



รายงานผลการวิจัยและพัฒนา

เรื่อง

วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาไฟเบอร์ออฟติกเคลื่อนตัว
ในสายเคเบิลไฟเบอร์ออฟติกชนิดหลอดหลวมเดี่ยว

Analysis of Fiber Optic's Relocation Problem
in Mono Loose Tube Type

โดย

นายณฤทธิ์สมเจริญ สำเภาพล

นางจิตนภา รอดอนันต์

นายสมศักดิ์ ศรีอำพันธุ์ นางสาวกรรณิณี แพรไพสิฐ

นายไพศาล เข่งเจริญ นายวิชัย โรมไธสง

ส่วนวิจัยและพัฒนางานต่อนอกและระบบป้องกัน

ฝ่ายวิจัยและพัฒนา บริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน)



รายงานผลการวิจัยและพัฒนา

เรื่อง

วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาไฟเบอร์ออฟติกเคลื่อนตัว
ในสายเคเบิลไฟเบอร์ออฟติกชนิดหลอดหลวมเดี่ยว

Analysis of Fiber Optic's Relocation Problem
in Mono Loose Tube Type

ชนิดของรายงาน

ผลการศึกษา

ผลการวิจัย

ผลการสำรวจ

ชนิดของรายงาน

ลับ

เฉพาะ บมจ. ทศท

ทั่วไป

.....
สวัสดี ประนม

(นายสวัสดี ประนม)

ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนา

วันที่ 30 กันยายน 2548

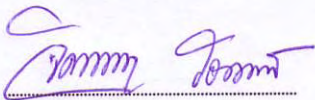
รายงาน
ผลการวิจัยและพัฒนาเรื่อง

วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาไฟเบอร์ออฟติกเคลื่อนตัว
ในสายเคเบิลไฟเบอร์ออฟติกชนิดหลอดกลมเดี่ยว



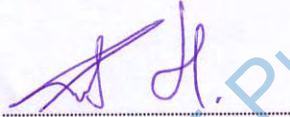
(นายณัฐสรณ์สมเจริญ ส้าภาพล)

1. หัวหน้าคณะทำงาน



(นางจิตนภา รอดอนันต์)

2. คณะทำงาน



(นายสมศักดิ์ ศรีอำพันธ์)

3. คณะทำงาน



(นางสาวกรรณีย์ แพรไพสิฐ)

4. คณะทำงาน



(นายไพศาล ช่งเจริญ)

5. คณะทำงาน



(นายวิชัย โรมโรตอง)

6. คณะทำงาน

วันที่ 26 กันยายน 2548

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของงานวิจัยนี้ สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือของพนักงานทั้งในระดับผู้บริหาร และพนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่ในสนามของ บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) หรือ บมจ.ทีโอที ทั้งนครหลวง และภูมิภาคที่ให้ข้อมูลคำแนะนำและเป็นสนามทดลองในการเก็บข้อมูล และบริษัทผลิตเคเบิลไฟเบอร์ออปติกในประเทศทั้ง 3 บริษัท ที่สนับสนุนเคเบิลต้นแบบ ข้อมูลด้านวิชาการ ร่วมวิเคราะห์แนวทางในการแก้ไขปัญหา และให้คำปรึกษาอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณ (บมจ. ทีโอที)

คุณ สวัสดิ์ ประนม	ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนา
คุณ พิณิจ หมีสุมทร	ผู้จัดการส่วนวิจัยและพัฒนา งานต่อนนอกและระบบป้องกัน
คุณ ฤทัย นิ้มไฉน	ผู้จัดการส่วนทดสอบและพัฒนา
คุณ พงษ์สิน เล่าหะกังวานวิทย์	ผู้จัดการส่วนซ่อมและปรับเทียบ
คุณ สุราษฎร์ ศิริวงษ์	อดีตผู้อำนวยการส่วนทดสอบอุปกรณ์ต่อนนอก

สังกัด ส่วนทดสอบและพัฒนา (บมจ. ทีโอที)

คุณ สำราญ ศรีโต, คุณ ธงชัย กองสุวรรณ, คุณ กิตติโชค บุญชัยยะ, คุณ ยุทธนา มีสารภี

สังกัด ส่วนซ่อมและปรับเทียบ (บมจ. ทีโอที)

คุณ ศักดิ์สิทธิ์ จิระเสวี, คุณ กริธา ไตรสนธิ์, คุณ อนุชา บุญขวลิต, คุณ ชัจด์ วงษ์ผึ้ง

สังกัด ส่วนนโยบายการพัสดุ (บมจ. ทีโอที)

คุณ กसानต์ ชิตเกษตรพงศ์, คุณ มนัส เปรมประยูร

สังกัด ส่วนมาตรฐานอุปกรณ์ข่ายสาย (บมจ. ทีโอที)

คุณ พิพัฒน์ จงรักวิทย์

สังกัด ส่วนบริการลูกค้าจังหวัดกาญจนบุรี (บมจ. ทีโอที)

คุณ คำนึ่ง ตรีพลอักษร, คุณ ปกรณ์ มิตรวางกูร, คุณ ประมุข สังขานวม

สังกัด ส่วนบริการลูกค้าจังหวัดนครราชสีมา (บมจ. ทีไอที)

คุณ เสรี บรรจงปฐ

สังกัด ส่วนบริการลูกค้าจังหวัดเชียงราย (บมจ. ทีไอที)

คุณ ชัยบรรจพา อินแปลง, คุณ ชัยวัฒน์ เนียมแสง, คุณ โยธิน เกียรติวัฒนเจริญ

สังกัด ส่วนบริการลูกค้าจังหวัดเชียงใหม่ (บมจ. ทีไอที)

คุณ ศุภาวิธ กวีวรรณลักษณ์, คุณ ประสพ ใจดวงคำ, คุณ เรวัต ภูมิชัย, คุณ ไชตือนันต์ ม่วงตานี

คุณ ณยศมนต์ จันทร์ลอย

บริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิ้ล จำกัด (HBC)

คุณ อาคม แรกตั้ง, คุณ สมหมาย ชูชันธิน, คุณ อำนาจ เกิดศรี, คุณ ธวัชชัย พัฒนาการ

บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO)

คุณ สถิตยั ตาบเพ็ชร, คุณ สมชัย สิมานันท์, คุณ ทินกร นินันต์, คุณ วิชิต ทิพย์ฝัน

บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFO)

คุณ สมบัติ ศิริประยูรต์, สุรินทร์ ดุงโคกกรวด, คุณ วรณลักษณ์ ชาวกันหา

บริษัท SJP INTERTRADE

คุณ วิโรจน์ เลิศวาริเวช, คุณ เจษฎา เลิศวาริเวช

และอาจมีอีกหลายส่วนงานที่ไม่ได้กล่าวถึง คณะทำงานขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้
และหวังว่าคงได้รับความร่วมมือจากทุกท่านในโอกาสต่อไป

คณะทำงาน

สรุปผู้บริหาร

บริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน) หรือ บมจ. ทีโอที จัดซื้อสาย OFC for Access Service หรือ Optical Drop Cable จาก บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) และ บริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) รวมประมาณ 2,200,000 เมตร หลังติดตั้งใช้งานสาย Optical Drop Cable ผ่านไปประมาณปีเศษ มีผู้แจ้งปัญหาการใช้งานเข้ามาอย่างต่อเนื่องนโยบายการพัสดุ (นพพ.) ระบุสาย Optical Drop Cable มีปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวภายในหัวต่อ บมจ.ทีโอที จึงแต่งตั้งคณะทำงานหาสาเหตุสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว โดยมีผู้จัดการส่วนวิจัยและพัฒนางานตอนนอกและระบบป้องกัน (ผส.ตวท.) เป็นหัวหน้าคณะทำงาน เพื่อหาสาเหตุสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว และเพื่อสนับสนุนคณะทำงานชุด ผส.ตวท. ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนา (ผจท.วท.) จึงแต่งตั้งคณะทำงานอีกชุดโดยมีผู้จัดการศูนย์ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อุปกรณ์และระบบ(ผจ.วตวท.) เป็นหัวหน้าคณะทำงาน

นพพ. ร่วมกับ บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) ซึ่งเป็นคู่สัญญา ร่วมสำรวจปัญหาการใช้งานสาย Optical Drop Cable จังหวัดสุราษฎร์ธานี และกาญจนบุรี พบปัญหาสาย Optical Drop Cable มีเส้น Fiber เคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube ตามที่ได้รับแจ้งปัญหา เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลคณะทำงานฯ สุ่มสอบถามข้อมูลจากผู้เบิกสาย Optical Drop Cable ไปใช้งานในลำดับต้นๆ ทั่วประเทศทางโทรศัพท์ ผลสรุปพบจังหวัดที่มีปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวเพียงร้อยละ 10 ของกลุ่มตัวอย่างเท่านั้น เมื่อสอบถามเพิ่มเติมพบว่าผู้ดูแลโครงข่าย Fiber Optic ไม่เคยเปิดหัวต่อดูว่ามีปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวหรือไม่ คณะทำงานฯ จึงสำรวจและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมจังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดเชียงราย และจังหวัดเชียงใหม่ ผลการสำรวจและเก็บข้อมูลพบสาย Optical Drop Cable มีปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อเกือบทุกจังหวัด ผลการสำรวจมีข้อสังเกต Link ที่แขวนสายทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง แล้วมาตัดต่อเส้น Fiber ภายหลัง พบว่าเส้น Fiber จะเคลื่อนตัวน้อย และ Link ที่มีการ Fix Loop หลายจุดอัตราการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber จะน้อยตามจำนวนความถี่ของ Fix Loop หรือไม่มีปัญหาเรื่องเส้น Fiber เคลื่อนตัวภายในหัวต่อเคเบิลเลย

คณะทำงานฯ ร่วมกับบริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) บริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) และบริษัท SJP Intertrade ร่วมออกแบบมาตรฐานรองรับเส้น Fiber ใหม่ที่เมื่อระยะเวลาให้เส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อทดแทนภาคเดิม เสริมการติดตั้งโดย Fix Loop เพิ่ม เพื่อให้ค่า Friction ของเส้น Fiber ในสาย Optical Drop Cable มีค่าสูงขึ้น

โดยสรุปสาย Optical Drop Cable มีปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัว เข้า-ออก จาก Loose Tube ปัญหาจากสาย Optical Drop Cable มี Friction น้อยกว่าสาย Optical Cable มากแนวทางแก้ปัญหาแบ่งเป็น

- 1) สายที่ติดตั้งใช้งานไปแล้วนำถาดรองรับเส้น Fiber ที่ออกแบบใหม่ไปเปลี่ยนแทนถาดเดิม
- 2) สายที่จะติดตั้งใหม่ให้แขวนสายทิ้งไว้อย่างน้อย 3 วัน และเพิ่มจำนวน Fix Loop ก่อนถึงหัวต่อที่ช่วงเสาติดกันประมาณ 10 รอบเส้นผ่านศูนย์กลาง Fix Loop ประมาณ 30 เซนติเมตร และนำถาดรองรับเส้น Fiber ที่ออกแบบใหม่ไปใช้งาน
- 3) ออกแบบสาย Optical Drop Cable ใหม่ให้มีค่า Friction ของเส้น Fiber ที่เหมาะสม

เบื้องต้นคณะทำงานฯ ได้จัดทำคู่มือแนะนำวิธีแก้ปัญหาสาย Optical Drop Cable ที่ติดตั้งใช้งานไปแล้วและที่จะติดตั้งใหม่แจ้งต่อผู้เกี่ยวข้องเพื่อรับทราบ

TOT Public Company Limited
(www.tottcal.com)

วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาไฟเบอร์ออฟติกเคลื่อนตัว ในสายเคเบิลไฟเบอร์ออฟติกชนิดหลอดหลวมเดี่ยว

Analysis of Fiber Optic's Relocation Problem in Mono Loose Tube Type

นายณฤทธิ์สมเจริญ สำเภากล¹ นางจิตนภา รอดอนันต์ นายสมศักดิ์ ศรีอำพันธ์
นางสาวกรรณิณี แพร์ไพสิฐ นายไพศาล เห่งเจริญ นายวิชัย โรมไธสง
Naritsomjarern Sumpaopol Jitnapa Rod-Anan Somsak Sri-Amphan
Kornteenee Pairpisit Pisan Keng-Jarern Wichai Romthaisong

บทคัดย่อ

บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ได้วางโครงข่ายหลักด้วยเคเบิลไฟเบอร์ออฟติก จำนวน 149 เส้นทาง ระยะทางประมาณ 9,800,000 เมตร จำนวนคอร์ของเคเบิลไฟเบอร์ออฟติก 60 ถึง 216 คอร์ เชื่อมต่อระหว่างจังหวัดหรือส่วนกลางสู่ภูมิภาค และภายในจังหวัดจะวางโครงข่ายท้องถิ่นด้วยไฟเบอร์ออฟติก ซึ่งใช้ไฟเบอร์เพียง 2 ถึง 6 คอร์เท่านั้น เพื่อลดต้นทุนบริษัทฯ จึงได้นำสายเคเบิลไฟเบอร์ออฟติกชนิดหลอดหลวมเดี่ยวซึ่งมีคู่สายต่ำสุด 2 คอร์ สูงสุด 12 คอร์ มาแทนเคเบิลไฟเบอร์ออฟติก จากโครงสร้างของหลอดหลวมเดี่ยวที่เป็นเส้นตรง เป็นเหตุให้เส้นไฟเบอร์มีการเคลื่อนตัวบริเวณจุดต่อเชื่อม บางครั้งรุนแรงจนเส้นไฟเบอร์ขาด ผลจากการวิเคราะห์พบว่า สาเหตุมาจากโครงสร้างของสายเคเบิลไฟเบอร์ออฟติกชนิดหลอดหลวมเดี่ยวส่วนหนึ่งและจากการติดตั้งส่วนหนึ่ง จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์พิเศษเพื่อรองรับเส้นไฟเบอร์เคลื่อนตัว และศึกษาการวางโครงข่าย ซึ่งสามารถลดปัญหาเส้นไฟเบอร์มีการเคลื่อนตัวลงได้

¹ ฝ่ายวิจัยและพัฒนา บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) 65 ถ.ปทุมสัมพันธ์ ต.บางปรอก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000

Abstract

TOT Public Company Limited has installed fiber optic cables in 149 routes totaling 9,800,000 meters. The main network which connects the central region to the local regions nationwide applies the fiber optic cable with the lowest cores of 60 and the highest cores of 216, and the other network connecting an individual province internally applies the fiber optic cables ranging from 2 cores to 6 cores. In order to reduce costs of these networks, the mono loose tube has replaced the fiber optic cable with a mono loose tube with the lower of 2 cores and the highest of 12 cores. The structure of the fiber optic cable is straight so it brings about the relocation at a joint and it sometimes causes serious damage to the cable. According to the problems mentioned, it found two reasons for this problem: the structure of the fiber optic cable and the installation. So the researcher has designed an instrument to accommodate the relocation of the fiber optic and studied the networking to prevent the contraction problem.

Key Word: optic cable, mono loose tube, TOT Public Company Limited

E-mail: naritsos@tot.co.th / naritsos2@yahoo.com

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	2
1.2 เป้าหมาย	2
1.3 กรอบในการดำเนินงาน	2
บทที่ 2. สำรวจและเก็บข้อมูลปัญหาสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว	3
2.1 สำรวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดกาญจนบุรี	4
2.2 สำรวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดนครราชสีมา	8
2.3 สำรวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดเชียงใหม่	10
2.4 สำรวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดเชียงราย	14
2.5 สรุป	15
บทที่ 3. วิเคราะห์และทดสอบ	16
3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	16
3.1.1 ทฤษฎีแสง	16
3.1.2 กำลังงานที่สำรอง(Power Margin)	18
3.1.3 การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending Loss)	19
3.1.4 สารป้องกันการเคลื่อนตัวของไฟเบอร์ (Thixotropic Compound)	20
3.1.5 Fiber Access length in Loose Tube	20
3.2 วิเคราะห์ปัญหา	21
3.3 ทดสอบ	23
3.3.1 ทดสอบวัสดุ	23
3.3.2 ทดสอบโครงสร้าง	29
3.3.2.1 ทดสอบ Vibration Thixotropic Compound	29
3.3.2.2 ทดสอบ Vibration สาย Optical Drop Cable	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 ทดสอบการรับแรงดึง(Tensile) ของ Support Steel Wire	32
3.3.4 ทดสอบการรับแรงดึง(Tensile) ของเส้น Fiber	33
3.3.5 ทดสอบการรับเค้น(Stress) ของเส้น Fiber	35
3.3.6 ทดสอบการจับยึด (Friction)	36
3.3.7 ทดสอบ Loop และคลี่สายเพื่อดูการจับยึด (Friction)	40
3.3.7.1 คลี่สายจากกระวีงและวัดค่าการเคลื่อนตัวทันที	40
3.3.7.2 คลี่สายจากกระวีงทิ้งไว้ก่อนวัดค่าการเคลื่อนตัว	41
3.4 ตรวจสอบ Fiber Strain and Stress และ Chromatic Dispersion	42
3.5 สรุป	43
บทที่ 4. แนวทางแก้ปัญหาและออกแบบอุปกรณ์เสริม	45
4.1 เพิ่มค่า Friction ของสาย Optical Drop Cable	45
4.1.1 เพิ่มความหนืดของ Thixotropic Compound	45
4.1.2 วิธีติดตั้งสายที่สามารถเพิ่มค่า Friction	46
4.1.3 Lock เส้น Fiber ติดกับ Loose Tube	47
4.2 ออกแบบภาตรองรับเส้น Fiber	50
4.2.1 ภาตรองรับเส้น Fiber แบบไม่มีสันวงกลม	50
4.2.2 ภาตรองรับเส้น Fiber แบบมีสันวงกลม	53
4.3 ออกแบบสาย Optical Drop Cable ใหม่	61
4.4 สรุป	61
บทที่ 5. สรุปและข้อเสนอแนะ	63
5.1 สรุปผล	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	64

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ก. เก็บข้อมูล สาย Optical Drop Optical ทางโทรศัพท์

สรุปข้อมูล สัมภาษณ์ปัญหาสาย OFC for Access Service เคลื่อนตัว

ภาคผนวก ข. ตรวจสอบสภาพรองรับเส้น Fiber

ภาคผนวก ค. ทดสอบค่า Fiber Strain and Stress และ Chromatic Dispersion Tube

ภาคผนวก ง. คู่มือติดตั้งสาย Optical Drop wire (Optical Fiber Cable for Access service)

ประวัติคณะทำงานในแผน

เอกสารอ้างอิง

TOT Public Company Limited
(www.tottcal.com)

