0.0	-	-
	2.0	-2.1	-2.0	-	-
5	0.5	0.0	0.0	-46.0	-46.0
	0.5	0.0	0.0	-	-
	2.0	-2.0	-2.0	-	-
6	0.5	0.0	0.0	-63.0	-60.0
	0.5	0.0	0.0	-	-
	2.0	-2.3	-2.3	-	-
7	0.5	0.0	0.0	-	-
	2.0	-2.4	-2.4	-	-
8	0.5	0.0	0.0	-	-
	2.0	-2.2	-2.2	-	-
9	0.5	0.0	0.0	-	-
	2.0	-2.6	-2.6	-	-
10	0.5	0.0	0.0	-	-
	2.0	-2.4	-2.3	-	-
unit	นิวตัน	dB			

หมายเหตุ ค่า Loss ของภาคนั้นไม่ต่อเนื่องที่แสดง “-” หมายถึงค่าน้อยกว่า -80 dB

5.1.1.2 ทดลอง Bending Loss ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีสันวงกลมแบบไม่ต่อเนื่อง

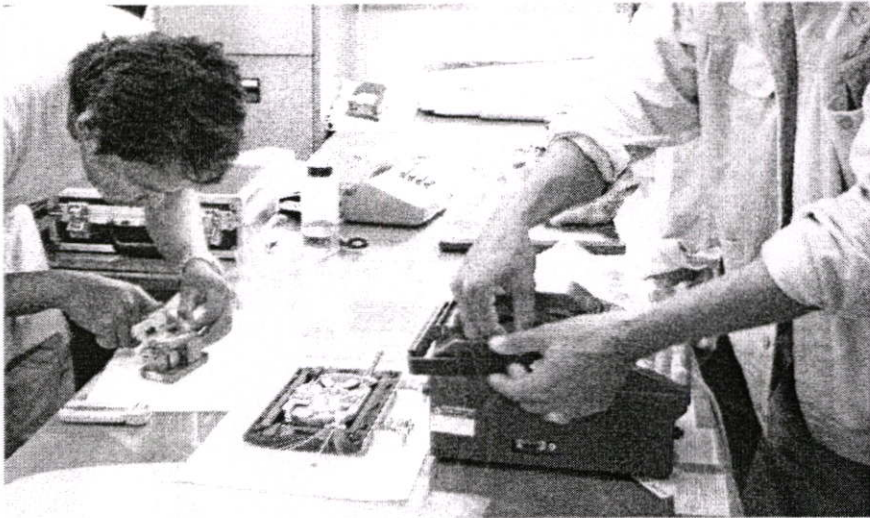
ทดลอง Bending Loss ถาดต้นแบบที่มีสันวงกลมแบบไม่ต่อเนื่องตามรูปที่ 5.4 ที่ความยาวคลื่น 1310 nm และ 1550 nm เหมือนกับถาดต้นแบบที่มีสันวงกลมแบบต่อเนื่อง ซึ่งผลการทดลองค่า Bending Loss ถาดต้นแบบทั้ง 2 รูปแบบมีค่าใกล้เคียงกันมากตามตารางที่ 5.1 ลักษณะการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงในถาดต้นแบบทั้ง 2 รูปแบบเหมือนกัน ผลการทดลองแรงดึงต่ำกว่า 0.5 นิวตันไม่มีค่า Loss เกิดใน เส้นใยแก้วนำแสง เมื่อออกแรงดึงมากกว่า 0.5 นิวตัน มีค่า Loss ต่ำสุด 16 dB เมื่อเพิ่มแรงดึงตามตารางที่ 5.1 ไม่สามารถวัดค่า Loss ได้ เนื่องจากเครื่องมือวัดค่า Loss วัดค่าได้ต่ำสุด -80 dB จากการวิเคราะห์ถาดต้นแบบที่มีสันวงกลมแบบไม่ต่อเนื่องมีมุมสัน ทำให้เส้นใยแก้วนำแสง มีมุมหักเหเกิด Macro Bending Loss (รองรับระยะเส้นใยแก้วเคลื่อนตัวประมาณ 280 mm)



รูปที่ 5.4 ต้นแบบถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงที่มีสันวงกลมแบบไม่ต่อเนื่อง

5.1.2 นำถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงต้นแบบขอความเห็นจากผู้ใช้งาน

หลังทดลอง Bending Loss ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 รูปแบบ ตามรูปที่ 5.3 และ 5.4 ซึ่งสามารถรองรับการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสง 230 mm และ 280 mm ตามลำดับ โดยไม่มีผลกระทบจาก Bending Loss จึงนำต้นแบบถาดทั้งสองรูปแบบไปขอคำแนะนำจากผู้ใช้ปฏิบัติงาน โดยให้ทดลองตัดต่อ (Fusion) เส้นใยแก้วนำแสงเหมือนใช้งานจริงกับต้นแบบรองรับเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 รูปแบบ



รูปที่ 5.5 ทดลองให้ผู้ปฏิบัติงานตัดต่อและติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงกับตาฯ

ผลสรุปเสียงส่วนมากยอมรับขาดต้นแบบที่มีสัณวงกลมแบบไม่ต่อเนื่องตามรูปที่ 5.4 (เห็นด้วย 15 ข้อมูลจากกลุ่มสัมภาษณ์ 19 ข้อมูล คิดเป็น 78 %) ด้วยเหตุผลปฏิบัติงานได้สะดวกกว่าและรองรับเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวมากกว่าคือ 280 mm ซึ่งสูงกว่าระยะสูงสุดของปัญหาที่เกิดขึ้นคือ 180 mm แต่มีคำแนะนำเพิ่มเติมให้ชุดวาง Protective Sleeve ควรถอดประกอบได้เพื่อความสะดวกในการวางเส้นใยแก้วนำแสงหลังตัดต่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว

5.2 ทดลองภาคสนาม (Field Trial)

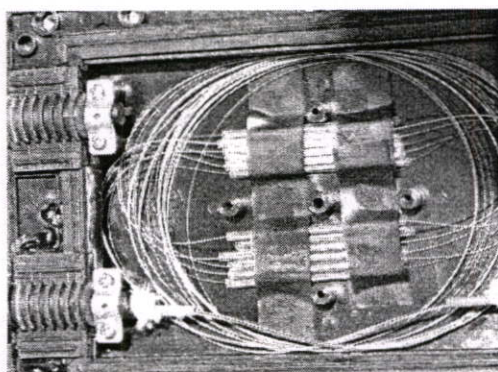
ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการได้ปรับปรุงและผลิตตารองรับเส้นใยแก้วนำแสงจำนวน 30 ชุด เพื่อทดลองภาคสนาม โดยแบ่งการทดลองเป็น

- 1) นำตารองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ติดตั้งกับสาย OFC สำหรับ Access Service แบบเดิมกับโครงข่ายที่ใช้งานอยู่แล้ว จำนวน 5 ตัวอย่าง
- 2) นำตารองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ติดตั้งกับสาย OFC สำหรับ Access Service แบบเดิมกับโครงข่ายใหม่โดยแขวนสายทิ้งไว้ก่อนตัดต่อประมาณ 3 วัน จำนวน 5 ตัวอย่าง
- 3) นำตารองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service ด้วยวิธีการติดตั้งใหม่กับโครงข่ายใหม่โดยแขวนสายทิ้งไว้ก่อนตัดต่อประมาณ 3 วัน เสริมกับ Fix Loop จำนวน 20 ตัวอย่าง

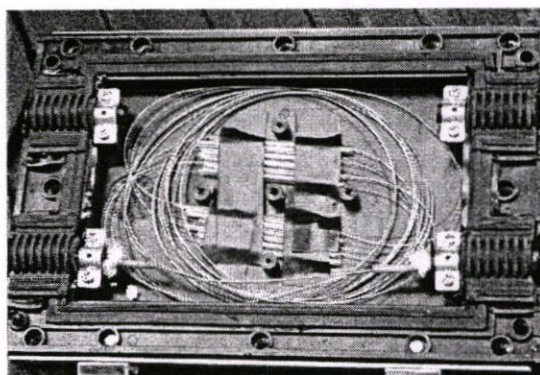
5.2.1 นำเอาฯ แบบใหม่ติดตั้งแบบเดิมกับโครงข่ายที่ใช้งานเดิม

จากปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งทดลองเอาถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงออก และยึด Protective Sleeve กลางหัวต่อและยึดด้วยเทปพันสายไฟ ตามรูปที่ 5.6 และปล่อยให้เส้นใยแก้วนำแสงในหัวต่อเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระนั้น ผลการเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสง ก่อน-หลัง เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 4 เดือน จากการสังเกตพบว่าเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวน้อยมาก จึงประสานงานกับผู้ปฏิบัติงานนำถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ติดตั้งทดแทน หลังติดตั้งถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่กับหัวต่อรูปที่ 5.6 ผ่านไปประมาณ 6 เดือน ได้ขอความร่วมมือจากผู้ปฏิบัติเปิดหัวต่อเพื่อตรวจสอบสภาพภายในหัวต่ออีกครั้ง ไม่พบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว

ตัวอย่างที่สองพบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube ประมาณ 50 mm จากตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้ ทุกตัวอย่างทดลองเมื่อตรวจสอบเครื่อง OTDR ไม่พบปัญหา Bending Loss บริเวณหัวต่อ



ก่อน



หลัง

รูปที่ 5.6 แสดงเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวในหัวต่อที่เอาเอาฯ ออกก่อนและหลัง

ส่งถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ติดตั้งกับโครงข่ายเดิม จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 3 ตัวอย่าง เมื่อเปิดหัวต่อเพื่อเปลี่ยนถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ทดแทน พบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวทั้ง 3 หัวต่อที่เปิดเพื่อทดลอง และมีหนึ่งหัวต่อที่เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวจนต้องตัดต่อเส้นใยแก้วนำแสงใหม่ อีก 2 หัวต่อเพียงจัดเรียงเส้นใยแก้วนำแสงใหม่ เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวไม่มาก จากนั้นได้เปลี่ยนถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ทดแทน เวลาผ่านไปประมาณ 6 เดือน ได้ตรวจสอบ Loss บริเวณหัวต่อด้วยเครื่อง OTDR ไม่พบปัญหา Bending Loss บริเวณหัวต่อของกลุ่มตัวอย่าง ได้ทำการสุ่มเปิดหัวต่อจำนวน 2 หัวต่อ พบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube ประมาณ 10 mm และอีกหัวต่อพบเส้นใยแก้ว

นำแสงเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube ประมาณ 90 mm จากตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้ รายละเอียดตามตารางที่ 5.2 (ภาคฯ รองรับการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงได้สูงสุด 280 mm)

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการทดลองนำภาคฯ แบบใหม่ติดตั้งแบบเดิมกับโครงข่ายที่ใช้งานเดิม