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพประกอบที่ 2.1	เส้น Fiber เคลื่อนตัว (A) จังหวัดสุราษฎร์ธานีและ (B) จังหวัดกาญจนบุรี	3
ภาพประกอบที่ 2.2	เปรียบเทียบสภาพเส้น Fiber ในหัวต่อโรงงานบรรจุ Gas ห่างกันเดือนเศษ	4
ภาพประกอบที่ 2.3	ถาดวางเส้น Fiber ที่ปรับปรุงใหม่โดย จังหวัดกาญจนบุรี	5
ภาพประกอบที่ 2.4	เปรียบเทียบสภาพเส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อ โรงงานสุราแต่ละช่วงเวลา	5
ภาพประกอบที่ 2.5	ลักษณะการ Loop และผังการติดตั้ง Optical Drop Cable หน้าโรงงานสุรา	6
ภาพประกอบที่ 2.6	แผนผังเปรียบเทียบ Loop จุดที่ 1 โรงบรรจุ Gas และจุดที่ 2 โรงงานสุรา	6
ภาพประกอบที่ 2.7	สภาพเส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อหน้าโรงแรมเฟลิกซ์	
ภาพประกอบที่ 2.8	ค่า Loss หัวต่อที่ 4 สูงถึง 4.108 dB	7
ภาพประกอบที่ 2.9	จุดแรกหัวต่อที่ Loop บนก่อนปลดลงมาและสภาพเส้น Fiber ที่เคลื่อนตัว	8 8
ภาพประกอบที่ 2.10	จุดแรกหัวต่อที่ Loop บนก่อนปลดลงมาและ สภาพเส้น Fiber ที่เคลื่อนตัว	9
ภาพประกอบที่ 2.11	จุดที่ 2 หัวต่อที่ Loop บนก่อนปลดลงมาและ สภาพเส้น Fiber ที่เคลื่อนตัว	9
ภาพประกอบที่ 2.12	เคเบิลจากชุมสายสารภีไปสนามกอล์ฟกัสซัน เส้น Fiber ในหัวต่อสภาพปกติ	10
ภาพประกอบที่ 2.13	หัวต่อที่ Loop บนก่อนปลดลงมา และสภาพ เส้น Fiber ที่เคลื่อนตัวออกในหัวต่อ	11
ภาพประกอบที่ 2.14	จุดที่ 3 Service Loop และ Fix Loop และสภาพเส้น Fiber ที่เคลื่อนตัว	12
ภาพประกอบที่ 2.15	Distribution Box ในหอดูดาวและ Fix Loop ภายนอกก่อนเข้าอาคาร	12

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 2.16	จุดที่ 6 หัวต่อที่ Loop บนก่อนปลดลงมา และสภาพเส้น Fiber ที่เคลื่อนตัว	13
ภาพประกอบที่ 2.17	ภาพก่อนและหลังแก้ไขหัวต่อที่เส้น Fiber ขาด	13
ภาพประกอบที่ 2.18	Loop หัวต่อและเส้น Fiber, Route เชียงราย – ดอยวารีบ้านห้วยน้ำมา	14
ภาพประกอบที่ 3.1	โครงข่ายโทรคมนาคมของ บมจ.ทีโอทีที่นำ Fiber Optic มาทดแทน Copper Bandwidth ของเส้น Fiber	16
ภาพประกอบที่ 3.2	กฎของสเนล (Snell's Law)	17
ภาพประกอบที่ 3.3	แสดงทางเดินของแสงในเส้น Fiber โค้งงอ	17
ภาพประกอบที่ 3.4	กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบ	19
ภาพประกอบที่ 3.5	Non-Newtonian Thixotropic Fiber Access lengths in Loose Tube	20
ภาพประกอบที่ 3.6	และสถานะต่างๆ ของเส้น Fiber Cross-Section (A) Optical Cable และ (B) Optical Drop Cable	21
ภาพประกอบที่ 3.7	Flowchart วิเคราะห์ปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัว	21
ภาพประกอบที่ 3.8	ในสาย Optical Drop Cable โครงสร้างสาย Optical Drop Cable	22
ภาพประกอบที่ 3.9	ตัวอย่างสาย Optical Drop Cable ทุกขนาดที่สุ่มทดสอบวัสดุ	22
ภาพประกอบที่ 3.10	เครื่องมือวิเคราะห์ Thermal Analysis	24
ภาพประกอบที่ 3.11	และ X-ray Fluorescence Analysis	24
ภาพประกอบที่ 3.12	เครื่องมือวิเคราะห์ FT-IR และผลการวิเคราะห์	24
ภาพประกอบที่ 3.13	Peak ที่ทดสอบจากเครื่อง FT-IR	24
ภาพประกอบที่ 3.14	รูป Peak ทดสอบจากเครื่อง Thermal Analysis	25
ภาพประกอบที่ 3.15	ตัวอย่างที่ทดสอบ Shrink back	27
ภาพประกอบที่ 3.16	ตัวอย่างหลังผ่านการทดสอบ Shrink back	27

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 3.17	โครงสร้าง Access length เส้น Fiber ใน Loose Tube	29
ภาพประกอบที่ 3.18	จำลอง Vibration Compound ด้วยหลอดทดสอบ ตามมาตรฐาน TIA/EIA	30
ภาพประกอบที่ 3.19	ทดสอบ Vibration สาย Optical Drop Cable ตามมาตรฐาน TIA/EIA	31
ภาพประกอบที่ 3.20	วัดค่าเส้น Fiber เคลื่อนตัวระหว่างการทดสอบ Vibration ตามเวลาที่กำหนด	31
ภาพประกอบที่ 3.21	ทดสอบ Vibration สาย Optical Drop Cable และสาย Optical Cable	32
ภาพประกอบที่ 3.22	ทดสอบแรงดึง (Tensile) ของ Steel Wire และ Bare Fiber	33
ภาพประกอบที่ 3.23	กราฟแสดงค่าการรับแรงดึง (Tensile) เฉลี่ยของ Bare Fiber	34
ภาพประกอบที่ 3.24	จำลองแรงเค้นที่เกิดกับเส้น Fiber ใน Loose Tube	35
ภาพประกอบที่ 3.25	หาค่าแรงเค้นสูงสุดของเส้น Fiber ด้วยเครื่องชั่งละเอียด	35
ภาพประกอบที่ 3.26	ทดสอบ ค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Tube	36
ภาพประกอบที่ 3.27	กราฟค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber - Compound และสายตัวอย่างแนวตรง	37
ภาพประกอบที่ 3.28	กราฟค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber – Compound และสายตัวอย่างวน Loop	38
ภาพประกอบที่ 3.29	สรุปภาพรวมกราฟค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Compound	39
ภาพประกอบที่ 3.30	กรีด Cable Sheath ดูลักษณะเส้น Fiber ภายใน Loose Tube	39
ภาพประกอบที่ 3.31	คลี่สาย Optical Drop Cable ออกจากกระวีง และวัดอัตราการเคลื่อนตัว	40
ภาพประกอบที่ 3.32	แสดงเส้น Fiber, Steel Wire และ Loose Tube เคลื่อนตัว	41
ภาพประกอบที่ 3.33	ทดสอบคลี่ Loop เพื่อดูค่า Friction ระหว่าง เส้น Fiber กับ Loose Tube	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 3.34	เส้น Fiber ที่เคลื่อนออกจาก Loose Tube เมื่อ Loop สาย	42
ภาพประกอบที่ 3.35	แสดงอัตราส่วนระหว่างจำนวน Loop กับระยะเส้น Fiber เคลื่อนตัว	42
ภาพประกอบที่ 4.1	การแขวนสาย Optical Drop Cable และจุด Loop ต่างๆ	46
ภาพประกอบที่ 4.2	วิธี Lock สายของ Copper Cable ด้วยสารเคมีของ Stub Terminal	47
ภาพประกอบที่ 4.3	สารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่นำมาทดสอบคุณสมบัติ	48
ภาพประกอบที่ 4.4	รูปแบบ Lock เส้น Fiber กับ Loose Tube ด้วยซิลิโคน	48
ภาพประกอบที่ 4.5	เตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบการเกาะยึดของซิลิโคน และสาร SISTA กับเส้น Fiber	49
ภาพประกอบที่ 4.6	ตัวอย่างทดสอบการเกาะยึดของซิลิโคนและสาร SISTA กับเส้น Fiber	49
ภาพประกอบที่ 4.7	ทดสอบการเกาะยึดของซิลิโคนและสาร SISTA กับ เส้น Fiber	49
ภาพประกอบที่ 4.8	รูปแบบถาดรองรับเส้น Fiber ที่ใช้งาน	50
ภาพประกอบที่ 4.9	จำลองเส้น Fiber เคลื่อนตัวในถาดรองรับเส้น Fiber ในทิศทางต่าง ๆ	51
ภาพประกอบที่ 4.10	จำลองเส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อต้นแบบ ที่ถาดรองรับเส้น Fiber ทรงกลม	51
ภาพประกอบที่ 4.11	ถาดรองรับเส้น Fiber ที่ปรับปรุงใหม่โดยจังหวัดกาญจนบุรี	52
ภาพประกอบที่ 4.12	ถาดรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ ทรงกลม ที่ดัดแปลงจากถาดที่ใช้งานเดิม	52
ภาพประกอบที่ 4.13	ถาดรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ ทรงกลมขอบต่อเนื้อง และขอบแบบสลักกลม	52
ภาพประกอบที่ 4.14	จำลองเส้น Fiber เคลื่อนตัวในถาดทรงกลมต่อเนื้อง และขอบสลักกลม	53
ภาพประกอบที่ 4.15	เส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้าใน Loose Tube ในถาด ที่มีไม่มีสันวงกลมแกนกลาง	53
ภาพประกอบที่ 4.16	แนวคิดถาดรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ ที่มีสันวงกลมและวงรีที่กำหนด	54
ภาพประกอบที่ 4.17	ถาดรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ ที่มีสันวงกลมและวงรีที่กำหนด	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 4.18	จำลองเส้น Fiber รั้งเคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube ในถาดที่มีวงควบคุม Loop	57
ภาพประกอบที่ 4.19	ถาดรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ 2 รูปแบบ	57
ภาพประกอบที่ 4.20	Bare Fiber ที่ทดสอบค่า Bending Loss ของถาดต้นแบบ	58
ภาพประกอบที่ 4.21	ทดสอบ Bending Loss ถาดต้นแบบ	58
ภาพประกอบที่ 4.22	มุมสันวงกลมแบบไม่ต่อเนื่องทำให้เกิด Bending Loss	59
ภาพประกอบที่ 4.23	คณะทำงานฯ ขอคำแนะนำรูปแบบถาดจาก ผู้ปฏิบัติงานจังหวัดกาญจนบุรี	59
ภาพประกอบที่ 4.24	ถาดรองรับเส้น Fiber ใหม่ที่จะนำมาทดแทนถาดเดิม	60
ภาพประกอบที่ 4.25	Cross-Section of Compact Optical Fiber Cable 12 Cores	61

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	รายละเอียดโครงสร้าง / วัสดุของสาย Optical Drop Cable	23
ตารางที่ 3.2	ผลการทดสอบหาชนิดของวัสดุพลาสติกด้วยเครื่อง FTIR และเครื่อง Thermal Analysis หาชนิดของ Support Strand ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Analysis	25
ตารางที่ 3.3	ผลการทดสอบหาค่าความหนาของ Support Strand Steel Wire และ Cable Sheath	26
ตารางที่ 3.4	ค่าการหดตัว (Shrink back) ของพลาสติก Loose Tube อุณหภูมิ $115 \pm 1^{\circ}C$ และอุณหภูมิ $55^{\circ}C$ ความชื้น 85% ซึ่งเป็นอุณหภูมิและความชื้นที่นำไปงานจริง	27
ตารางที่ 3.5	ค่าการหดตัว (Shrink back) ของพลาสติก Cable Sheath อุณหภูมิ $115 \pm 1^{\circ}C$ และอุณหภูมิ $55^{\circ}C$ ความชื้น 85% ซึ่งเป็นอุณหภูมิและความชื้นที่นำไปงานจริง	28
ตารางที่ 3.6	ค่าเส้น Fiber เคลื่อนตัวหลังทดสอบ Vibration	31
ตารางที่ 3.7	ค่าแรงดึง (Tensile) ของ Steel Wire	33
ตารางที่ 3.8	ค่าการรับแรงดึง (Tensile) ของ Bare Fiber แต่ละเส้นที่ความเร็วต่างๆ	34
ตารางที่ 3.9	ค่าการรับแรงเค้น (Pressure) ของเส้น Fiber 12 Core และ 1 Core	36
ตารางที่ 4.1	ค่าการจับยึด (Friction) ระหว่างเส้น Fiber กับสารซิลิโคนและ SISTA	50
ตารางที่ 4.2	Bending Loss ภาดต้นแบบที่มีสันวงกลมแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง	58

บทที่ 1. บทนำ

บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) หรือ บมจ.ทีโอที จัดซื้อสาย OFC for Access Service หรือ Optical Drop Cable [7] ตามสัญญาเลขที่ 112/3200000299/2546 คู่สัญญา บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) และตามสัญญาเลขที่ 001/3200000449/2546 คู่สัญญา บริษัท อิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) ความยาวสายของสองสัญญารวมประมาณ 2,200,000 เมตร งบประมาณกว่า 85 ล้านบาท หลังติดตั้งใช้งานสาย Optical Drop Cable ผ่านไปประมาณปีเศษ เริ่มมีผู้ทยอยแจ้งปัญหาการใช้งานเข้ามายังส่วนนโยบายการพัสดุ (นพพ.) จากหลายพื้นที่ที่ระบุสาย Optical Drop Cable มีปัญหา เส้น Fiber เคลื่อนตัวภายในหัวต่อ เกิด Bending Loss ของเส้น Fiber บางกรณีเส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube จนเส้น Fiber ขาด ส่วนบริหารสัญญาซึ่งกำกับดูแลการติดตั้งจัดหาได้แจ้งบริษัทคู่สัญญาทั้งสองรายร่วมวิเคราะห์และหาแนวทางแก้ไขปัญหาล่วงต้น

เพื่อวิเคราะห์และหาสาเหตุสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัวในหัวต่อ บมจ.ทีโอที มีคำสั่งที่ พพ. 71/2548 แต่งตั้งคณะกรรมการหาสาเหตุสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว ลงวันที่ 3 มิถุนายน 2548 โดยมี ผู้จัดการส่วนวิจัยและพัฒนางานต่อนอกและระบบป้องกัน (ผส.ตวท.)¹ เป็นหัวหน้าคณะกรรมการมีหน้าที่วิเคราะห์หาสาเหตุสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัวหลังติดตั้งใช้งาน

เพื่อสนับสนุนคณะกรรมการที่ บมจ.ทีโอที แต่งตั้ง ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนา (ผจท.วท.)² จึงมีคำสั่ง วท. ที่ 20/2548 แต่งตั้งคณะกรรมการเพื่อหาสาเหตุสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว ลงวันที่ 15 มิถุนายน 2548 โดยมีผู้จัดการศูนย์ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อุปกรณ์และระบบ (ผจ.วตวท.)³ เป็นหัวหน้าคณะกรรมการ มีหน้าที่ ศึกษา วิจัย และทดสอบ เพื่อหาสาเหตุ สาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว พร้อมสรุปปัญหาเสนอแนะแนวทางแก้ไขต่อไป

¹ ผส.ตวท. นายพินิจ หนีสมุทธ

² ผจท.วท. นายสวัสดิ์ ประนม

³ ผจ.วตวท. นายอนุสิทธิ์สมเจริญ สำเนาพล

1.1 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษา วิจัย และทดสอบ ทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม เพื่อหาสาเหตุสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว
- 2) หาแนวทางแก้ไขปัญหาสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว
- 3) สรุปผลการศึกษา วิจัย ทดสอบ และวิธีแก้ไข

1.2 เป้าหมาย

- 1) หาสาเหตุสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว
- 2) หาแนวทางแก้ไขปัญหาสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว
- 3) สรุปผลการดำเนินงาน

1.3 กรอบในการดำเนินงาน

- 1) สำรวจและเก็บข้อมูลปัญหาสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว
- 2) ทดสอบในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม
- 3) หาแนวทางแก้ไขปัญหาสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว
 - สาย Optical Drop Cable ที่ติดตั้งใช้งานไปแล้ว
 - สาย Optical Drop Cable ที่ติดตั้งใหม่
- 4) สรุปผลการดำเนินงาน

บทที่ 2.