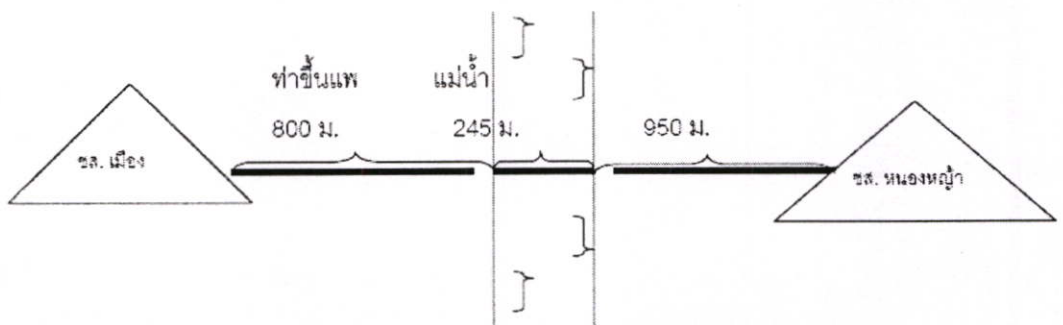
สถานที่ (จังหวัด)	หัวต่อที่	ระยะ เส้นใยแก้วฯ เคลื่อนตัว	รัศมี เส้นใยแก้ว โคนงอ	ระยะห่าง หัวต่อ	ระยะ เวลาที่ เก็บข้อมูล	หมายเหตุ
นครราชสีมา	1	ปกติ	45	4,000	6	เปิดหัวต่อ
	2	ยัดออก 50	48	4,000	6	เปิดหัวต่อ
นครศรีธรรมราช	1	ไม่มีค่า Loss		3,500	5	วัด OTDR
	2	หดเข้า 10	44	4,000	5	เปิดหัวต่อ
	3	ยัดออก 90	50	4,000	5	เปิดหัวต่อ
Unit		mm	mm	m	เดือน	

หมายเหตุ เส้นใยแก้วนำแสงติดตั้งในภาคฯ รัศมีเส้นใยแก้วปกติที่ 45 mm.

5.2.2 นำภาคฯ แบบใหม่ติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service กับโครงข่ายใหม่

จากผลการทดลอง Vibration ที่พบว่าสาย OFC สำหรับ Access Service มีจุดอึดล้มหลังจาก ทดลอง 3 วัน ทดลองนำภาครองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service กับโครงข่ายใหม่ โดยแขวนสายทิ้งไว้ประมาณ 3 วัน ไม่มี Fix Loop

ทดลองจังหวัดกาญจนบุรีระหว่างชุมสายตัวเมืองกับชุมสายย่อยหนองหญ้า ซึ่งในการทดลอง ติดตั้งมีช่วงที่ต้องแขวนข้ามแม่น้ำ สายยาว 245 เมตร(จาก Length Mark ของสาย) โดยมีการแขวน สาย Steel Wire ก่อน แล้วจึงแขวนสาย OFC สำหรับ Access Service โดยใช้ Lashing Wire ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 5/16 inch รัดพันกับสาย Steel Wire ตามรูปที่ 5.8 Route นี้มีสาย OFC สำหรับ Access Service แขวนอยู่ก่อนแล้ว 950 เมตร จึงแขวนสาย OFC สำหรับ Access Service เพิ่มอีก 1,045 เมตร (800+245) ดังนั้น Route จะมีหัวต่อเพียงหัวต่อเดียวตามแปลนรูปที่ 5.7

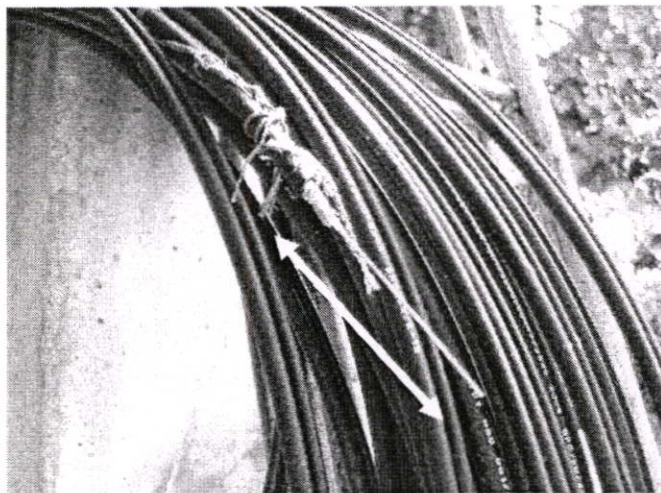


รูปที่ 5.7 แนวแขวนสาย OFC สำหรับ Access Service ข้ามแม่น้ำกาญจนบุรี



รูปที่ 5.8 แวนสาย OFC สำหรับ Access Service ข้ามแม่น้ำกาญจนบุรี

แวนสาย OFC สำหรับ Access Service ทิ้งไว้ 3 วัน โดยเปิดปลายสายทั้งสองด้าน ผลปรากฏว่า ด้านชุมสายตัวเมืองเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube ประมาณ 180 mm และ ด้านชุมสายย่อยหนองหญ้าเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube ประมาณ 200 mm ตามรูปที่ 5.9 ทำการตัดต่อสาย OFC สำหรับ Access Service ตามขั้นตอนปกติ โดย Route นี้ไม่มี Fix Loop



รูปที่ 5.9 แวนสาย OFC สำหรับ Access Service ทิ้งไว้ 3 วันเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกมา

เวลาผ่านไปประมาณ 6 เดือนได้ตรวจสอบ Loss บริเวณหัวต่อด้วยเครื่อง OTDR ไม่พบปัญหา Bending Loss บริเวณหัวต่อของกลุ่มตัวอย่าง เมื่อเปิดหัวคูหัวต่อพบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube ประมาณ 50 mm จากตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้