สำรวจและเก็บข้อมูลปัญหาสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว

เบื้องต้นส่วนนโยบายการพัสดุ (นพพ.) ร่วมกับ บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) สำรวจและเก็บข้อมูลการติดตั้งใช้งานสาย OFC for Access Service หรือ Optical Drop Cable ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งแจ้งปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้าออกจาก Loose Tube เข้ามา ผลการสำรวจพบปัญหาตามที่แจ้ง รายละเอียดตามภาพประกอบที่ 2.1



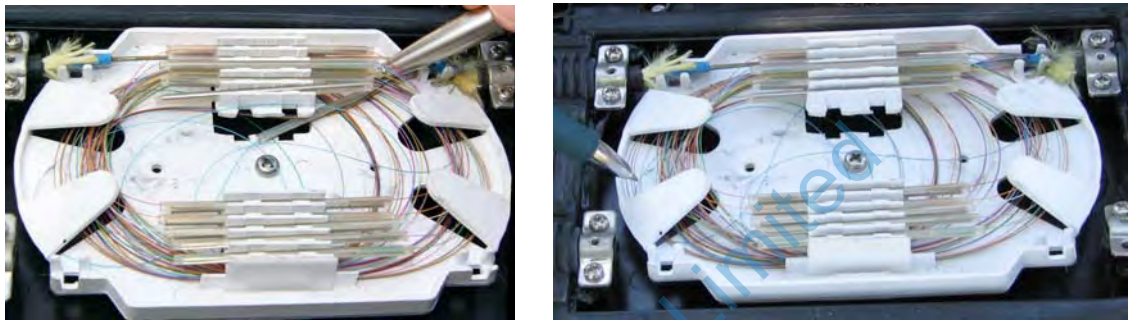
ภาพประกอบที่ 2.1 เส้น Fiber เคลื่อนตัว (A) จังหวัดสุราษฎร์ธานีและ (B) จังหวัดกาญจนบุรี

ข้อมูลเบื้องต้นที่ นพพ. ร่วมกับบริษัท สำรวจนั้น เป็นข้อมูลเฉพาะจากจังหวัดที่มีปัญหาการใช้งานสาย Optical Drop Cable แล้ว ดังนั้นข้อมูลที่ได้ไม่สามารถเป็นตัวแทนทั้งหมดของผู้ที่นำสาย Optical Drop Cable ไปใช้งาน เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลคณะทำงานฯ จึงประสานงานกับ นพพ. ว่ามีหน่วยงานใดเบิกสาย Optical Drop Cable ไปใช้งานบ้าง จากนั้นจัดเรียงกลุ่มผู้ที่เบิกสาย Optical Drop Cable ไปใช้งานจากมากไปหาน้อย เพื่อทำการสุ่มตัวอย่างผู้เบิกสายในลำดับต้นๆ กระจายไปทั่วประเทศ [ภาคผนวก ก.] เพื่อสอบถามปัญหาการใช้งานสาย Optical Drop Cable ทางโทรศัพท์ ผลสรุปจากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างทางโทรศัพท์ พบว่ามีปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้าออกจาก Loose Tube เพียง 1 จังหวัดเท่านั้น คิดเป็นร้อยละ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง

ซึ่งจังหวัดที่แจ้งว่าไม่มีปัญหาในการติดตั้งใช้งานสาย Optical Drop Cable นั้น เมื่อสอบถามเพิ่มเติม พบว่า Route ที่ต่อเชื่อมด้วยสาย Optical Drop Cable ยังสามารถใช้งานได้ตามปกติ แต่ไม่เคยไปเปิดหัวต่อตรวจสอบดูว่ามีปัญหาหรือไม่ ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่ามีเส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อหรือไม่

2.1 สํารวจ และเก็บข้อมูลในจังหวัดกาญจนบุรี

คณะทำงาน บมจ.ทีโอที ร่วมกับบริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) สํารวจปัญหาการใช้งานสาย Optical Drop Cable จังหวัดกาญจนบุรี ครั้งแรก วันที่ 14 -15 กรกฎาคม 2548 และครั้งที่สอง วันที่ 23-24 สิงหาคม 2548 ระยะเวลาห่างกันประมาณเดือนเศษ



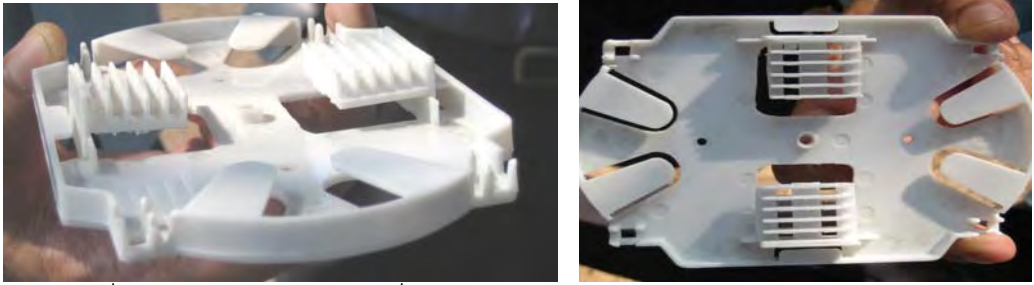
(A)

(B)

ภาพประกอบที่ 2.2 เปรียบเทียบสภาพเส้น Fiber ในหัวต่อโรงงานบรรจุ Gas ห่างกันเดือนเศษ

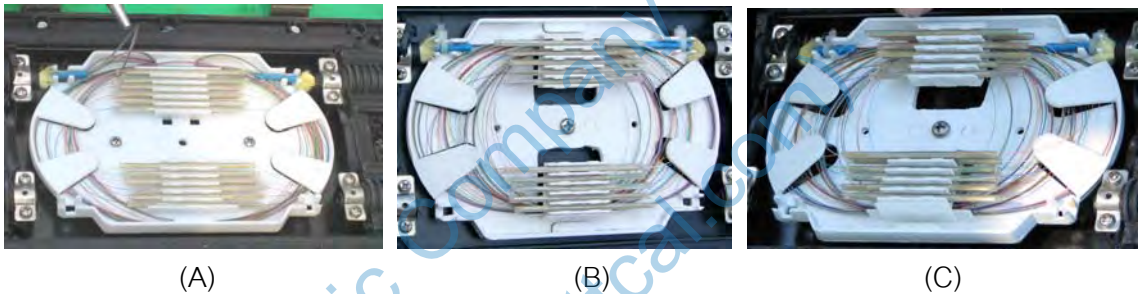
จุดแรก หน้าโรงงานบรรจุ Gas ห่างจากทางแยก บ่อพลอย-กาญจนบุรี ประมาณ 500 เมตร สาย Optical Drop Cable ทั้ง 2 ด้าน เป็นของ บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) สัญญาเลขที่ 112/3200000299/2546 จำนวนเส้น Fiber 12 Core [ภาคผนวก ก.] ความยาว Route 10,000 เมตร สายทั้งสองด้านยาวประมาณด้านละ 4,000 เมตร และก่อนที่หัวต่อสาย Loop ทั้งสองด้าน ซึ่งในรายงานฉบับนี้จะเรียกว่า Service Loop เส้นผ่านศูนย์กลาง 26 เซนติเมตร ความยาวสายใน Loop 11.5 เมตรใกล้เคียงกันทั้งสองด้าน เมื่อเปิดหัวต่อพบเส้น Fiber 1 Core เคลื่อนตัวจนกระทั่ง Protective Sleeve หลุดจากร่องตามภาพประกอบที่ 2.2 (A) ขณะที่เส้น Fiber Core อื่นๆ อยู่ในสภาพปกติ ณ จุดนี้ไม่แก้ไขปล่อยให้เส้น Fiber อยู่ในสภาพเดิมเพื่อเก็บข้อมูลการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ในครั้งต่อไป

จากการสัมภาษณ์เพิ่มเติมพบว่าหัวต่อจุดนี้มีปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube จนกระทั่งเส้น Fiber ขาด แก้ไขโดยตัดต่อเส้น Fiber ใหม่พร้อมเปลี่ยนถาดรองรับเส้น Fiber ที่ปรับปรุงใหม่ทดแทนถาดเดิม (กุมภาพันธ์ 2548) หลังปรับปรุงหัวต่อประมาณ 5 เดือน นพพ. และ บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) ร่วมเก็บข้อมูลสภาพเส้น Fiber ภายในหัวต่อตามภาพประกอบที่ 2.2 (A) และถัดมาประมาณเดือนเศษคณะทำงานฯ มาเปิดหัวต่ออีกครั้งตามภาพประกอบที่ 2.2 (B) จากการเปรียบเทียบด้วยภาพถ่ายและสัมภาษณ์ พบว่าตำแหน่งเส้น Fiber ในหัวต่อไม่มีการเปลี่ยนแปลง



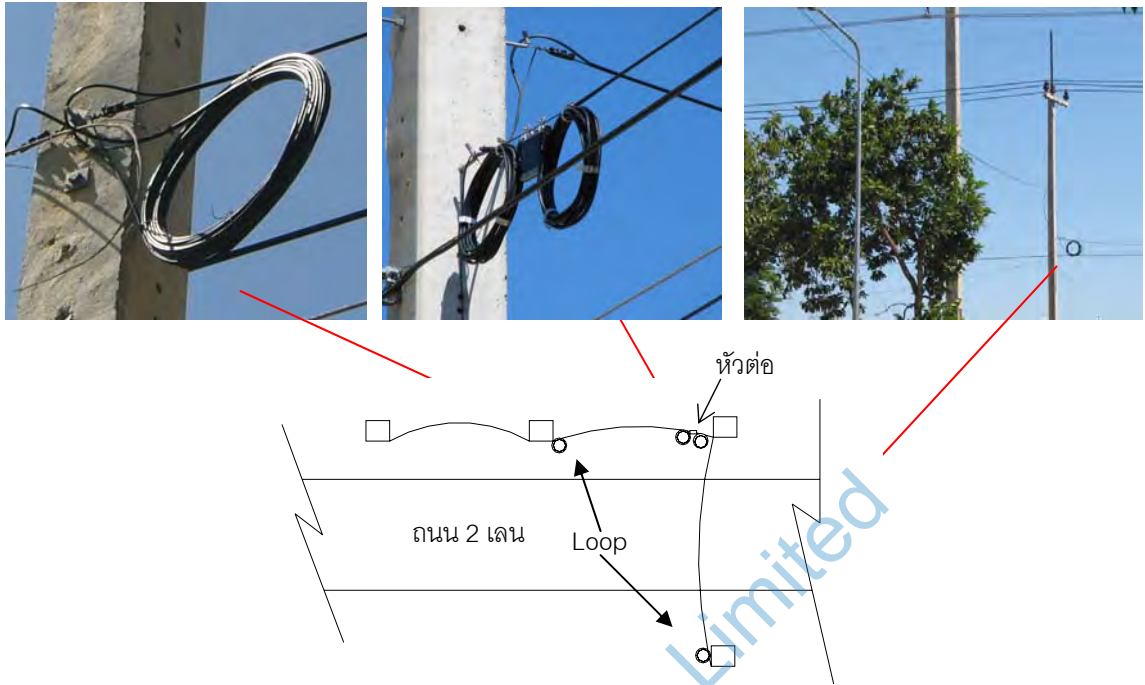
ภาพประกอบที่ 2.3 ถาดวางเส้น Fiber ที่ปรับปรุงใหม่โดย จังหวัดกาญจนบุรี

หน่วยงานบำรุงรักษาโครงข่าย Optical Fiber จังหวัดกาญจนบุรีได้ดัดแปลงถาดรองรับเส้น Fiber ที่ใช้งานอยู่เดิม โดยตัดส่วนที่วางหลอด Protective Sleeve ออกเพื่อให้เส้น Fiber ในถาดสามารถเคลื่อนตัวอย่างอิสระ แล้วนำส่วนที่วางหลอด Protective Sleeve ดังกล่าวมายึดด้านข้างด้วยกาวตามภาพประกอบที่ 2.3 ทดลองใช้งานทดแทนถาดรองรับเส้น Fiber แบบเดิม



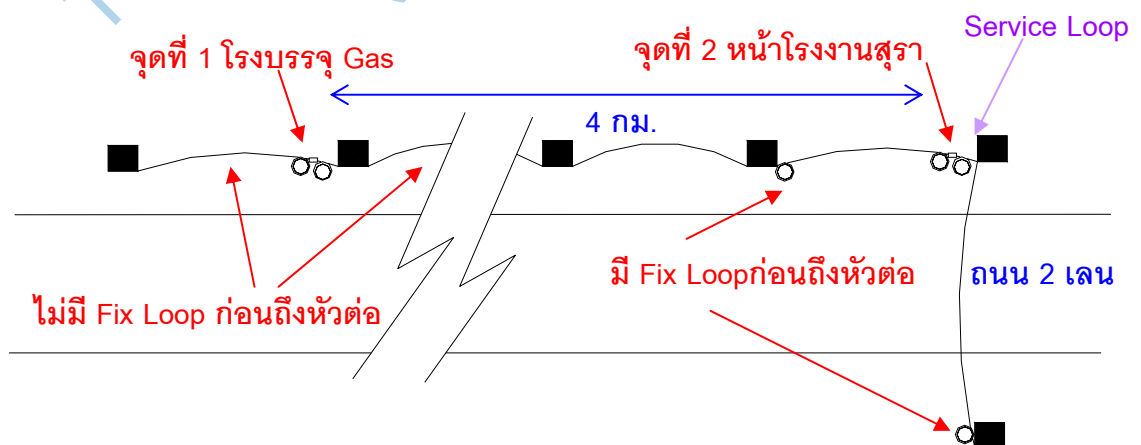
ภาพประกอบที่ 2.4 เปรียบเทียบสภาพเส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อโรงงานสุราแต่ละช่วงเวลา

จุดที่ 2. หน้าโรงงานสุรา สาย Optical Drop Cable ทั้ง 2 ด้าน เป็นของบริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) สัญญาเลขที่ 112/3200000299/2546 เหมือนจุดแรก จำนวนเส้น Fiber 12 Core [ภาคผนวก ก.] ซึ่งเป็น Route เดียวกับจุดแรก สาย Optical Drop Cable ด้านโรง Gas (จุดแรก) ยาวประมาณ 4,000 เมตร และด้านเข้าโรงงานสุรายาวประมาณ 2,000 เมตร มี Service Loop ก่อนเข้าหัวต่อทั้งสองด้าน เส้นผ่านศูนย์กลาง Loop 26 เซนติเมตร ความยาวสายใน Loop 11.5 เมตร ใกล้เคียงกันทั้งสองด้าน เปิดหัวต่อปรับปรุงครั้งแรกพบเส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube เล็กน้อย ได้เปลี่ยนถาดรองรับเส้น Fiber ที่ปรับปรุงใหม่แทนถาดเดิม (กุมภาพันธ์ 2548) หลังปรับปรุงหัวต่อประมาณ 5 เดือน นพพ. และ บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) ร่วมเก็บข้อมูลตามภาพประกอบที่ 2.4 (B) และถัดมาประมาณเดือนเศษ คณะทำงานฯ มาเปิดหัวต่ออีกครั้งตามภาพประกอบที่ 2.4 (C) จากการเปรียบเทียบด้วยภาพถ่ายและสัณฐานณ์ พบว่าตำแหน่งเส้น Fiber ในหัวต่อไม่มีการเปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบที่ 2.5 ลักษณะการ Loop และผังการติดตั้ง Optical Drop Cable หน้าโรงงานสุรา

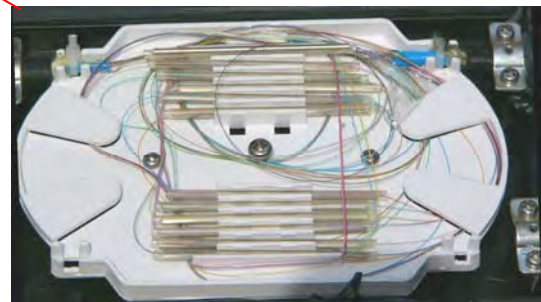
จากการสัมภาษณ์หัวต่อจุดที่ 2. หน้าโรงงานสุรา ก่อนปรับปรุงเส้น Fiber เคลื่อนตัวน้อยกว่าจุดแรกตามภาพประกอบที่ 2.4 (A) ในการติดตั้งเคเบิลเส้นนี้ บมจ.ทีโอที จำกัด (มหาชน) จะมาตัดต่อ (Fusion) เส้น Fiber หลังแขวนสายเสร็จทันทีเหมือนจุดแรก เพียงแต่ว่าจุดแรก (โรงบรรจุ Gas) เส้น Fiber เคลื่อนตัวรุนแรงกว่า เมื่อสังเกตลักษณะการแขวนสายพบว่าก่อนถึงหัวต่อ ช่วงเสาทั้งสองด้านจะมี Loop เพิ่มด้านละ Loop ซึ่งในรายงานฉบับนี้จะเรียกว่า Fix Loop ตามภาพประกอบที่ 2.5 และ 2.6



ภาพประกอบที่ 2.6 แนวนผังเปรียบเทียบ Loop จุดที่ 1 โรงบรรจุ Gas และจุดที่ 2 โรงงานสุรา

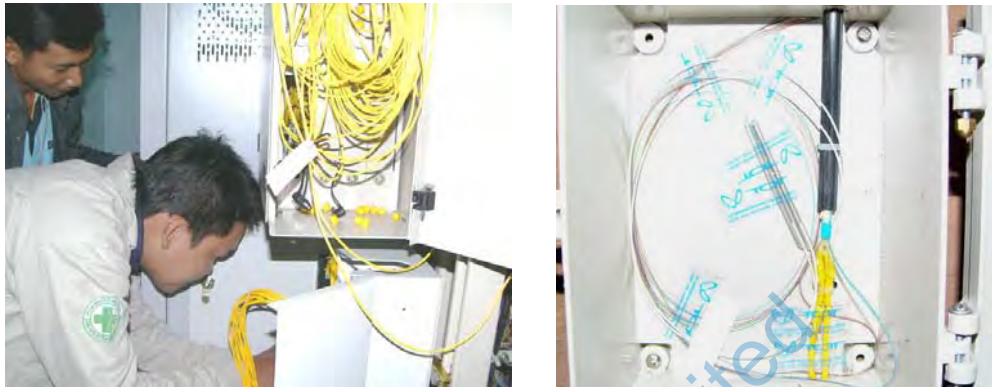
โดยสรุปจากการสัมภาษณ์และข้อสังเกตของคณะทำงานฯ พบว่า จุดที่ 1. หน้าโรงงาน บรจ Gas ปรับปรุงครั้งแรกพบเส้น Fiber เคลื่อนตัวจาก Loose Tube จนขาด ขณะที่จุดที่ 2. หน้า โรงงานสุรา ปรับปรุงครั้งแรกพบเส้น Fiber เคลื่อนตัวน้อยมาก (ภาพประกอบที่ 2.4 (A)) และหลังจาก ปรับปรุงเปลี่ยนถาดรองรับเส้น Fiber ใหม่ ไม่พบการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ในหัวต่อทั้ง 2 จุด ซึ่ง การติดตั้งสาย Optical Drop Cable ทั้ง 2 จุด มีข้อแตกต่างกันเฉพาะจุดที่ 2. มีการ Fix Loop สายทั้งสองด้านเท่านั้นตามภาพประกอบที่ 2.6 ดังนั้นจึงสรุปเบื้องต้นว่า การ Fix Loop สายก่อนถึงหัวต่อ ช่วยเพิ่มแรง Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Loose Tube ลดปัญหาการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ลง ได้ และเสริมกับการติดตั้งต้องปล่อยสายทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้เส้น Fiber ปรับสภาพคลายแรงเค้นในสาย เมื่อตัดต่อ (Fusion) การเคลื่อนตัวของเส้น Fiber จากแรงเค้นที่แฝงในสายจะลดตาม

จุดที่ 3. หน้าโรงแรมเฟลิกซ์ Route ยาวประมาณ 8,400 เมตร มีหัวต่อก่อนเข้าไปโรงแรม สาย Optical Drop Cable จากหัวต่อด้านชุมสาย เป็นของบริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) สัญญาเลขที่ 001/3200000449/2546 จำนวนเส้น Fiber 12 Core ยาวประมาณ 4,000 เมตร และ จากหัวต่อเข้าโรงแรมยาวประมาณ 400 เมตร เป็นของบริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด(SFO) สัญญาเลขที่ 112/3200000299/2546 จำนวนเส้น Fiber 12 Core สายด้านโรงแรม Service Loop ก่อนเข้าหัวต่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร ความยาวสายใน Loop 9.4 เมตร เมื่อเปิดหัวต่อพบว่าเส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube จนเส้น Fiber ขาดจำนวน 4 Cores (Core ม่วง-น้ำเงิน-เทา-เหลือง) ตามภาพประกอบที่ 2.7 ขณะเก็บข้อมูล Route นี้ไม่ได้ใช้งาน (Route นี้วางเพื่อรองรับการประชุม คณะรัฐมนตรี ณ โรงแรมเฟลิกซ์ ที่ผ่านมา)



ภาพประกอบที่ 2.7 สภาพเส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อหน้าโรงแรมเฟลิกซ์

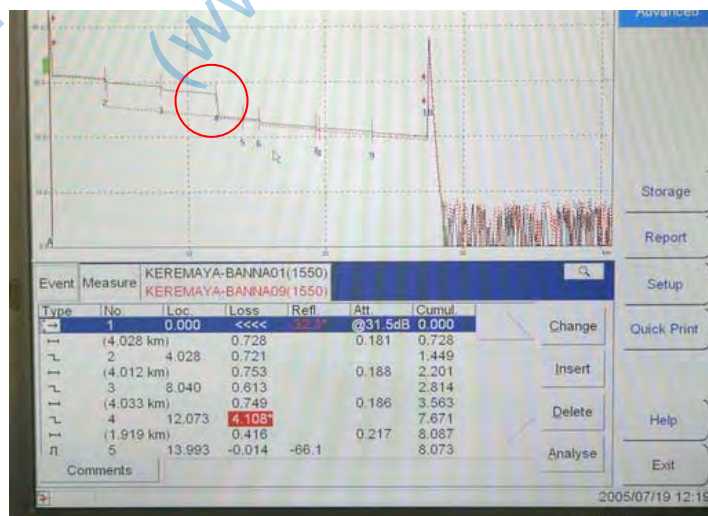
จุดที่ 4. หมู่บ้านศิริชัย Route นี้ต่อเชื่อมระหว่างหมู่บ้านไปยังชุมสายท่าม่วง ตรวจสอบ Distribution Box ในชุมสายท่าม่วงพบเส้น Fiber เคลื่อนตัวจาก Loose Tube (ภาพประกอบที่ 2.8)



ภาพประกอบที่ 2.8 สภาพเส้น Fiber เคลื่อนตัวใน Distribution Box ชุมสายท่าม่วง

2.2 สำรวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดนครราชสีมา

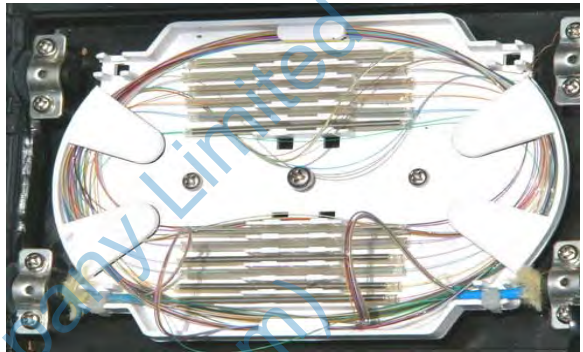
คณะทำงาน บมจ.ทีโอที ร่วมกับ บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) เก็บข้อมูลในจังหวัด นครราชสีมา วันที่ 19 กรกฎาคม 2548 ที่บ้านท่ามะปรางค์ทางขึ้นเขาใหญ่ จากชุมสายบ้านนา ถึง ชุมสายศิริมาथा สาย Optical Drop Cable จำนวน 12 Core มีหัวต่อทั้งหมด 8 หัวต่อ [ภาคผนวก ก.] Route ยาวประมาณ 28,000 เมตร ผลการตรวจวัดค่า Loss¹ จากชุมสายศิริมาथा พบว่า Route นี้มี ค่า Loss สูงมาก โดยเฉพาะหัวต่อที่ 4 มีค่า Loss ถึง 4.108 dB (มาตรฐาน ≤ 0.03 dB) ตาม ภาพประกอบที่ 2.9



ภาพประกอบที่ 2.9 ค่า Loss หัวต่อที่ 4 สูงถึง 4.108 dB

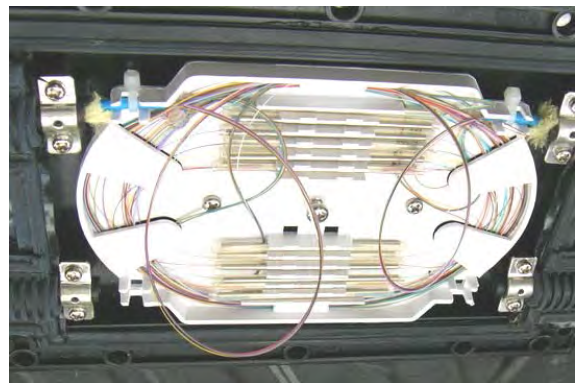
¹ วัดด้วยเครื่อง Mini OTDR EXFO Model FTB-100B

จุดแรก หลังวัดค่า Loss ในชุมสายคีรีมาศ ขณะทำงานฯ เก็บข้อมูลหัวต่อที่ 2 จากชุมสายคีรีมาศ สาย Optical Drop Cable เป็นสายของบริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) สัญญาเลขที่ 112/320000299/2546 จำนวนเส้น Fiber 12 Core ยาวประมาณ 4,000 เมตรเท่ากันทั้งสองด้าน ก่อนถึงหัวต่อมี Service Loop ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54 เซนติเมตร สายใน Loop ยาว 15 เมตรใกล้เคียงกันทั้งสองด้าน เมื่อเปิดเพื่อดูสภาพเส้น Fiber ในหัวต่อ พบเส้น Fiber เคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube ทั้งสองด้านตามภาพประกอบที่ 2.10 แก้ไขโดยนำถาดรองรับเส้น Fiber ออกและจัดเส้น Fiber ไม่ให้โค้งงอ



ภาพประกอบที่ 2.10 จุดแรกหัวต่อที่ Loop บนก่อนปลดลงมาและสภาพเส้น Fiber ที่เคลื่อนตัว

จุดที่ 2. ขณะทำงานฯ เก็บข้อมูลหัวต่อที่ 4 จากชุมสายคีรีมาศ ซึ่งมีค่า Loss สูงสุดใน Route นี้ สาย Optical Drop Cable ทั้ง 2 ด้านเป็นสายสัญญาเดียวกันเหมือนจุดแรก ซึ่งสายทั้งสองด้านยาวประมาณ 4,000 เมตรเท่ากัน ก่อนถึงหัวต่อมี Service Loop ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54 เซนติเมตร สายด้านชุมสายคีรีมาศสายใน Loop ยาว 70 เมตร และด้านชุมสายบ้านนาสายใน Loop ยาว 25 เมตร เมื่อเปิดหัวต่อพบเส้น Fiber ด้านชุมสายคีรีมาศ เคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube 17.2 เซนติเมตร และเส้น Fiber ด้านชุมสายบ้านนาเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube 10.9 เซนติเมตร ตามภาพประกอบที่ 2.11 แก้ไขโดยนำถาดรองรับเส้น Fiber ออกและจัดเส้น Fiber ไม่ให้โค้งงอ



ภาพประกอบที่ 2.11 จุดที่ 2 หัวต่อที่ Loop บนก่อนปลดลงมา และสภาพเส้น Fiber ที่เคลื่อนตัว

กลับมาวัดค่า Loss ที่ชุมสายศรีริมาอีกครั้ง วัดค่า Loss พบว่า หัวต่อที่แก้ไขและจัดเส้น Fiber ไม่ให้โค้งงอค่า Loss หายไป แต่หัวต่ออื่น ๆ ที่ยังไม่ได้แก้ไข ค่า Loss ยังปรากฏเหมือนเดิม ข้อสังเกตระยะที่เส้น Fiber เคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube สัมพันธ์กับความยาวสายใน Service Loop กล่าวคือสายใน Service Loop มาก เส้น Fiber ในหัวต่อก็จะเคลื่อนตัวมากตาม

2.3 ตรวจสอบและเก็บข้อมูลในจังหวัดเชียงใหม่

ข้อมูลสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์ [ภาคผนวก ก.] จากหน่วยงานที่รับผิดชอบในจังหวัดเชียงใหม่ไม่พบปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัว ทั้งที่เบิกสาย Optical Drop Cable จากสัญญาเดียวกันกับจังหวัดที่มีปัญหา ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจมาก คณะทำงาน บมจ. ทีโอที ร่วมกับบริษัท ฮิตาชิ บางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) และบริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) ได้ประสานงานเพื่อเก็บข้อมูลที่จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 16 – 19 สิงหาคม 2548 [ภาคผนวก ก.] เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับจังหวัดที่มีปัญหา



ภาพประกอบที่ 2.12 เคเบิลจากชุมสายสารภีไปสนามกอล์ฟกัสชันเส้น Fiber ในหัวต่อสภาพปกติ

จุดแรก เส้นทางจากชุมสายสารภีไปสนามกอล์ฟกัสชัน Route นี้มีความยาวรวม 8,300 เมตร มีหัวต่อใน Route รวมทั้งหมด 2 หัวต่อ ก่อนตัดต่อ(Fusion) เคเบิลเส้นนี้แขวนสายทิ้งไว้ประมาณ 3 ถึง 4 เดือน โดยปลายสายทั้งสองด้านไม่ได้เปิด Cap ออก Route นี้มี Fix Loop ทั้งหมด 6 Loop (4,000 เมตร/6 Loop เหลือ 600 เมตร/Fix Loop) สายทั้งสองด้านเป็นของบริษัท ฮิตาชิ บางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) สัญญาเลขที่ 001/3200000449/2546 จำนวนเส้น Fiber 12 Core สายทั้งสองด้านยาวประมาณ 4,000 เมตร มี Service Loop ก่อนเข้าหัวต่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ความยาวสายใน Loop 51 เมตร เท่ากันทั้งสองด้าน ผู้ดูแลโครงข่าย Fiber Optic ตัดต่อ (Fusion) เส้น Fiber ก่อนเก็บข้อมูลเพียง 1 สัปดาห์ เมื่อเปิดหัวต่อเส้น Fiber ไม่มีการเคลื่อนตัวตามภาพประกอบที่ 2.12

ข้อมูลจุดนี้อาจไม่ชัดเจนเนื่องจากระยะเวลาตัดต่อ (Fusion) เส้น Fiber ก่อนเก็บข้อมูลเพียงสัปดาห์เดียว ดังนั้น ณ จุดนี้ คณะทำงานฯ จะมาเก็บข้อมูลการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ในหัวต่ออีกครั้งตัวเมื่อเวลาผ่านไป 6 และ 12 เดือนตามลำดับ เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูล

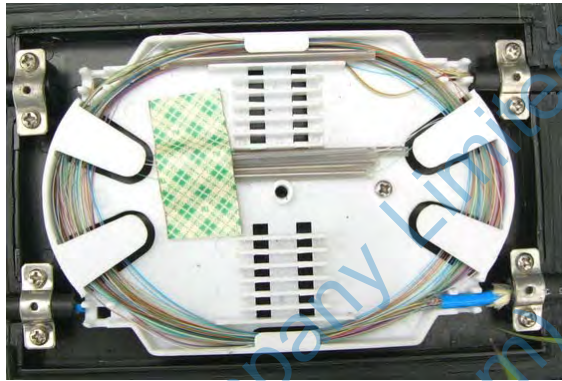
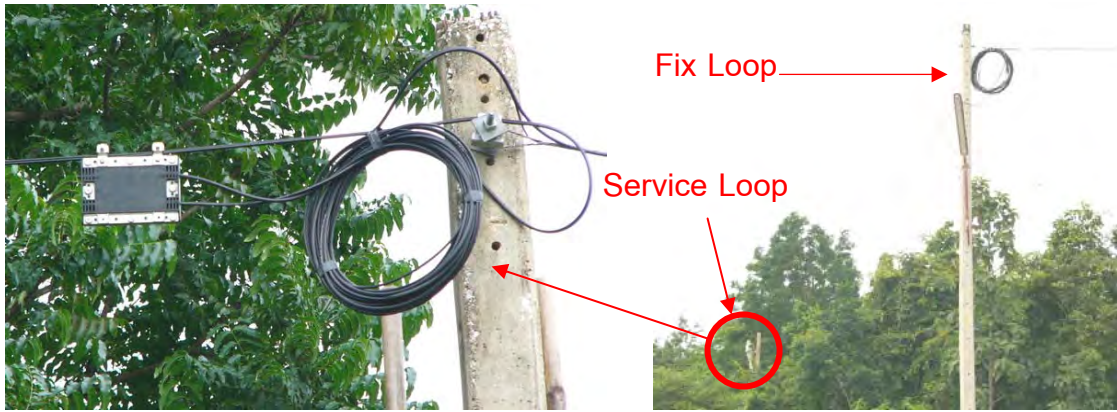
จุดที่ 2. เส้นทางไปกรมการปกครองและเทคโนโลยีโดยสะเก็ด เคเบิล Route นี้จากชุมสายโดยสะเก็ดมา Jump สาย Optical Drop Cable กับ Optical Cable บริเวณกรมการปกครอง สาย Optical Drop Cable ของ Route นี้มีความยาวรวม 7,645 เมตร (ตามแบบแปลน) สายด้านกรมการปกครองเป็นของบริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) จำนวนเส้น Fiber 6 Core และด้านเทคโนโลยีโดยสะเก็ด เป็นของ บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC) จำนวนเส้น Fiber 6 Core ซึ่งสายทั้งสองด้านยาวด้านละประมาณ 4,000 เมตร ซึ่งไม่อยู่ในสัญญาของการเก็บข้อมูลครั้งนี้ สายวางเทียบขนานกับคลองชลประทาน เนื่องจากสายวางเป็นแนวตรงจึงมี Fix Loop น้อยมาก Service Loop ก่อนเข้าหัวต่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ความยาวสายใน Loop 34 เมตร เท่ากันทั้งสองด้าน เมื่อเปิดหัวต่อพบเส้น Fiber เคลื่อนตัวออกมาประมาณ 5 เซนติเมตร และ 1.5 เซนติเมตร ตามลำดับตามภาพประกอบที่ 2.13



ภาพประกอบที่ 2.13 หัวต่อที่ Loop บนก่อนปลดลงมา และสภาพเส้น Fiber ที่เคลื่อนตัวออกในหัวต่อ

จุดที่ 3. หัวต่อถัดมาของ Route เดียวกับจุดที่ 2. สายด้านกรมการปกครองเป็นของบริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC) ซึ่งไม่อยู่ในสัญญาของการเก็บข้อมูลครั้งนี้ จำนวนเส้น Fiber 6 Core และด้านเทคโนโลยีโดยสะเก็ด เป็นของบริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) สัญญาเลขที่ 001/320000449/2546 จำนวนเส้น Fiber 12 Core Service Loop ก่อนเข้าหัวต่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ความยาวสายใน Loop 21.3 เมตร เท่ากันทั้งสองด้าน ทั้งนี้ก่อนเข้าเทคโนโลยีโดยสะเก็ด เป็นมุมโค้ง จึงมีการ Fix Loop สายรองรับมุมโค้งตามภาพประกอบที่ 2.14 เมื่อเปิดหัวต่อพบเส้น Fiber เคลื่อนตัว ออกมาเล็กน้อยเพียงด้านเดียวประมาณ 0.5 เซนติเมตร ส่วนปลายด้านที่มี Fix Loop มุมโค้ง เส้น Fiber ไม่มีการเคลื่อนตัว

โดยสรุปการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ในหัวต่อพบในระยะทางสายสั้นและยาวใกล้เคียงกัน ในกรณีที่มีการแขวนสายคล้ายกัน และสายแต่ละช่วงเมื่อถึงจุดต่อเชื่อม (Fusion) ที่หัวต่อ การเคลื่อนตัวของเส้น Fiber แต่ละช่วงจะอิสระจากกัน (independence) ไม่มีผลส่งต่อกับช่วงสายถัดไป



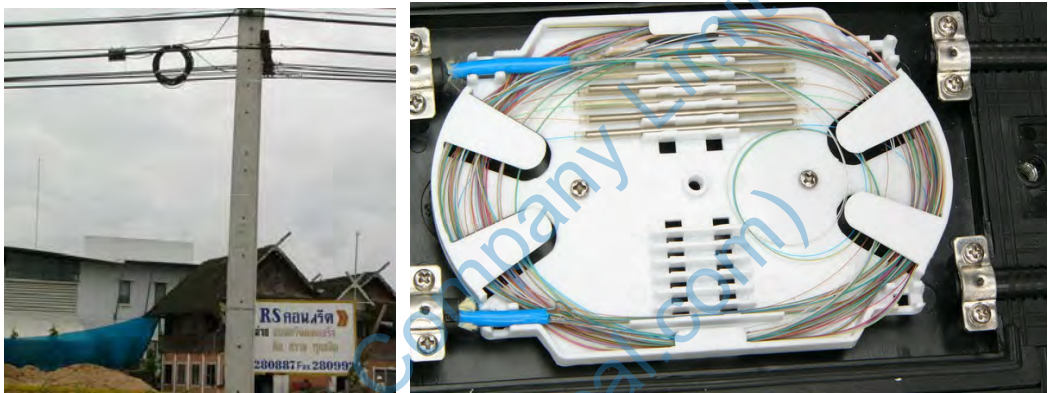
ภาพประกอบที่ 2.14 จุดที่ 3 Service Loop และ Fix Loop และสภาพเส้น Fiber ที่เคลื่อนตัว

จุดที่ 4. ระหว่างดอยสุเทพกับหอดูดาวสิรินธร Route นี้ สาย Optical Drop cable เป็นของ บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC) ซึ่งไม่อยู่ในสัญญาของการเก็บข้อมูลครั้งนี้ จำนวนเส้น Fiber 6 Core แยกจากสาย Optical Cable ด้วยหัวต่อ Branch Joint และสาย Optical Drop cable ที่แยกจากหัวต่อ Branch Joint ไม่มีหัวต่อ จึงเก็บข้อมูลจาก Distribution Box ภายในอาคาร หอดูดาว สภาพเส้น Fiber ในสภาพปกติ จุดสังเกตก่อนเข้าอาคารจะมี Fix Loop ด้านนอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 เซนติเมตร ความยาวสายใน Loop 19.2 เมตร ตามภาพประกอบที่ 2.15



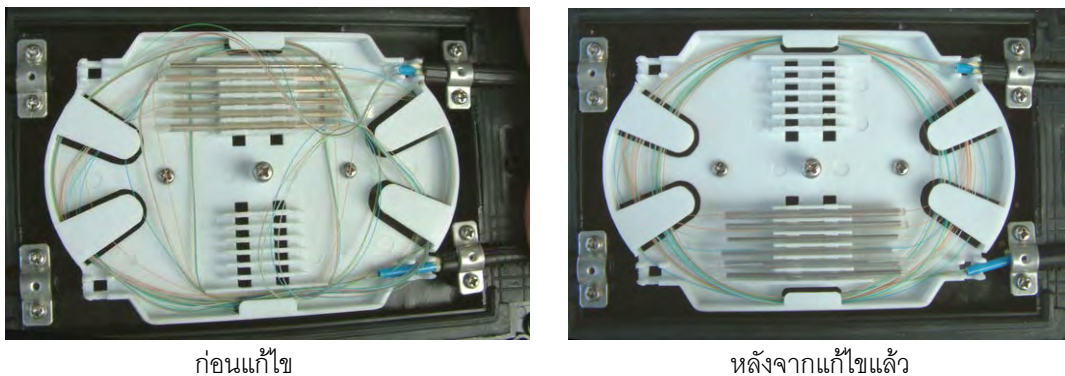
ภาพประกอบที่ 2.15 Distribution Box ในหอดูดาวและ Fix Loop ภายนอกก่อนเข้าอาคาร