ตัวอย่างอาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงอีก 4 ตัวอย่าง ที่ขอความร่วมมือให้จังหวัดกาญจนบุรี ทดลองใช้งาน โดยติดตั้งวิธีเดียวกันคือแขวนสายทิ้งไว้อย่างน้อย 3 วันก่อนตัดต่อ เมื่อเวลาผ่านไป ประมาณ 6 เดือน เปิดหัวคูหัวต่อพบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออกจาก Loose Tube ทั้ง 4 ตัวอย่างจากตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้ ต่ำสุด 30 mm สูงสุด 100 mm ซึ่งอยู่ในระยะที่อาคารรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่รองรับได้ (≤ 280 mm) รายละเอียดตามตารางที่ 5.3

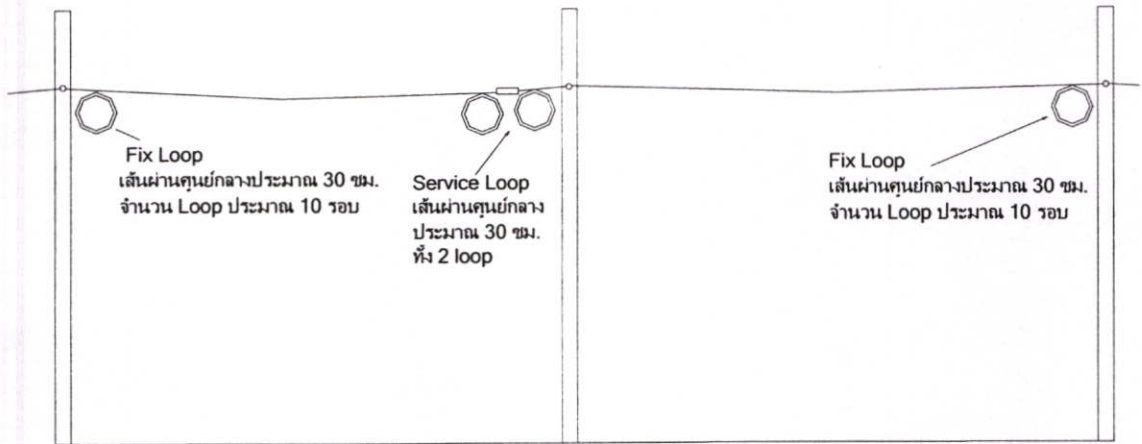
ตารางที่ 5.3 สรุปผลการทดลองนำอาคาร แบบใหม่ติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service กับโครงข่ายใหม่

สถานที่ (จังหวัด)	หัวต่อ ที่	ระยะ เส้นใยแก้วฯ เคลื่อนตัว	รัศมี เส้นใยแก้ว โค้งงอ	ระยะห่าง หัวต่อ	ระยะ เวลาที่ เก็บข้อมูล	หมายเหตุ
กาญจนบุรี	1	ยัดออก 50	48	1,045	6	เปิดหัวต่อ
	2	หดเข้า 30	43	4,000	6	เปิดหัวต่อ
	3	ปกติ	45	1,000	6	เปิดหัวต่อ
	4	ยัดออก 100	50	4,000	6	เปิดหัวต่อ
	5	ยัดออก 75	49	3,000	6	เปิดหัวต่อ
Unit		mm	mm	m	เดือน	

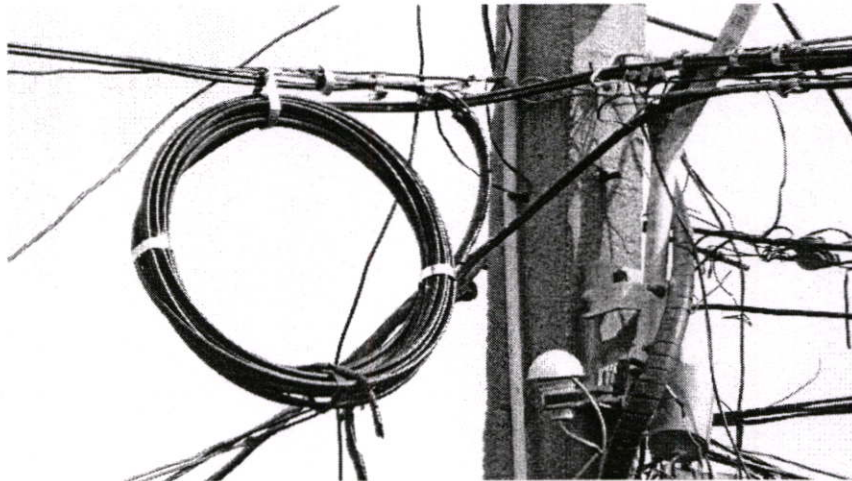
หมายเหตุ เส้นใยแก้วนำแสงติดตั้งในอาคาร รัศมีเส้นใยแก้วปกติที่ 45 mm.

5.2.3 นำอาคาร แบบใหม่ติดตั้งด้วยวิธีการใหม่กับโครงข่ายใหม่

จากผลการทดลองที่พบว่าสาย OFC สำหรับ Access Service มีจุดอึดตัว เมื่อแขวนสายทิ้งไว้ ประมาณ 3 วัน เสริมกับ Fix Loop และถ้า Route นั้น ๆ มีจำนวน Fix Loop ถี่มาก อัตราการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงจะน้อยตามจำนวน Fix Loop ดังนั้นวิธีการใหม่จึงกำหนดให้การแขวนสาย OFC สำหรับ Access Service ต้องมี Fix Loop ทุก ๆ 1,000 เมตร กรณีสายยาวน้อยกว่า 1,000 เมตร ให้มี Fix Loop กึ่งกลางเพียง Loop เดียว และ ก่อนถึงหัวต่อหนึ่งช่วงเสากำหนดให้มี Fix Loop ทั้งสองด้าน โดยจำนวนรอบของ Fix Loop อยู่ในช่วง 7 - 10 รอบ เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร (สายใน Fix Loop ยาวรอบละประมาณ 100 เซนติเมตร : $L = 2\pi r$) ตามรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แบบแปลนการแขวนสาย OFC สำหรับ Access Service ด้วยวิธีการใหม่