จุดที่ 5. Route ระหว่าง เชียงใหม่ –สันป่าตอง ไปหมู่บ้านเว็ดลคัลแลนด์ Route นี้ความยาวสายรวมประมาณ 4,300 เมตร เก็บข้อมูลหัวต่อบริเวณหน้าโรงผสมคอนกรีต สายทั้งสองด้านเป็นของบริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) สัญญาเลขที่ 001/3200000449/2546 จำนวนเส้น Fiber 12 Core สายด้านชุมสายยาวประมาณ 4,000 เมตร และสายเข้าหมู่บ้านยาวประมาณ 300 เมตร มี Service Loop ก่อนเข้าหัวต่อ เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ความยาวสายใน Loop 31 เมตรเท่ากันทั้งสองด้าน เมื่อเปิดหัวต่อพบเส้น Fiber เคลื่อนตัวออกมาเล็กน้อย ตามภาพประกอบที่ 2.16 จากนั้นมาเก็บข้อมูลที่ชุมสายในหมู่บ้าน เปิด Distribution Box ภายในห้องชุมสายในหมู่บ้าน ไม่พบการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ที่ถาดรองรับเส้น Fiber จากหัวต่อจุดแรกมาชุมสายในหมู่บ้าน สายมี Fix Loop รวม 4 Loop



ภาพประกอบที่ 2.16 จุดที่ 6 หัวต่อที่ Loop บนก่อนปลดลงมา และสภาพเส้น Fiber ที่เคลื่อนตัว

จุดที่ 6.² วันที่ 2 กันยายน 2548 ผู้ดูแลโครงข่าย Fiber Optic ได้รับแจ้งจากทางศูนย์บริการสื่อสารข้อมูลในส่วนที่รับผิดชอบว่ามีเหตุเสียหายของเส้น Fiber เส้นทางพร้าวถึงสำนักงานที่ดิน อ.พร้าว Route นี้ยาวประมาณ 4,430 เมตร ไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งทางศูนย์สื่อสารข้อมูลได้ตรวจสอบเบื้องต้นแล้วปรากฏว่าเส้น Fiber ขาด 1 Core จากเส้น Fiber ที่ใช้งานอยู่ 2 Cores



ภาพประกอบที่ 2.17 ภาพก่อนและหลังแก้ไขหัวต่อที่เส้น Fiber ขาด

² จากคุณเรวัต ภูมิชัย ซึ่งดูแลโครงข่ายเส้น Fiber Optical ส่งข้อมูลมาให้ภายหลัง

เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลโครงข่ายได้ไปตรวจสอบด้วยเครื่อง OTDR พบเส้น Fiber ขนาด จำนวน 1 Core จากเส้น Fiber ที่ใช้งานอยู่ 2 Core ตามรับแจ้ง ซึ่งเครื่อง OTDR ระบุตำแหน่งหัวต่อห่างจาก ชุมสายพร้าวประมาณ 4,000 เมตร และจากหัวต่อไปถึง สนง.ที่ดิน อ.พร้าว สาย Optical Drop Cable ยาวประมาณ 430 เมตร เมื่อเปิดหัวต่อทำการแก้ไขปรากฏว่าเส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube รัดดึงเส้น Fiber ขนาด ตามภาพประกอบที่ 2.17 (ก่อนแก้ไข)

ลักษณะการ Service Loop สายก่อนเข้าหัวต่อที่จังหวัดเชียงใหม่ต่างกับที่จังหวัด กาญจนบุรี กล่าวคือ ที่จังหวัดกาญจนบุรีจะ Service Loop สายด้านละ Loop ขณะที่จังหวัดเชียงใหม่ จะเอาสายทั้งสองด้านมา Service Loop รวมกัน ตามภาพประกอบที่ 2.15 เหตุผลที่ Service Loop ผู้ดูแลโครงข่ายจังหวัดเชียงใหม่แจ้งว่าช่วยแก้ปัญหาสายบิดตัวเมื่อแขวนและคลายวง Loop เข้าออก และปฏิบัติงานได้สะดวกกว่า

2.4 สํารวจและเก็บข้อมูลในจังหวัดเชียงราย

Route ระหว่าง เชียงราย –ดอยยาวีบ้านห้วยน้ำมา Route นี้ สาย Optical Drop cable เป็นของ บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) สัญญาเลขที่ 112/3200000299/2546 จำนวนเส้น Fiber 12 Core แยกจากสาย Optical Cable ด้วยหัวต่อ Dome Joint ก่อนเข้าหัวต่อมี Service Loop เส้น ผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความยาวสายใน Loop ยาว 5.6 เมตร ก่อนตัดต่อ(Fusion) เคเบิลเส้นนี้ จากการสัมภาษณ์แขวนสายทิ้งไว้ก่อนตัดต่อ (Fusion)ประมาณ 8 เดือน เมื่อเปิดหัวต่อไม่พบเส้น Fiber เคลื่อนตัวตามภาพประกอบที่ 2.18



ภาพประกอบที่ 2.18 Loop หัวต่อและเส้น Fiber, Route เชียงราย –ดอยยาวีบ้านห้วยน้ำมา

โดยสรุปความยาวที่ติดตั้งสาย Optical Drop Cable ขึ้นกับความเสถียรในการใช้งาน ถ้าติดตั้งใน Route ที่ยาวมากๆ ก็มีความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อม เนื่องจากโครงสร้างสาย Optical Drop Cable [7] เปรียบบางกว่าสาย Optical Cable [6] ส่วนการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber เข้า-ออกจาก Loose Tube พบในระยะทางสายสั้นและยาวใกล้เคียงกัน (กรณีที่มีวิธีการแขวนสายคล้ายกัน)

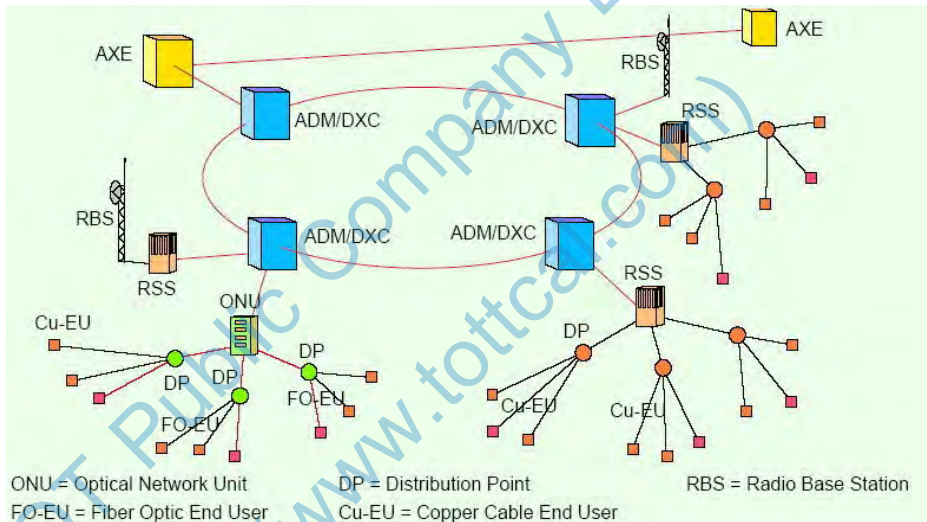
2.5 สรุป

สรุปจากการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานและข้อสังเกตของคณะทำงานฯ สรุปได้ดังนี้

- 1) การเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ในหัวต่อพบว่าระยะทางสายสั้นและยาวมีการเคลื่อนตัวของ Fiber ใกล้เคียงกัน (กรณีที่มีวิธีการแขวนสายคล้ายกัน)
- 2) ความยาวที่ติดตั้งสาย Optical Drop Cable ขึ้นกับความเสถียรในการใช้งาน ถ้าติดตั้งใน Route ที่ยาวมากๆ ก็มีความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อม เนื่องจากโครงสร้างสาย Optical Drop Cable เปรียบบางกว่าสาย Optical Cable
- 3) สายแต่ละช่วงเมื่อถึงจุดต่อเชื่อม(Fusion) ที่หัวต่อ การเคลื่อนตัวของเส้น Fiber แต่ละช่วงจะอิสระจากกัน(independence) ไม่มีผลส่งต่อกับช่วงสายถัดไป
- 4) สาย Optical Drop Cable ที่แขวนสายทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งแล้วมาตัดต่อเส้น Fiber ภายหลัง เส้น Fiber จะเคลื่อนตัว เข้า-ออก Loose Tube น้อย
- 5) สาย Optical Drop Cable ที่มี Fix Loop ถัดจากการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber จะน้อยตามจำนวน Fix Loop หรือเส้น Fiber ไม่มีการเคลื่อนตัว เข้า-ออก Loose Tube เลย
- 6) สาย Optical Drop Cable ที่มี Fix Loop ก่อนถึงหัวต่อหนึ่งช่วง เส้น Fiber ด้านที่ Fix Loop จะเคลื่อนตัว เข้า-ออก Loose Tube น้อยหรือไม่มีการเคลื่อนตัวเลย
- 7) สาย Optical Drop Cable ของ Route ที่แขวนสายทิ้งไว้ไม่ยาว การเปิด Cap ปลดขยายปลายสายอิสระ หรือปิด Cap ผลไม่ชัดเจน (จากการสัมภาษณ์ก่อนติดตั้ง) แต่ผู้ปฏิบัติงานแนะนำควรเปิด Cap น่าจะดีกว่า เพราะกรณีเส้น Fiber เคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube เส้น Fiber จะเคลื่อนตัวได้อิสระกว่า และปลาย Cap ควรป้องกันน้ำซึมเข้าไปในสาย Optical Drop Cable ด้วยวิธีให้ปลายสายชี้ลงดิน หรือหาขวดน้ำขนาด 1.5 ลิตรปิดปลายสาย หรือวิธีอื่น ๆ ที่สามารถป้องกันน้ำซึมเข้าไปในสายได้

บทที่ 3. วิเคราะห์และทดสอบ

บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) หรือ บมจ.ทีโอที วางโครงข่ายหลักด้วย Optical Cable จำนวน 149 เส้นทาง ระยะทางประมาณ 9,800,000 เมตร จำนวน Core ของเส้น Fiber Optical 60 ถึง 216 Cores เชื่อมต่อระหว่างจังหวัดหรือส่วนกลางสู่ภูมิภาค [9] และภายในจังหวัดจะวางโครงข่ายท้องถิ่นด้วย Fiber Optical ซึ่งใช้ Fiber 2 ถึง 6 Cores เท่านั้น จากจำนวนเส้น Fiber ที่ใช้งานในโครงข่ายท้องถิ่นเพียง 2 – 6 Cores บมจ.ทีโอที จึงได้นำสาย OFC for Access Service หรือ Optical Drop Cable จำนวน Fiber 4 ถึง 12 Cores มาแทน Optical Cable เพื่อลดต้นทุน



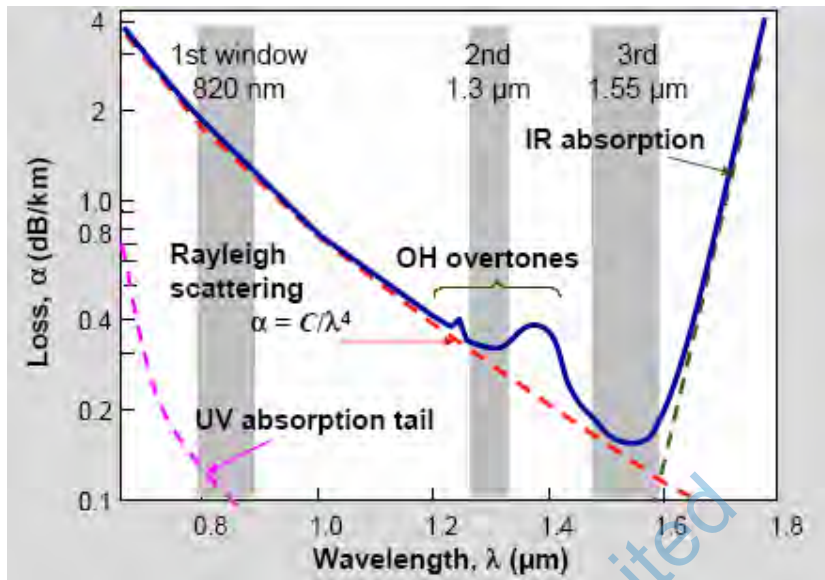
ภาพประกอบที่ 3.1 โครงข่ายโทรคมนาคมของ บมจ.ทีโอทีที่นำ Fiber Optic มาทดแทน Copper

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ทฤษฎีแสง

นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษาและทดลองเรื่องแสงมาเป็นระยะเวลาหลายร้อยปีแล้ว แม้กระนั้นยังไม่อาจสรุปรูปแบบที่จะอธิบายและคาดการณ์ปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ของแสงได้อย่างชัดเจน ปัจจุบัน (พ.ศ.2548) มีรูปแบบทางทฤษฎีที่อธิบายเกี่ยวกับแสงอยู่ 2 ลักษณะ คือ

- 1) แสงมีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic)
- 2) แสงเป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคเล็ก ๆ จำนวนมากที่เรียกว่า Photon



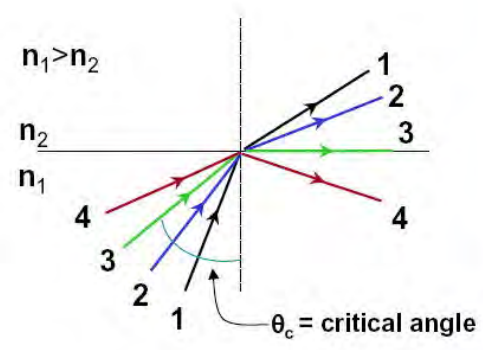
ภาพประกอบที่ 3.2 Bandwidth ของเส้น Fiber

Fiber มี Bandwidth ที่กว้างมาก ประมาณ 10 GHz [4] ทำให้ระบบมีความจุช่องสัญญาณสูงและปราศจาก Crosstalk ในการส่งสัญญาณ ความเร็วแสงในสุญญากาศ (C) = 3×10^{10} เมตร/วินาที ตามกฎของไอส์เตอร์ ความเร็วแสงในการเดินทางผ่านตัวกลาง (V) = C/n เมื่อ n คือค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) ของวัสดุตัวกลางที่แสงผ่าน ตามปกติแก้วที่ใช้ผลิตเส้น Fiber มีค่าดัชนีหักเหประมาณ 1.5

$$n_{\text{glass}} \approx 1.5$$

ดังนั้นความเร็วแสงในแก้ว

$$V_{\text{glass}} = \frac{300,000}{1.5} = 200,000 \text{ กิโลเมตร/วินาที}$$



$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$$

$$\theta_i = \sin^{-1} n_2/n_1 = \theta_c$$

ภาพประกอบที่ 3.3 กฎของสเนล (Snell's Law)

จากกฎของสเนล (Snell's Law) เมื่อแสงเคลื่อนจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงน้อยไปสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงมากกว่า พบว่าลำแสงจะเบนเข้าหาเส้นปกติ และถ้าแสงทำมุม θ_c กับเส้นปกติแล้วเกิดหักเหไปตามรอยต่อของตัวกลางทั้งสองชนิด หรือทำมุม 90° กับเส้นปกติ เราเรียกมุม θ_c นี้ว่ามุมวิกฤต (Critical Angle)

จากกฎของสเนล (Snell's Law)

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

นิวมอริคัลอเปอร์เจอร์ (Numerical Aperture) คือค่า Sine ของ Acceptance Angle เป็นตัวเลขที่บอกให้ทราบถึงเส้น Fiber นั้นสามารถรับแสงที่ตกกระทบ Core เป็นมุมกว้างหรือมุมแคบเพียงใด ค่านิวมอริคัลอเปอร์เจอร์ของเส้น Fiber หากมีค่ามากจะมีผลให้การส่งสัญญาณแสงเข้าไปในเส้น Fiber ได้ง่ายขึ้น

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

3.1.2 กำลังงานที่สำรอง (Power Margin)

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

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

คำนวณ Attenuation รวมใน Link ของโครงข่ายเส้น Fiber Optical [1] ได้จากสมการ

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

เมื่อ	α	=	ค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนสัญญาณของเส้น Fiber
	L	=	ความยาว Link ข่ายสายเส้น Fiber
	α_s	=	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียสัญญาณจุดเชื่อมต่อเส้น Fiber
	X	=	จำนวนจุดเชื่อมต่อเส้น Fiber
	α_c	=	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียสัญญาณ Connectors
	Y	=	จำนวน Connectors

3.1.3 การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending Loss)

การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending Loss) ของเส้น Fiber แบ่งได้ 2 ชนิด คือ 1) Macro Bend เกิดจากรัศมีของส่วนโค้งมากกว่า 10 มิลลิเมตร และ 2) Micro Bend เกิดจากรัศมีของส่วนโค้งน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

Macro Bend การสูญเสีย (L_f) เนื่องจากรังสีของแสงตกกระทบตรงรอยต่อระหว่างแกนและแคลด ที่มีค่าน้อยกว่ามุมวิกฤต จึงทำให้แสงกระจายออกไปนอกเส้น Fiber ตามภาพประกอบที่ 3.4 หาได้จากสมการ

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

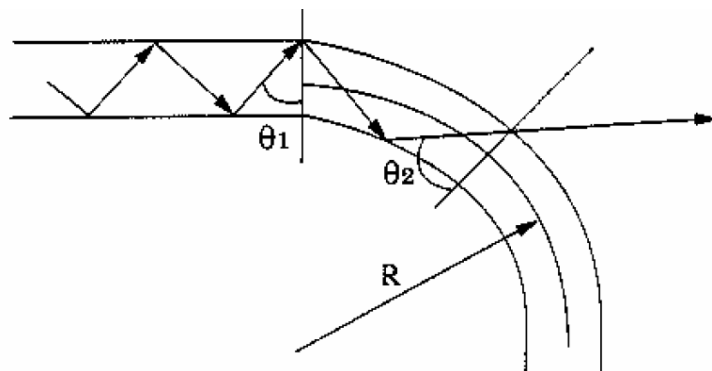
เมื่อ

- N = จำนวนโค้งของการโค้งงอต่อความยาว
- h = ส่วนสูงเฉลี่ยของเคเบิลที่โค้งงอ
- D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเคเบิลใยแก้วนำแสง
- a = รัศมีของแกนใยแก้ว
- λ = ความยาวคลื่นของแกนใยแก้ว
- E_b = ค่าอิลาสติกโมดูลัสของใยแก้ว
- E_f = ค่าอิลาสติกโมดูลัสของเคเบิล

การสูญเสียจาก Macro Bend จะแปรผันกับ \exp^{-R/R_c}

เมื่อ

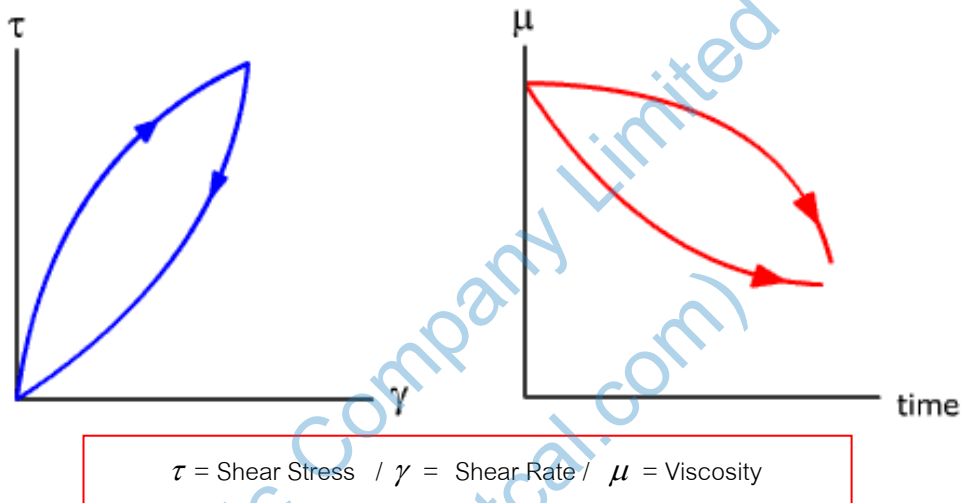
- R_c = $a / (NA)^2$
- R = รัศมีของการโค้งงอ
- a = รัศมีของแกนใยแก้ว
- NA = นิวเมอริคัลลอปเปอร์เจอร์



ภาพประกอบที่ 3.4 แสดงทางเดินของแสงในเส้น Fiber โค้งงอ

3.1.4 สารป้องกันการเคลื่อนตัวของไฟเบอร์ (Thixotropic Compound)

Thixotropic หมายถึง คุณสมบัติของสารหรือของไหลที่ค่าความหนืดจะลดลงตามระยะเวลา เมื่อของไหลได้รับแรงเค้นเฉือนในอัตราคงที่ ค่าความหนืดของของไหลพวกนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับค่า Shear Stress และ Shear Rate แล้ว ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลา (Time Dependent Non-Newtonian Fluids) ที่ของไหลได้รับแรงเค้นเฉือนคงที่ที่ได้รับตามดังภาพประกอบที่ 3.5 ลักษณะการไหลประเภทนี้ จะพบในวัสดุประเภท Grease, สีทาบ้าน และน้ำหมึกสำหรับเครื่องพิมพ์ขนาดใหญ่ เป็นต้น

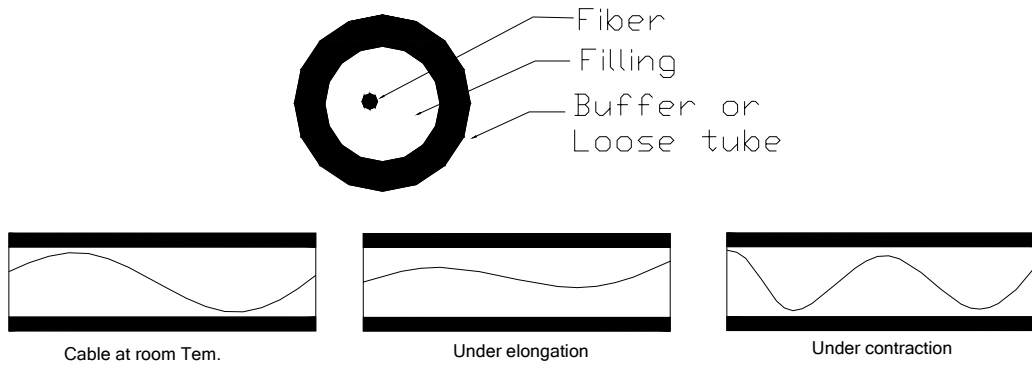


ภาพประกอบที่ 3.5 กราฟของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบ Non-Newtonian Thixotropic

Thixotropic Compound หรือ Compound สำหรับใช้ในงานด้านโทรคมนาคมนั้น จะใช้เป็น Filling Compound ใน Loose Tube ของ Fiber Optical Cable มีวัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันน้ำ, ความชื้น และป้องกันเส้นใยเส้น Fiber ไม่ให้แตกหักหากเคเบิลมีการเคลื่อนตัว Compound ชนิดนี้ จะมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว เมื่ออยู่ในสภาวะปกติไม่มีแรงกระทำใดๆ จะมีลักษณะกึ่งแข็ง สามารถละลายเป็นของเหลวได้ เมื่อคนหรือให้แรงกระทำใด ๆ

3.1.5 Fiber Access length in Loose Tube

สาย Optical Cable มาตรฐานการผลิตระบุให้เส้น Fiber ยาวกว่า Loose Tube (Access length) ร้อยละ 0.1 ถึง 0.3 [5] เพื่อให้เส้น Fiber ยึดหยุ่นรองรับการโค้งงอ



ภาพประกอบที่ 3.6 Fiber Access lengths in Loose Tube และสภาวะต่างๆ ของเส้น Fiber

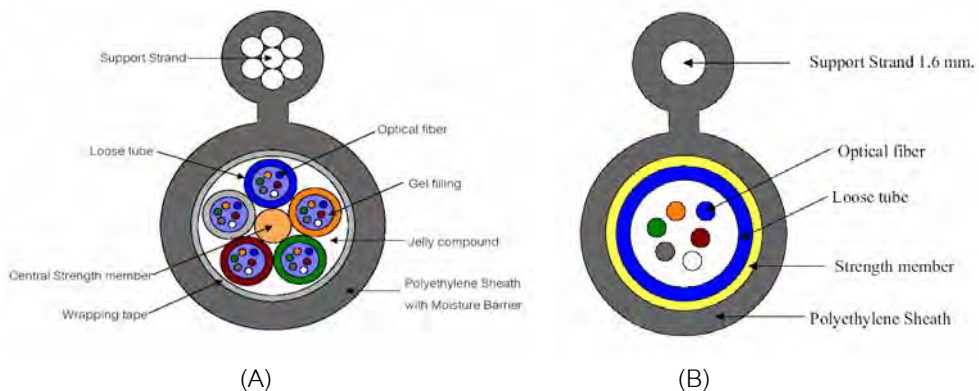
ระหว่างเส้น Fiber และ Loose Tube มี Compound (Filling) ป้องกันเส้น Fiber จากแรงกระทำจากภายนอก ซึ่งเส้น Fiber ที่วางตัวคล้ายตัวหนอนใน Loose Tube เมื่อเจอสภาพแวดล้อมจากการใช้งาน เช่น แรงดึง แรงกด เส้น Fiber จะเคลื่อนตัวโดยมี Compound ปรับสภาพตามการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ป้องกันเส้น Fiber ชำรุดเสียหาย ตามภาพประกอบที่ 3.6

3.2 วิเคราะห์ปัญหา

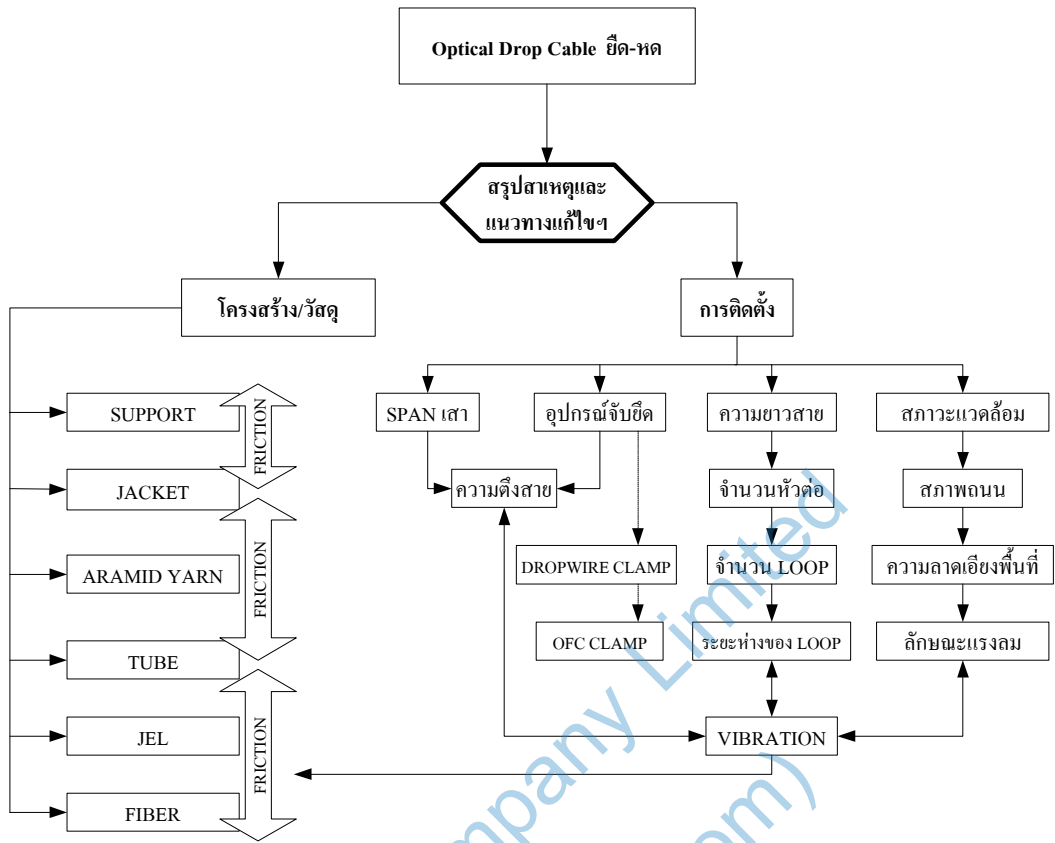
ปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัว ในสาย Optical Drop Cable ข้อมูลที่ได้จากสนามพบว่าการแขวนสายทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งก่อนตัดต่อ (Fusion) เส้น Fiber เสริมกับการ Fix Loop สายสามารถลดปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวภายในหัวต่อลงได้ในระดับหนึ่ง

คณะทำงานฯ ได้สรุปประเด็นเพื่อวิเคราะห์ปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัว เป็น Flowchart ตามภาพประกอบที่ 3.8 โดยกำหนดประเด็นใหญ่ๆ ไว้ 2 ประเด็น คือ

- 1) ปัญหาจากโครงสร้างและวัสดุของสาย Optical Drop Cable
- 2) ปัญหาจากการติดตั้งสาย Optical Drop Cable



ภาพประกอบที่ 3.7 Cross-Section (A) Optical Cable และ (B) Optical Drop Cable



ภาพประกอบที่ 3.8 Flowchart วิเคราะห์ปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวในสาย Optical Drop Cable

ประเด็นปัญหาจากโครงสร้าง ภาพประกอบที่ 3.7 แสดง Cross-Section ของสาย Optical Cable กับสาย Optical Drop Cable ซึ่งมีโครงสร้างภายในไม่เหมือนกัน สาย Optical Cable นั้น Loose Tube จะ Twist เข้าด้วยกัน ขณะที่สาย Optical Drop Cable เป็น Mono Loose Tube โครงสร้าง Loose Tube จะเป็นแนวตรงตามภาพประกอบที่ 3.9 ดังนั้นประเด็นปัญหาจากโครงสร้างอาจเป็นสาเหตุเส้น Fiber เคลื่อนตัว เข้า-ออก จาก Loose Tube



ภาพประกอบที่ 3.9 โครงสร้างสาย Optical Drop Cable

ปัญหาจากวัสดุข้อมูลจากผู้ผลิต Fiber Optic เกือบทุกโรงงานซื้อ Bare Fiber¹ จากต่างประเทศมาหุ้ม Cable Sheath ตามชนิดสายที่ลูกค้าสั่ง ซึ่งสาย Optical Cable และสาย Optical Drop Cable ผลิตด้วย Bare Fiber จากแหล่งเดียวกัน ดังนั้นสายทั้งสองชนิดใช้วัตถุดิบใกล้เคียงกัน

¹ โรงงานผลิต Bare เส้น Fiber ทั่วโลกมีประมาณ 300 โรงงาน (พ.ศ. 2548)

3.3 ทดสอบ

3.3.1 ทดสอบวัสดุ

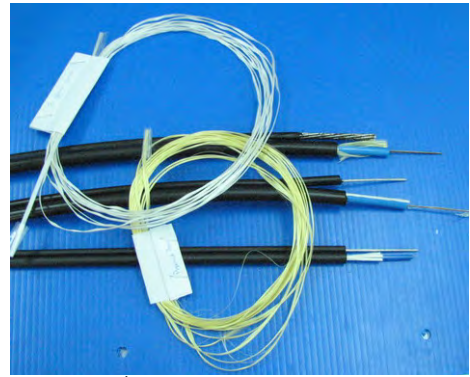
สาย Optical Drop Cable ที่ติดตั้งใช้งานไปแล้วและสำรวจในคลังพัสดุของ บมจ.ทีโอที มีโครงสร้างและวัสดุตามตารางที่ 3.1 โดย Loose Tube ผลิตจาก Polybutylene Terephthalate: PBT ภายใน Loose Tube วาง Bare Fiber ซึ่งยาวกว่า Loose Tube ร้อยละ 0.1 ถึง 0.3 และมี Thixotropic Compound บรรจุใน Loose Tube ป้องกัน Micro Bending กรณีสาย Optical Drop Cable โค้งงอ รอบ Loose Tube พันด้วย Aramid Yarn ซึ่งช่วยรับแรงดึง (Strength Member) และ ชั้นนอกสุดห่อหุ้ม (Cable Sheath) ด้วย High Density Polyethylene: HDPE ซึ่งมี Galvanized Steel เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ Support Strand ช่วยรับแรงดึงขณะแขวนสาย

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดโครงสร้าง / วัสดุของสาย Optical Drop Cable

Construction		Number of core and Material	
1. SM Fiber Core G652		6	12
2. Loose tube	Material	Polybutylene Terephthalate with color master batch	
	Diameter	3.2	4.0
3. Filling compound in loose tube		Thixotropic compound	
4. Strength member		Aramid yarn with waterblocking	
5. Support strand		galvanized steel 1.6 mm	
5. Cable sheath	Material	Black high density polyethylene	
	Thickness	min. 1.5 mm	
6. Cable diameter	Nominal	7	7.8
7. Cable Height	Nominal	13	13.8
8. Cable weight	Nominal	70.7	79.4

เนื่องจากคณะทำงานฯ ไม่สามารถสุ่มตัวอย่างสาย Optical Drop Cable ที่ติดตั้งใช้งานได้ จึงสุ่มตัวอย่างสายจากคลังพัสดุเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติวัสดุของสาย ขณะเดียวกันได้ประสานงานโรงงานผลิต Optical Cable ขอตัวอย่างสายและ Yarn ที่โรงงานผลิตขายในท้องตลาดตามภาพประกอบที่ 3.10 เพื่อศึกษาและทดสอบนำข้อมูลมาเปรียบเทียบประกอบการวิเคราะห์ต่อไป

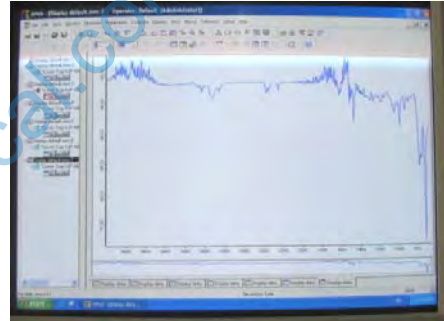
ภาพประกอบที่ 3.11 และ 3.12 เครื่องมือวิเคราะห์ Thermal Analysis, FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrometer) และ X-ray Fluorescence Analysis ในห้องปฏิบัติการพร้อมผลวิเคราะห์ รายละเอียดตามตารางที่ 3.2 และ 3.3



ภาพประกอบที่ 3.10 ตัวอย่างสาย Optical Drop Cable ทุกขนาดที่ส่งมทดสอบวัสดุ



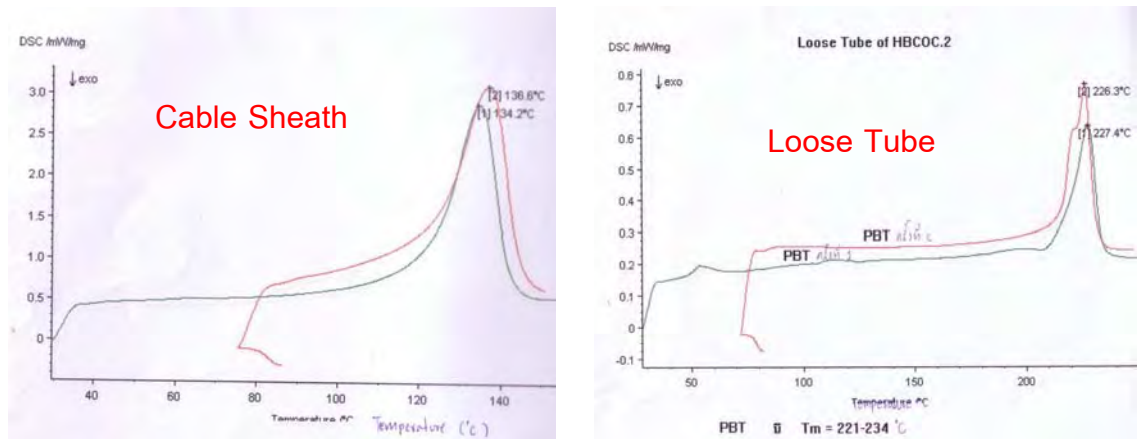
ภาพประกอบที่ 3.11 เครื่องมือวิเคราะห์ Thermal Analysis และ X-ray Fluorescence Analysis



ภาพประกอบที่ 3.12 เครื่องมือวิเคราะห์ FT-IR และผลการวิเคราะห์



ภาพประกอบที่ 3.13 Peak ที่ทดสอบจากเครื่อง FT-IR



ภาพประกอบที่ 3.14 รูป Peak ทดสอบจากเครื่อง Thermal Analysis

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบหาชนิดของวัสดุพลาสติกด้วยเครื่อง FTIR และเครื่อง Thermal Analysis
หาชนิดของ Support Strand ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Analysis

บริษัทผู้ผลิต/ตัวอย่าง**	ชนิดพลาสติก ของ Cable Sheath	ชนิดพลาสติก ของ Loose Tube	ชนิดโลหะของ Support Steel Wire
บ. Hitachi จำกัด			
● ตัวอย่างที่ 1	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
● ตัวอย่างที่ 2	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
● ตัวอย่างที่ 3	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
● ตัวอย่างที่ 4	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
บ. Siam Fiber จำกัด			
● ตัวอย่างที่ 1	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
● ตัวอย่างที่ 2	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
บ. Thai Fiber จำกัด			
● ตัวอย่างที่ 1	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
● ตัวอย่างที่ 2	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
บ. Sum sung จำกัด			
● ตัวอย่างที่ 1	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
บ. LG Cable จำกัด			
● ตัวอย่างที่ 1	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
บ. MVT จำกัด			
● ตัวอย่างที่ 1	HD-PE	PBT	Galvanized Steel
Spec. Limit	HD-PE	PBT	Min 1.5 mm.