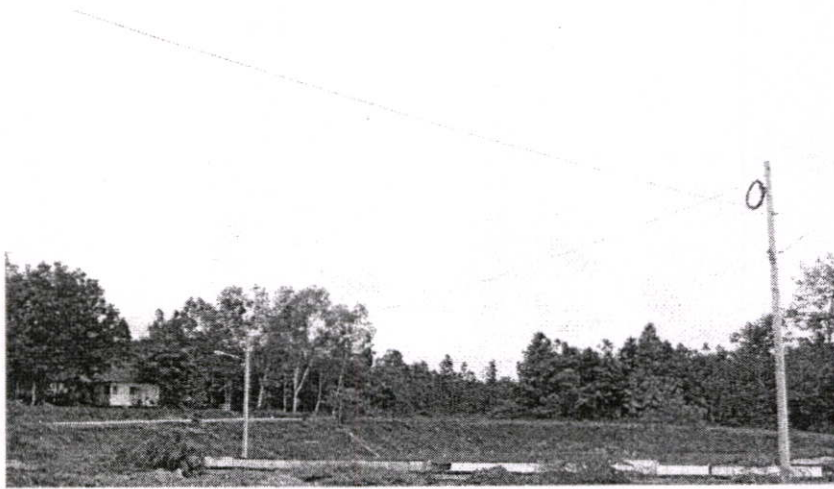
รูปที่ 5.11 Fix Loop ที่เพิ่มในการแขวนสาย OFC สำหรับ Access Service

ประสานงานบริษัทเคเบิลทีวีท้องถิ่นจังหวัดชลบุรี ซึ่งจะวางโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงใช้งานเพียง 8 Cores ด้วยสาย Optical Cable จำนวน 24 Cores จากที่เคยใช้งานสาย OFC สำหรับ Access Service จำนวน 12 Cores เนื่องจากกลัวปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว ทั้งที่ต้นทุนในการวางข่ายสายด้วยสาย Optical Cable สูงกว่า 50 % ได้ขอทดลองแขวนสาย OFC สำหรับ Access Service ขนาด 12 Cores ด้วยวิธีการใหม่ข้างต้น ซึ่งได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีให้ทดลองติดตั้ง 1 Route บริเวณหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี Route ทดลองยาวประมาณ 60,000 เมตร ใช้ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่จำนวน 16 หัวต่อ

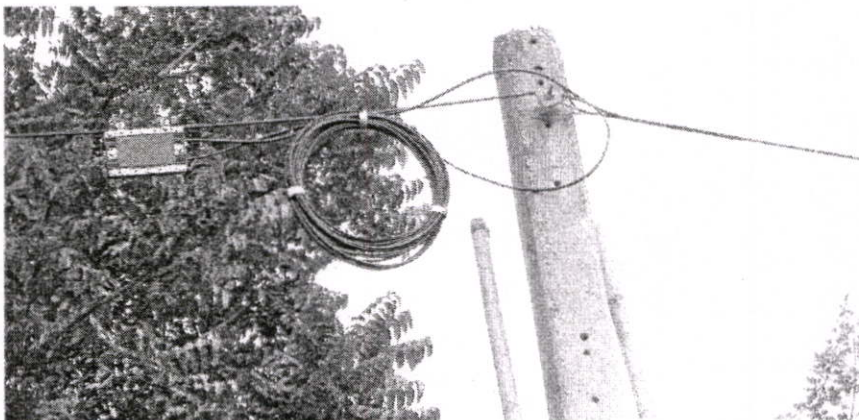
ผลการทดลองติดตั้งต้นเดือนมกราคม 2549 ระยะเวลาผ่านไปประมาณ 2 เดือน ตรวจสอบ Loss บริเวณหัวต่อด้วยเครื่อง OTDR ไม่พบปัญหา Bending Loss ได้ทดลองสุมเปิดหัวต่อจำนวน

2 หัวต่อไม่พบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวทั้ง 2 ตัวอย่างจากตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้ และต้นเดือนเมษายน 2549 (ประมาณ 4 เดือน) ตรวจสอบ Loss บริเวณหัวต่อด้วยเครื่อง OTDR ไม่พบปัญหา Bending Loss ทดลองส้อมเปิดหัวต่ออีก 5 หัวต่อ พบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออก จาก Loose Tube จากตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้เพียง 3 ตัวอย่าง จาก 5 ตัวอย่างที่ส้อมเปิด โดยระยะเคลื่อนตัวต่ำสุด 10 mm สูงสุด 60 mm ซึ่งอยู่ในระยะที่ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่รองรับได้ (≤ 280 mm)

ประสานงานจังหวัดเชียงใหม่ทดลองติดตั้งถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่กับสาย OFC สำหรับ Access Service ด้วยวิธีการใหม่จำนวน 4 หัวต่อ



รูปที่ 5.12 Fix Loop ที่เพิ่มในการแขวนสาย OFC สำหรับ Access Service ก่อนถึงหัวต่อ



รูปที่ 5.13 Service Loop ที่หัวต่อตามปกติ

ผลการทดลองติดตั้งใช้งานประมาณ 6 เดือน ตรวจสอบ Loss บริเวณหัวต่อด้วยเครื่อง OTDR ไม่พบปัญหา Bending Loss ทดลองส้อมเปิดหัวต่อจำนวน 1 หัวต่อ ไม่พบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวจากตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้ รายละเอียดตามตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 สรุปผลการทดลองนำถาดฯ แบบใหม่ติดตั้งด้วยวิธีการใหม่กับโครงข่ายใหม่