** ตัวอย่างจากแต่ละระวิง (Reel)

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบหาค่าความหนาของ Support Strand Steel Wire และ Cable Sheath

บริษัทผู้ผลิต/ตัวอย่าง**	ความหนา (mm.) Support Steel Wire	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.) Support Steel Wire	ความหนา (mm.) Cable Sheath
บ. Hitachi จำกัด			
● ตัวอย่างที่ 1	1.39	1.62	1.64
● ตัวอย่างที่ 2	1.36	1.62	1.61
● ตัวอย่างที่ 3	1.37	1.61	1.63
ค่าเฉลี่ย	1.37	1.62	1.63
บ. Siam Fiber จำกัด			
● ตัวอย่างที่ 1	1.49	1.58	1.60
● ตัวอย่างที่ 2	1.51	1.63	1.58
● ตัวอย่างที่ 3	1.37	1.61	1.54
ค่าเฉลี่ย	1.46	1.61	1.57
Spec. Limit	Min. 1.0 mm.	1.60 mm.	Min. 1.5 mm.

** ตัวอย่างจากแต่ละระวิง (Reel)

ผลการใช้เครื่องมือวิเคราะห์พลาสติก FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrometer) และเครื่อง Thermal Analysis หาชนิดของวัสดุโลหะของ Support Strand ด้วยเครื่อง X-Ray วิเคราะห์ Loose Tube ตามข้อกำหนด[7] ที่ระบุว่าผลิตจาก PBT (Polybutylene Terephthalate) และ Cable Sheath ที่ระบุว่าผลิตจาก HDPE (High Density Polyethylene) และใช้เครื่องมือวิเคราะห์โลหะ (X-ray Analysis) วิเคราะห์ Support Strand Wire ที่ระบุว่าผลิตจาก Galvanized Steel พร้อมกับวัดค่าความหนาของ Cable Sheath , Support Steel Wire ผลการวิเคราะห์พบว่าสาย Optical Drop Cable ทุกตัวอย่างที่ใช้ทดสอบวัสดุในส่วนพลาสติก และโลหะ ถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนด[7] รายละเอียดตามตารางที่ 3.2 ถึง 3.5

ปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวภายในหัวต่อ มีการตั้งสมมุติฐานว่าสาเหตุอาจมาจากอุณหภูมิที่ติดตั้งใช้งาน ทำให้เกิดการหดตัวของวัสดุที่เป็นพลาสติก เพื่อทดสอบตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ จึงทดสอบหัวข้อการหดตัว (Shrinkback) ของวัสดุที่เป็นพลาสติกที่อุณหภูมิ 115 ± 1 °C [6] [7] และทดสอบหัวข้อการหดตัวของส่วนพลาสติกที่อุณหภูมิและความชื้นที่นำไปงานจริง² อุณหภูมิ 55 °C ความชื้น 85 % ด้วยเครื่อง Oven และ Temperature & Humidity Chamber ตามลำดับตามภาพประกอบที่ 3.15 และ 3.16

² อ้างอิง อุณหภูมิและความชื้น ทดสอบตู้ชุมสาย DLC ของ บมจ.ทีโอที



ภาพประกอบที่ 3.15 ตู้อบที่ทดสอบ Shrink back



ภาพประกอบที่ 3.16 ตัวอย่างหลังผ่านการทดสอบ Shrink back

ตารางที่ 3.4 ค่าการหดตัว (Shrink back) ของพลาสติก Loose Tube อุณหภูมิ $115 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และ อุณหภูมิ 55°C ความชื้น 85% ซึ่งเป็นอุณหภูมิและความชื้นที่นำไปงานจริง

บริษัทผู้ผลิต/ตัวอย่าง ^{***}	Shrink back (%) อุณหภูมิ $115 \pm 1^{\circ}\text{C}$	Shrink back (%) อุณหภูมิ 55°C , ความชื้น 85%
บ. Hitachi จำกัด		
● ตัวอย่างที่ 1	0.00%	0.19%
● ตัวอย่างที่ 2	0.20%	0.00%
● ตัวอย่างที่ 3	0.77%	0.00%
ค่าเฉลี่ย	0.32%	0.06%
บ. Siam Fiber จำกัด		
● ตัวอย่างที่ 1	0.19%	0.00%
● ตัวอย่างที่ 2	0.38%	0.19%
● ตัวอย่างที่ 3	0.20%	0.19%
ค่าเฉลี่ย	0.26%	0.00%
Spec. Limit	Max. 5%	0.13

** ตัวอย่างจากแต่ละระวิง (Reel)

ตารางที่ 3.5 ค่าการหดตัว (Shrink back) ของพลาสติก Cable Sheath อุณหภูมิ 115 ± 1 °C และ อุณหภูมิ 55 °C ความชื้น 85% ซึ่งเป็นอุณหภูมิและความชื้นที่นำไปงานจริง

บริษัทผู้ผลิต/ตัวอย่าง	Shrink back (%) 115 ±1 °C	Shrink back (%) 55 °C, ความชื้น 85%
บ. Hitachi จำกัด		
• ตัวอย่างที่ 1	0%	0.38%
• ตัวอย่างที่ 2	4%	0.00%
• ตัวอย่างที่ 3	3%	0.77%
ค่าเฉลี่ย	2.3%	0.38%
บ. Siam Fiber จำกัด		
• ตัวอย่างที่ 1	2%	0.56%
• ตัวอย่างที่ 2	4%	0.38%
• ตัวอย่างที่ 3	3%	0.19%
ค่าเฉลี่ย	3%	0.38%
บ. MVT จำกัด		
• ตัวอย่างที่ 1	0%	-
• ตัวอย่างที่ 2	2%	-
ค่าเฉลี่ย	1%	-
บ. LG Cable จำกัด		
• ตัวอย่างที่ 1	2%	-
• ตัวอย่างที่ 2	2%	-
ค่าเฉลี่ย	2%	-
บ. SUMSUNG จำกัด		
• ตัวอย่างที่ 1	0%	-
• ตัวอย่างที่ 2	2%	-
ค่าเฉลี่ย	1%	-
บ. Thai Fiber จำกัด		
• ตัวอย่างที่ 1	4%	-
• ตัวอย่างที่ 2	4%	-
ค่าเฉลี่ย	4%	-
Spec. Limit	Max. 5%	-

จากมาตรฐานงานพลาสติก กำหนดค่าการหดตัวของพลาสติก(Shrink back) ของ LD-PE มีค่าการหดตัว 1-2 % , HD-PE มีค่าการหดตัว 2-3% และมีความแข็งตัวมากกว่า LD-PE ซึ่งใน

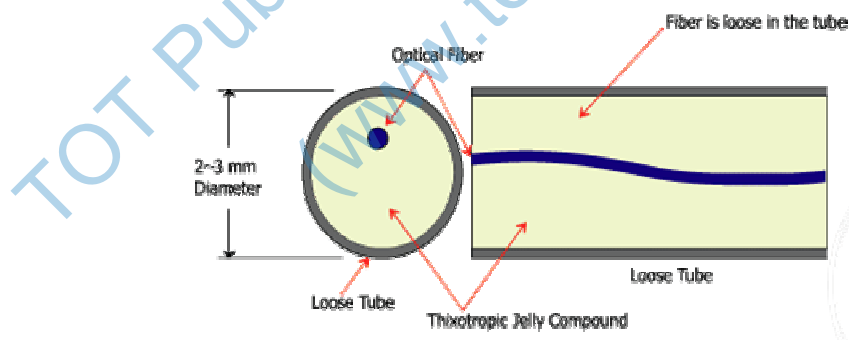
กระบวนการผลิตของโรงงาน อาจทำให้โครงสร้างของธาตุเคมีของพลาสติกมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น บมจ. ทีโอที จึงกำหนดมาตรฐานค่าการหดตัวของพลาสติก HD-PE ให้ค่าการหดตัวไม่เกิน 5% และ จากผลการทดสอบหวัข้อการหดตัวของวัสดุที่เป็นพลาสติกที่อุณหภูมิ $115 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [6] [7] และ ทดสอบหวัข้อการหดตัวที่อุณหภูมิและความชื้นที่นำไปใช้งานจริงที่ อุณหภูมิ $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ความชื้น 85% (รายละเอียดเป็นไปตามตารางที่ 3.4 และ 3.5)

จากผลการทดสอบพบว่าสายตัวอย่างส่วนที่เป็นพลาสติก HD-PE (Cable Sheath) และ พลาสติก PBT (Loose Tube) ของสาย Optical Drop Cable ทุกตัวอย่างมีค่าการหดตัวของพลาสติก เป็นไปตามมาตรฐาน [6] [7] จึงตัดประเด็นปัญหาสาย Optical Drop Cable เส้น Fiber เคลื่อนตัว สาเหตุมาจากวัสดุออกไป

3.3.2 ทดสอบโครงสร้าง

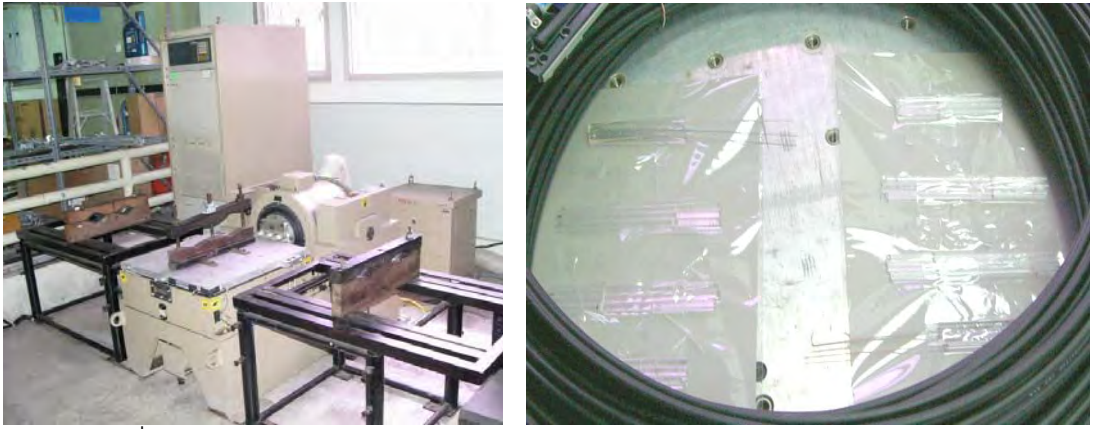
3.3.2.1 ทดสอบ Vibration Thixotropic Compound

สาย Optical Cable มาตรฐานการผลิตระบุให้เส้น Fiber ยาวกว่า Loose Tube (Access length) ร้อยละ 0.1 ถึง 0.3 เพื่อให้เส้น Fiber ยึดหยุ่นรองรับการโค้งงอในการติดตั้ง ระหว่าง เส้น Fiber และ Loose Tube มี Compound ที่เรียกว่า Thixotropic Compound วัตถุประสงค์ เพื่อ ช่วยระคองไม่ให้เส้น Fiber ที่วางตัวคล้ายตัวหนอนใน Loose Tube เสียหาย (ภาพประกอบที่ 3.17)



ภาพประกอบที่ 3.17 โครงสร้าง Access length เส้น Fiber ใน Loose Tube

สาย Optical Cable และสาย Optical Drop Cable ใช้ Thixotropic Compound ชนิด เดียวกัน ซึ่ง Compound ชนิดนี้จะความเหนียวไม่เปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิ ($\leq 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$) [7] แต่จะปรับ สภาพจาก Compound ซึ่งมีความเหนียวคล้ายจาระบีไปเป็นของเหลวเมื่อโดนแรงอัด (Pressure) หรือ แรงสั่น (Vibration) อย่างรุนแรงเท่านั้น การปรับสภาพของ Compound เพื่อป้องกันไม่ให้เส้น Fiber ใน Loose Tube ชำรุดเสียหาย



ภาพประกอบที่ 3.18 จำลอง Vibration Compound ด้วยหลอดทดสอบตามมาตรฐาน TIA/EIA

ทดสอบ Vibration test ตามมาตรฐาน TIA/EIA โดยบรรจุ Compound ในหลอดทดสอบยาว 100 มิลลิเมตร และสอดเส้น Fiber กึ่งกลางหลอด จำลองสภาพคล้ายเส้น Fiber ใน Loose Tube ของสาย Optical Drop Cable ตามภาพประกอบที่ 3.18 ตัวอย่างทดสอบรวม 25 ตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่า Compound ในหลอดทดสอบไหลเยิ้มออกมา 2 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 8 เนื่องจากหลอดทดสอบยาวเพียง 100 มิลลิเมตร และเส้น Fiber ที่จำลองภายในหลอดไม่มีแรงเค้นจาก Access length ร้อยละ 0.1 หรือ 0.3 เหมือนสาย Optical Drop Cable ที่ใช้งาน จึงไม่สามารถสรุปผลการทดสอบหัวข้อนี้ได้ชัดเจน

3.3.2.2 ทดสอบ Vibration สาย Optical Drop Cable

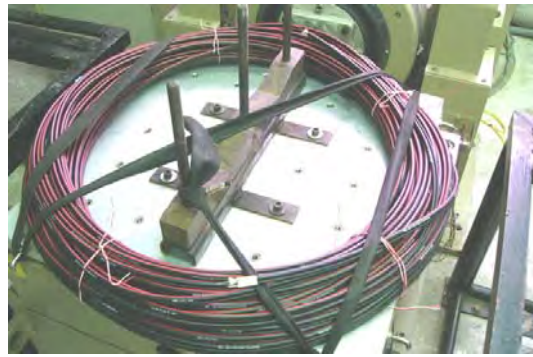
สาย Optical Drop Cable ติดตั้งใช้งานจะแขวนกับเสาไฟฟ้าระยะห่างเสา (Span) 40 ถึง 60 เมตร สูงจากพื้น 4 ถึง 5 เมตร สายจะแกว่งตามแรงลมหรือสั่นสะเทือนจากรถบรรทุกที่วิ่งบนถนน ซึ่งผลจากแรงกระทำดังกล่าวจะมีผลต่อค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Loose Tubes ของสาย Optical Drop Cable หรือไม่

ข้อมูลการติดตั้งในพื้นที่พบว่า Link ที่แขวนสายทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งก่อนตัดต่อ (Fusion) เส้น Fiber มีปัญหาเคลื่อนตัวน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ Link ที่ตัดต่อ (Fusion) เส้น Fiber ทันทีหลังแขวนสาย เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการแขวนสาย Optical Drop Cable ทิ้งไว้ก่อนตัดต่อ (Fusion) คณะทำงานฯ จึงจำลองการสั่น³ (Vibration) ตามมาตรฐาน TIA/EIA ด้วยเครื่องมือทดสอบ: Vibration Test System ที่ความถี่ 10-20 Hz Amplitude 3.0 มิลลิเมตร

³ Vibration test system CV-300-2 ตามมาตรฐาน TIA/EIA-455-11B Vibration type: Sinusoidal PPV 15 mm/sec. 10-20 Hz



สาย Hitachi



สาย Sum sung

ภาพประกอบที่ 3.19 ทดสอบ Vibration สาย Optical Drop Cable ตามมาตรฐาน TIA/EIA

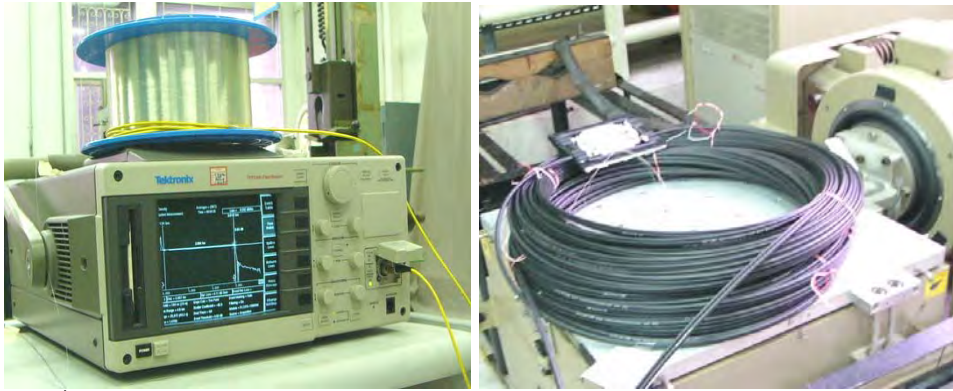
ตัวอย่างชุดที่ 1. ตัดสายออกจากกระวัง(ตารางที่ 3.6) และปล่อยให้ทิ้งไว้ 7 วัน จากนั้น Loop สายตามภาพประกอบที่ 3.19 และ 3.20 นำสายตัวอย่างทดสอบ Vibration ตามมาตรฐาน TIA/EIA ระหว่าง และระหว่างทดสอบ Vibration ได้ทำการตรวจวัดเส้น Fiber เคลื่อนตัวที่ช่วงเวลา 6, 8 และ 24 ชั่วโมง สรุปผลตัวอย่างทดสอบ Fiber เคลื่อนตัวประมาณร้อยละ 0.01 (ขบวนการผลิตระบุ เส้น Fiber มี Access length ร้อยละ 0.1 ถึง 0.3 [4]) รายละเอียดตามตารางที่ 3.6



ภาพประกอบที่ 3.20 วัดค่าเส้น Fiber เคลื่อนตัวระหว่างการทดสอบ Vibration ตามเวลาที่กำหนด