สถานที่ (จังหวัด)	หัวต่อ ที่	ระยะ เส้นใยแก้ว เคลื่อนตัว	รัศมี เส้นใยแก้ว โค้งงอ	ระยะห่าง หัวต่อ	ระยะเวลาที่ เก็บข้อมูล	หมายเหตุ
ชลบุรี	1	ปกติ	45	3,000	2	เปิดหัวต่อ
	2	ไม่มีค่า Loss		4,000	2	วัด OTDR
	3	ปกติ	45	4,000	2	เปิดหัวต่อ
	4	ไม่มีค่า Loss		4,000	2	วัด OTDR
	5	ไม่มีค่า Loss		4,000	2	วัด OTDR
	6	ปกติ	45	4,000	4	เปิดหัวต่อ
	7	หุดเข้า 10	44	4,000	4	เปิดหัวต่อ
	8	ไม่มีค่า Loss		4,000	4	วัด OTDR
	9	ไม่มีค่า Loss		4,000	4	วัด OTDR
	10	ปกติ	45	4,000	4	เปิดหัวต่อ
	11	ไม่มีค่า Loss		4,000	4	วัด OTDR
	12	ยัดออก 60	48	4,000	4	เปิดหัวต่อ
	13	ไม่มีค่า Loss		4,000	4	วัด OTDR
	14	ไม่มีค่า Loss		4,000	4	วัด OTDR
	15	ยัดออก 45	47	4,000	4	เปิดหัวต่อ
	16	ไม่มีค่า Loss		3,500	4	วัด OTDR
เชียงใหม่	1	ไม่มีค่า Loss		3,000	6	วัด OTDR
	2	ปกติ	45	4,000	6	เปิดหัวต่อ
	3	ไม่มีค่า Loss		4,000	6	วัด OTDR
	4	ไม่มีค่า Loss		1,000	6	วัด OTDR
Unit		mm	mm	m	เดือน	

หมายเหตุ เส้นใยแก้วนำแสงติดตั้งในถาดฯ รัศมีเส้นใยแก้วปกติที่ 45 mm.

5.3 สรุปผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม

ผลสรุปการทดลองในห้องปฏิบัติการ ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 รูปแบบสามารถรองรับการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสง 230 mm และ 280 mm ตามลำดับ โดยไม่มีผลกระทบจาก Bending Loss จึงนำต้นแบบถาดทั้งสองรูปแบบไปขอคำแนะนำจากผู้ปฏิบัติงาน โดยให้ทดลองตัดต่อ (Fusion) เส้นใยแก้วนำแสงเหมือนใช้งานจริงกับต้นแบบรองรับเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 รูปแบบ ข้อมูลจากกลุ่มผู้ปฏิบัติงาน 78 % ยอมรับถาดต้นแบบที่มีสัณวงกลมแบบไม่ต่อเนื่อง โดยมีคำแนะนำเพิ่มให้ชุดวาง Protective Sleeve ควรถอดประกอบได้ จากคำแนะนำข้างต้น ผู้วิจัยได้ออกแบบถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงสัณวงกลมแบบไม่ต่อเนื่องประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก ๆ 3 ส่วน คือ 1) ชิ้นส่วนฝาปิดถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสง 2) ชิ้นส่วนถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงสัณวงกลมแบบไม่ต่อเนื่อง และ 3) ชิ้นส่วนชุดวาง Protective Sleeve ถอดประกอบได้ และผลิตต้นแบบจำนวน 30 ชุด ด้วยโมลดีคเพื่อทดลองภาคสนาม

ทดลองภาคสนาม ได้แบ่งการทดลอง 3 รูปแบบ คือ 1) นำถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ติดตั้งกับสาย OFC สำหรับ Access Service แบบเดิมกับโครงข่ายที่ใช้งานอยู่แล้ว จำนวน 5 ตัวอย่าง 2) นำถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ติดตั้งกับสาย OFC สำหรับ Access Service แบบเดิมกับโครงข่ายใหม่โดยแขวนสายทิ้งไว้ก่อนตัดต่อประมาณ 3 วัน จำนวน 5 ตัวอย่าง และ 3) นำถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ติดตั้งสาย OFC สำหรับ Access Service ด้วยวิธีการติดตั้งใหม่กับโครงข่ายใหม่โดยแขวนสายทิ้งไว้ก่อนตัดต่อประมาณ 3 วัน เสริมกับ Fix Loop จำนวน 20 ตัวอย่าง

ผลการทดลองภาคสนามทั้ง 3 รูปแบบ ระยะเวลาผ่านไปประมาณ 6 เดือน พบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว 10 mm ถึง 90 mm ขณะที่ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงออกแบบรองรับการเคลื่อนตัว เข้า-ออก ของเส้นใยแก้วนำแสงได้สูงสุด 280 mm เมื่อตรวจสอบ Loss บริเวณหัวต่อด้วยเครื่อง OTDR ไม่พบปัญหา Bending Loss เกิดขึ้นกับถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ใน Route ทดลองทั้ง 30 ตัวอย่าง

บทที่ 6

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อสำรวจและหาแนวทางแก้ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงของสาย OFC for Access Service เคลื่อนตัวภายในจุดต่อเชื่อมหรือหัวต่อ จนเกิด Bending Loss ทั้งในโครงข่ายสายที่ติดตั้งใช้งานไปแล้วและโครงข่ายที่จะติดตั้งใหม่ โดยวิธีการดำเนินการแก้ไขตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องมีความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิคและธุรกิจ

สาย OFC for Access Service ใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิด Single Mode ตามมาตรฐาน ITU-T G.652 D[9] ปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวเกิดการโค้งงอ ผลการใช้โปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ Critical Radius พบว่าเส้นใยแก้วนำแสงรัศมีโค้งงอ (Radius Bending) ที่เหมาะสมที่สุดต้องไม่ต่ำกว่า 30 mm

ผลการเก็บข้อมูลปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เข้า-ออกจาก Loose Tube ของสาย OFC for Access Service พบว่าร้อยละ 62 มีปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว ระยะเคลื่อนตัวสูงสุด 180 mm ขณะที่สาย Optical Cable ไม่มีปัญหาดังกล่าว ซึ่งผลการทดลองวัสดุที่นำมาผลิตสาย OFC for Access Service ทุกบริษัทเป็นไปตามมาตรฐาน แต่ค่าการจับยึด (Friction) ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับ Loose Tube ของสาย OFC for Access Service น้อยมาก จากผลการทดลองการด้วยการเพิ่ม Fix Loop เมื่อแขวนสาย OFC for Access Service สามารถลดปัญหาลงได้ถึง 55 % ดังนั้นปัญหาอีก 45 % จึงกำหนดแนวทางลดปัญหาสาย OFC for Access Service เคลื่อนตัวโดยออกแบบอุปกรณ์รองรับเส้นใยแก้วนำแสงบริเวณหัวต่อให้สามารถรองรับการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงได้อีก 45 % ของปัญหา

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงสามารถรองรับการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงได้ 280 mm โดยไม่มีผลกระทบจาก Bending Loss เมื่อนำต้นแบบถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงเปรียบเทียบกับภูมิหลังสิทธิบัตร (Patent) ทั้งในประเทศและต่างประเทศ [14-22] เพื่อป้องกันการละเมิดสิทธิ ผลการตรวจสอบไม่พบซ้ำกับสิทธิบัตรใด ๆ ข้างต้นจึงดำเนินการผลิตด้วยวิธีโมลด์จำนวน 30 ชุดด้วยโมลด์เพื่อทดลองภาคสนาม (Field Trial)

โดยการทดลองภาคสนาม (Field Trial) ได้แบ่งการทดลอง 3 รูปแบบ คือ 1) นำถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ติดตั้งกับสาย OFC for Access Service แบบเดิมกับโครงข่ายที่ใช้งานอยู่แล้ว 2) นำถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ติดตั้งกับสาย OFC for Access Service แบบเดิมกับโครงข่ายใหม่โดยแขวนสายทิ้งไว้ก่อนตัดต่อประมาณ 3 วัน และ 3) นำถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ติดตั้งสาย OFC for Access Service ด้วยวิธีการติดตั้งใหม่กับโครงข่ายใหม่โดยแขวนสายทิ้งไว้ก่อนตัดต่อประมาณ 3 วัน เสริมกับ Fix Loop ผลการทดลองภาคสนามทั้ง 3 รูปแบบ

ระยะเวลาผ่านไปประมาณ 6 เดือน พบเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว 10 mm ถึง 100 mm ขณะที่
ถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงออกแบบรองรับการเคลื่อนตัว เข้า-ออก ของเส้นใยแก้วนำแสงได้
สูงสุด 280 mm เมื่อตรวจสอบ Loss บริเวณหัวต่อด้วยเครื่อง OTDR ไม่พบปัญหา Bending Loss
เกิดขึ้นกับถาดรองรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ใน Route ทดลองทั้ง 30 ตัวอย่าง

ดังนั้นจึงควรเผยแพร่ผลงานวิจัยตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต่อหน่วยงานที่นำสาย OFC for Access
Service ไปติดตั้งใช้งาน เพื่อแก้ไขปัญหาในโครงข่ายสายที่ติดตั้งใช้งานไปแล้วและโครงข่ายที่จะ
ติดตั้งใหม่ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] W.P. Chen, W.S. Hwang, and C. C. Li. "A Packet Pre-classification CSMA/CA MAC Protocol for IP over WDM Ring Network" Proc. 8th IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS2002), pp. 1222-1226, 2002.
- [2] K.S. Kim, H. Okagawa, K. Shrikhande and L.G. Kazovsky. "Unslotted Optical CSMA/CA MAC Protocol with Fairness Control in Metro WDM Ring Network" , Proc. GLOBECOM 2002, Taipei, Taiwan, Nov 2002.
- [3] TOT Corporation Public Company Limited Outside Plant Engineering Standard Section, "Fiber Optic Cable for Access Service (Optical Drop Cable)", Specification No. OES-004-031-01 Issued: November, 2004.
- [4] แผนกวิชาสายดอนนอก ฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคล บริษัท ทศท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) Optical Operation & Maintenance (โครงการ TNEP) หน้า 1-26, มีนาคม 2546.
- [5] TOT Corporation Public Company Limited outside Plant Engineering Standard Section, "Fiber Optic Cable for Access Service (Optical Drop Cable)", Specification No. OES-004-031-01 Issued: November, 2004.
- [6] I. Sakabe, Bend-Insensitive SM Fiber and Its Applications to Access Network System IEICE Trans. Electron., Vol.E88, No.5, May 2005.
- [7] S. Matsuo, Low-Bending-Loss and Low-Splice-Loss Single-Mode-Fibers Employing A Trench Index Profile IEICE, Trans. Electron., Vol.E88, No.5, May 2005.
- [8] S. Tomita, Hihoyuki Tachino and Nonuyuki Kasahara Water Sensor with Optical Fiber, Journal of Light Wave Technology, Vol.8, No.12, December 1990. pp. 1829-1832
- [9] Characteristics of a Single-Mode Fiber Optic and Cable International Telecommunication Union (ITU-T) Recommendation G.652 (03/2003) pp. 6 -11
- [10] TOT Corporation Public Company Limited, Outside Plant Engineering Standard Section, "Single Mode Fiber Optic Cable Specification" No. OES-004-030-01 Issued: November 2004.
- [11] B. Chomycz, Fiber Optic Installer's Field Manual, McGraw-Hill Company.
- [12] C. Hentschel, "Fiber Optic Handbook", Hewlett Packard, March 1989
- [13] L.D. Green, "Fiber Optic Communication", USA, 1993.

- [14] H. Hizuka, Extra Length Accommodation Structure for Optical Fiber,
US Patent no. 6091876, Jul 2000.
- [15] D.R. Mertesdorf, Rotating Radius Limiter for Cable Management Panel and Method, US
Patent no. 6865331, Mar 2005.
- [16] P.A. Kmight, Fiber Optic Cable Bend Radius Management System, US Patent no. 6678455,
Jan 2004.
- [17] D.A. Tenney, Fiber Optic Cable Coiling Tray, US Patent no. 6249634, Jun 2001.
- [18] B.H. Daoud, Double Helical-S Fiber Tray, US Patent no. 6738554, May 2004.
- [19] M. Wayne Allerellie, Fiber Optic Splice Closure, US Patent no. 6774962, Jun 2004.
- [20] R.L., Cable Splice Enclosure, US Patent no. 6950593, Sep 2005.
- [21] R.G., Fiber Optic Cable Closure and Assemble, US Patent no. 6856747, Feb 2005.
- [22] K.J. Smith, Aerial Closure for Local Convergence Point, US Patent no. 6776094, Jul 2004.
- [23] หลักการวิจัยเบื้องต้น: ทฤษฎีและปฏิบัติ บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์ โครงการศึกษาต่อเนื่อง
มหาวิทยาลัยมหิดล เมษายน 2537, ISBN 974-587-887-4 : pp. 7-8
- [24] TOT Corporation Public Company Limited, Outside Plant Engineering Standard Section,
“Fusion Splicing Machine” Specification No. GES-121-023-02 Issued: 2000.

ภาคผนวก

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] ตีพิมพ์บทความทางวิชาการ การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เรื่อง “อุปกรณ์ตรวจจับน้ำหรือของเหลว (Sensor to Detect Water or Liquid)” โดย นฤทธิสมเจริญ สำเภพล สุวิพล สิริชิวภาค และ เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์ ครั้งที่ 42 ระหว่างวันที่ 3 – 6 กุมภาพันธ์ 2547
- [2] ตีพิมพ์บทความทางวิชาการ การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เรื่อง “อุปกรณ์จับยึดสายไฟเบอร์ออฟติกชนิดแอกแซสเซอร์วิดส์ (Optic Fiber Cable Clamp for OFC Access Service)” โดย นฤทธิสมเจริญ สำเภพล วิชัย โรมไชสง พิณิจ หมี่สมุทร สมศักดิ์ ศรีอำพันธุ์ กรรณิษฐ์ แพรไพสิฐ และจิตนภา รอดอนันต์ ครั้งที่ 43 ระหว่างวันที่ 1 - 4 กุมภาพันธ์ 2548
- [3] ตีพิมพ์บทความทางวิชาการ การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เรื่อง “วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาไฟเบอร์ออฟติกเคลื่อนตัวในสายเคเบิลไฟเบอร์ออฟติกชนิด หลอดหลวมเดี่ยว (Analysis of Fiber Optic’s Relocation Problem in Mono Loose Tube Type)” โดย นฤทธิสมเจริญ สำเภพล สุวิพล สิริชิวภาค และ เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์ ครั้งที่ 44 ระหว่างวันที่ 30 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2549

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณฤทธิ์สมเจริญ สำเภาพล
วัน เดือน ปีเกิด	11 มีนาคม 2504 ที่ จังหวัดนครศรีธรรมราช
ที่อยู่	100/17 ซ.3/2 หมู่บ้านชัยพฤกษ์ ถ.คุ้มเกล้า แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
ประวัติการศึกษา	2535 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วทบ.) สาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยครูพระนคร
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1) เป็นวิทยากรพิเศษประจำหน่วยงานฝึกอบรม บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) 2) เป็น Inspector ตรวจสอบ โรงงานผลิตสายเคเบิลโทรศัพท์ ภายในประเทศ บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) 3) เป็นผู้ควบคุมและที่ปรึกษาโครงการวิจัย ของสถาบันนวัตกรรม บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน)
ผลงานที่ได้รับรางวัล	1) ได้รับ “เหรียญทอง” จากการนำผลงานประดิษฐ์คิดค้นและ ผลงานวิจัย “อุปกรณ์ตรวจจับน้ำหรือของเหลว (Sensor to Detect Water or Liquid)” ส่งเข้าประกวดในงานสิ่งประดิษฐ์โลก “BRUSSELS EUREKA 2000: 49 th World Exhibition of Innovation Research and New Technology” ณ กรุงบรัสเซลส์ ราชอาณาจักรเบลเยียม ระหว่างวันที่ 14-20 พฤศจิกายน 2543 2) ได้รับรางวัล “ผลงานวิจัยดีเด่น” สาขาวิศวกรรมศาสตร์ เรื่อง “อุปกรณ์จับยึดสายไฟเบอร์ออฟติกชนิดแอกแซสเซอร์วิตส์ (Optic Fiber Cable Clamp for OFC Access Service)” จากคณะกรรมการ ฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2548 ระหว่างวันที่ 1 - 4 กุมภาพันธ์ 2548