ตารางที่ 3.6 ค่าเส้น Fiber เคลื่อนตัวหลังทดสอบ Vibration

บริษัท	sample	สายยาว	ความยาวของเส้น Fiber ที่เคลื่อนตัวหลังทดสอบ				ผลต่าง สูงสุด	เคลื่อนตัว	
			ก่อน	6 ชั่วโมง	18 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง			
Hitachi	1	3,516	7.00	7.43	7.45	7.47	0.47	0.01	
	2	3,510	6.90	7.40	7.41	7.41	0.51	0.01	
Sum sung	1	10,000	1.58	2.28	2.30	2.31	0.73	0.01	
	2	4,255	7.10	7.51	7.53	7.54	0.44	0.01	
Unit		cm.						%	



ภาพประกอบที่ 3.21 ทดสอบ Vibration สาย Optical Drop Cable และสาย Optical Cable

ตัวอย่างชุดที่ 2. ตัดสายออกจากกระวัง 2 เส้น ยาวเส้นละ 50 เมตร จากนั้น Loop สายโดยไม่ปล่อยทิ้งไว้เหมือนตัวอย่างชุดที่ 1. ตัวอย่างชุดที่ 2. ทดสอบเปรียบเทียบสาย Optical Drop Cable กับเส้น Fiber Optical Cable โดยนำสายทั้งสองแบบมาตัดต่อ (Fusion) เหมือนใช้งานจริงจำลองการสั่น (Vibration) ตามมาตรฐาน TIA/EIA ด้วยเครื่องมือทดสอบ: Vibration Test System ที่ความถี่ 10-20 Hz Amplitude 3.0 มิลลิเมตร และวัดค่า Loss ของเส้น Fiber ด้วยเครื่อง OTDR ทุก 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 168 ชั่วโมง ตามภาพประกอบที่ 3.21

สรุปผลทุกตัวอย่างทดสอบไม่มีค่า Loss เกิดขึ้น (มาตรฐาน $\leq 0.01dB$) [1] สาย Optical Cable ไม่พบเส้น Fiber เคลื่อนตัว เข้า-หด จาก Loose Tube ขณะที่สาย Optical Drop Cable มีปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนออกจาก Loose Tube และเริ่มอึดมตัวในวันที่ 3 ของการทดสอบ ผลการวัดเส้น Fiber เคลื่อนตัวเฉลี่ยร้อยละ 0.01 (3 ตัวอย่าง) และหลังจากทดสอบครบ 7 วัน เส้น Fiber ไม่เคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube เพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าสาย Optical Cable ไม่มีปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube ขณะที่สาย Optical Drop Cable มีปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวจาก Loose Tube โดยมีจุดอึดมตัว หลังจากทดสอบ 3 วัน

3.3.3 ทดสอบการรับแรงดึง(Tensile) ของ Support Steel Wire

Support Steel Wire ของสาย Optical Drop Cable เป็นชนิด Extra High Strength Grade เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM B-498 [7] การรับแรงเมื่อติดตั้งใช้งานระบุเพียงระยะ Span เสาไม่เกิน 40 เมตร ช่วง Sag ที่ร้อยละ 1 ไม่ระบุค่าการรับแรงดึงของ Support Steel Wire



ภาพประกอบที่ 3.22 ทดสอบแรงดึง (Tensile) ของ Steel Wire และ Bare Fiber

คณะทำงานฯ จึงทดสอบค่าการรับแรงดึงตามภาพประกอบที่ 3.22 โดยสุ่มตัวอย่างสายจากจังหวัดกาญจนบุรีจำนวน 3 บริษัท (บริษัทละ 3 ตัวอย่าง) ทดสอบเปรียบเทียบกับสายบริษัท HBC ที่เบิกจากคลัง สรุปผลการทดสอบการรับแรงดึงทุกตัวอย่างทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน เฉลี่ย 325 kgf. รายละเอียดตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่าแรงดึง (Tensile) ของ Steel Wire

Sample	สายตัวอย่างจากเมืองกาญจนบุรี			สุ่มจากคลัง
	SFO	HBC	TFOC	HBC
1	328.5	319.0	332.0	320.0
2	325.0	324.5	328.5	326.0
3	323.0	326.0	325.0	325.0
avg.	325.5	323.2	328.5	323.7
unit	kgf.			kgf.

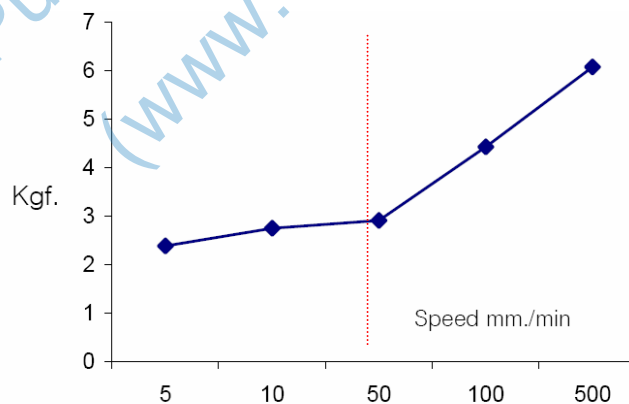
3.3.4 ทดสอบการรับแรงดึง(Tensile) ของเส้น Fiber

มาตรฐานการรับแรงดึง (Tensile) ของ Bare Fiber แต่ละเส้นในการตรวจสอบวัตถุประสงค์ในโรงงาน Bare Fiber รับแรงดึงประมาณ 6 kgf. ทดสอบที่ความเร็ว 500 mm/min แต่จากสภาพการเคลื่อนตัวจริงของเส้น Fiber ความเร็วจะน้อยกว่าความเร็วที่ใช้ตรวจสอบวัตถุประสงค์ในโรงงานมาก

(ข้อ 3.3.2.2) ซึ่งจากการค้นคว้ายังไม่พบว่ามีผู้ใดศึกษาข้อมูลดังกล่าวไว้ก่อนหน้านี้ คณะทำงานฯ จึงทดสอบหาค่าการรับแรงดึง (Tensile)⁴ ของ Bare Fiber แต่ละเส้น ตามภาพประกอบที่ 3.22 เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ในการแก้ปัญหาต่อไป การรับแรงดึง (Tensile) เฉลี่ยของ Bare Fiber แต่ละเส้นที่ความเร็วต่างกันพบว่า Speed สูงกว่า 50 mm/min ค่าแรงดึงจะแตกต่างกันมาก แต่ Speed ต่ำกว่า 50 mm/min ค่าแรงดึงจะแตกต่างกันน้อยมากเฉลี่ยประมาณ 2 kgf. ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้กำหนดค่าเส้น Fiber เคลื่อนตัวจนกระทั่งเส้น Fiber ขาดต้องมีดึงเส้น Fiber มากกว่า 2 kgf. เป็นข้อมูลอ้างอิง (กราฟภาพประกอบที่ 3.23)

ตารางที่ 3.8 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.				



ภาพประกอบที่ 3.23 กราฟแสดงค่าการรับแรงดึง (Tensile) เฉลี่ยของ Bare Fiber

สรุปผลการทดสอบการรับแรงดึงของสาย Optical Drop Cable 12 Cores รับแรงดึงรวมมากกว่า $12 \times 2 = 24$ kgf. แต่ขบวนการผลิตเส้น Fiber ที่วางใน Loose Tube จะมีความตึงของเส้น

⁴ การทดสอบ Tensile ของเส้น Fiber ด้วยเครื่อง Tensile LLOYD Model LR 5K

Fiber แต่ละเส้นไม่เท่ากัน ดังนั้นการรับแรงของเส้น Fiber จึงรับแรงดึงไม่พร้อมกันทั้ง 12 Core ตัวอย่าง เช่น ถ้ารับแรงดึงพร้อมกัน 4 Core การรับแรงดึงรวมจะเท่ากับ $4 \times 2 = 8 \text{ kgf}$. เป็นต้น

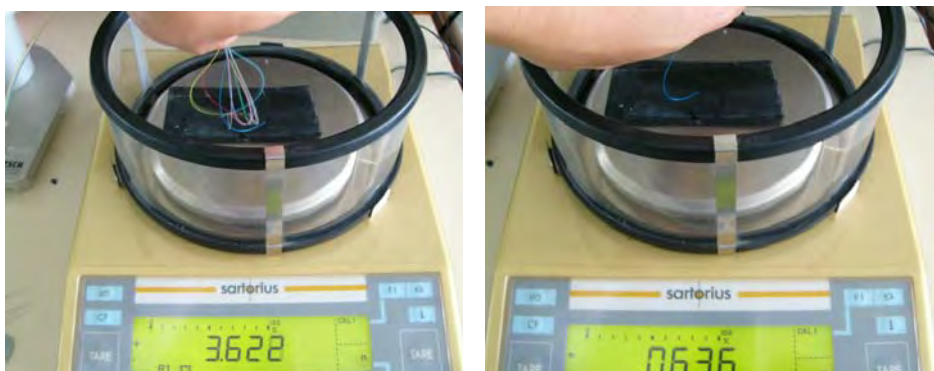
3.3.5 ทดสอบการรับเค้น(Stress) ของเส้น Fiber

ปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อของสาย Optical Drop Cable กรณีมีแรงเค้นจากภายนอกดันเข้าไปใน Loose Tube แรงกระทำที่เกิดขึ้นกับเส้น Fiber มีเล็กน้อยเพียงใด และผลจากแรงเค้นทำความเสียหายต่อเส้น Fiber หรือไม่ จึงจำลองแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับเส้น Fiber ใน Loose Tube



ภาพประกอบที่ 3.24 จำลองแรงเค้นที่เกิดขึ้นกับเส้น Fiber ใน Loose Tube

ทดสอบแรงเค้นที่เกิดขึ้นกับเส้น Fiber โดยจำลอง Loose Tube จากท่อกลมใสที่มองเห็นเส้น Fiber ภายในท่อ และบังคับทิศทางด้วยประกับยาว 1 เมตร สอดเส้น Fiber 12 Cores เข้าไปในท่อกลม ปลายด้านหนึ่งจับยึดเส้น Fiber ไม่ให้เคลื่อนตัว ตามภาพประกอบที่ 3.24 จากนั้นทดสอบดันเส้น Fiber พร้อมกันทั้ง 12 Core ผลการทดสอบพบว่าเส้น Fiber จะโค้งงอรูปตัว "S" ตามแรงเค้นสลัดไปมาในท่อกลม จนกระทั่งเส้น Fiber โค้งงอเต็มที่ ไม่สามารถที่จะดันเส้น Fiber เข้าไปในท่อกลมได้อีก ลักษณะเส้น Fiber ที่โค้งงอรูปตัว "S" มีลักษณะเป็น Curve ไม่มีการหักงอ ซึ่งมุม Curve มากกว่ารัศมีโค้งงอที่ทำให้เส้น Fiber ช้ำรูดเสียหายมาก



ภาพประกอบที่ 3.25 หาค่าแรงเค้นสูงสุดของเส้น Fiber ด้วยเครื่องชั่งละเอียด

เพื่อหาค่าแรงเค้นสูงสุดของเส้น Fiber จนเป็นรูปตัว “S Curve” ในท่อกลม จึงทดสอบแรงเค้นด้วยเครื่องชั่งละเอียด 3 ตำแหน่ง จำนวนเส้น Fiber 1 Core และ 12 Core ตามภาพประกอบที่ 3.24 ผลการทดสอบแรงเค้นสูงสุดของเส้น Fiber 1 และ 12 Core สูงสุด 14.95 กรัม ตามตารางที่ 3.9 สรุปได้ว่าเส้น Fiber ที่ชำรุดเสียหายจากการติดตั้งใช้งานในสนาม เกิดจากแรงรั้งดึงจากภายในของ Loose Tube เองไม่ใช่แรงเค้นภายในหัวต่อ (Fiber 1 Core รับแรงดึง 2 kgf)

ตารางที่ 3.9 ค่าการรับแรงเค้น (Pressure) ของเส้น Fiber 12 Core 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

3.3.6 ทดสอบการจับยึด (Friction)

ทดสอบค่า Friction ของเส้น Fiber และ Loose Tube เปรียบเทียบ Optical Drop Cable และ Optical Cable ที่จำนวนเส้น Fiber 12 Cores ใน Loose Tube จำนวนเท่ากัน ในสภาพการจับยึด (Friction) จากโครงสร้างการวาง Loose Tube ที่ต่างกัน



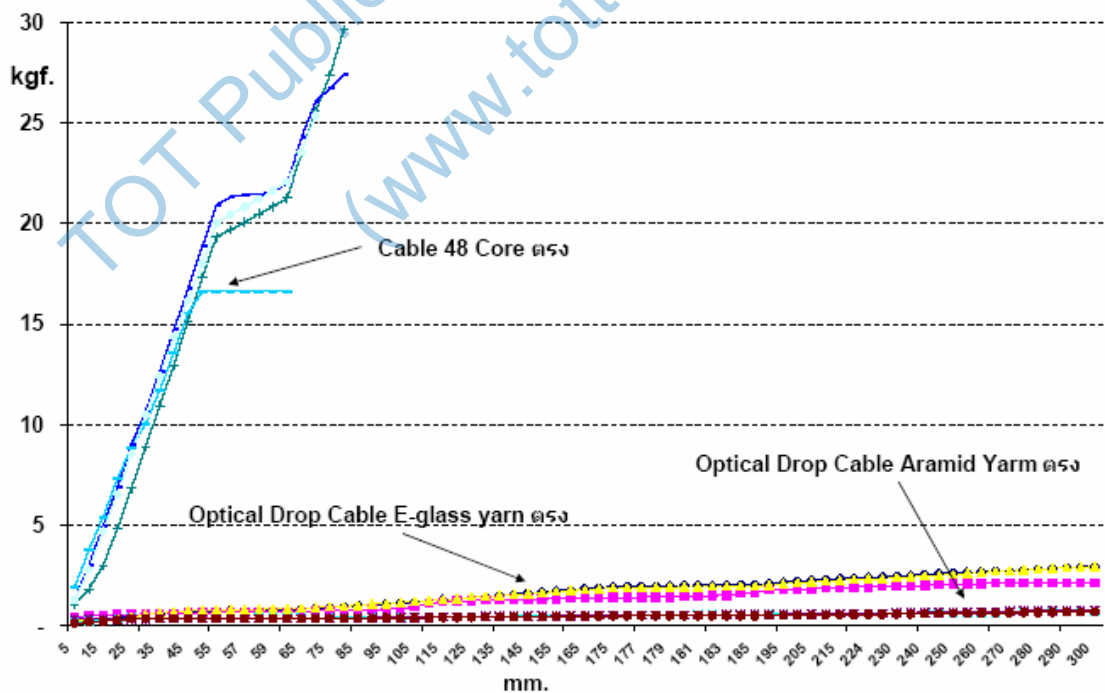
ภาพประกอบที่ 3.26 ทดสอบ ค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Tube

ทดสอบค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Loose Tube ทุกตัวอย่างใช้เส้น Fiber 12 Cores/Tube ความเร็วในการทดสอบ 10 mm/min ซึ่งการทดสอบหัวข้อ Friction คณะทำงานฯ ต้องออกแบบอุปกรณ์ทดสอบเพิ่มเติม ตามภาพประกอบที่ 3.26 โดยแบ่งการทดสอบเป็น

- 1) Optical Cable แนวตรง 3 ตัวอย่าง
- 2) Optical Drop Cable ชนิด Aramid Yarn แนวตรง 3 ตัวอย่าง
- 3) Optical Drop Cable ชนิด E-glass Yarn แนวตรง 3 ตัวอย่าง
- 4) Optical Drop Cable ชนิด E-glass Yarn โค้ง Loop 7 รอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง
- 5) Optical Drop Cable ชนิด Aramid Yarn โค้ง Loop 7 รอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง
- 6) Optical Drop Cable ชนิด Aramid Yarn โค้ง Loop 10 รอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง
- 7) Optical Drop Cable ชนิด Aramid Yarn โค้ง Loop 15 รอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง
- 8) Optical Drop Cable ชนิด Aramid Yarn โค้ง Loop 20 รอบ จำนวน 3 ตัวอย่าง

รวมตัวอย่างทดสอบ 24 ตัวอย่าง

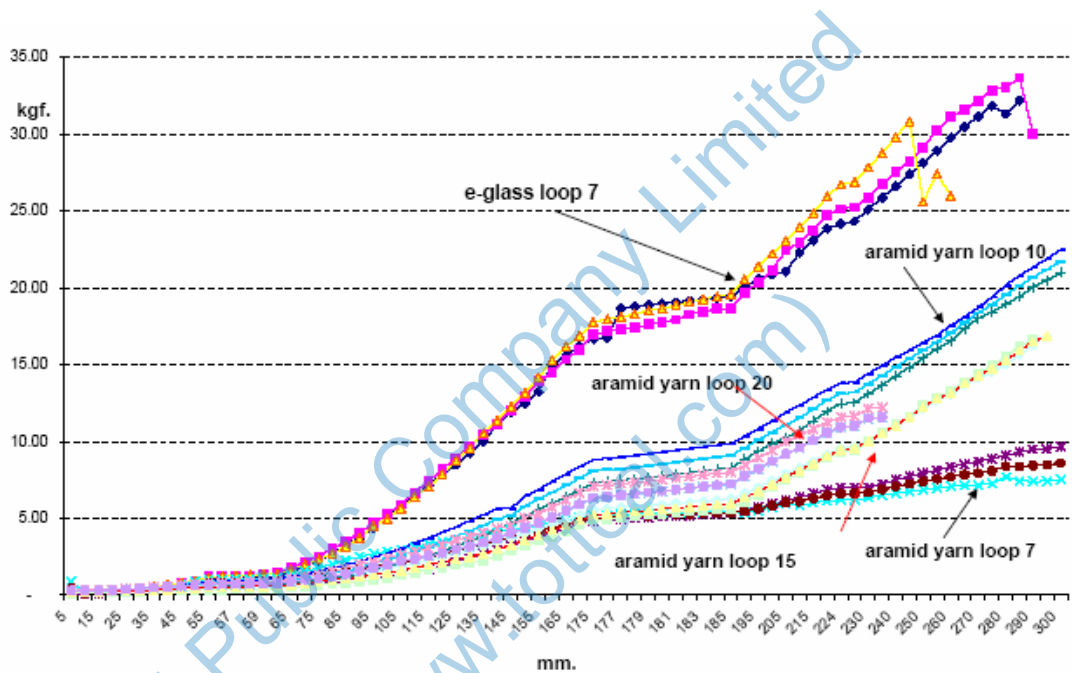
ทดสอบค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Loose Tube แนวตรง ทุกตัวอย่างใช้เส้น Fiber 12 Cores/Tube สายตัวอย่างยาว 10 เมตร Speed ในการทดสอบ 10 mm/min รวมตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 9 ตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 3.27 กราฟค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber - Compound สายตัวอย่างแนวตรง

ผลการทดสอบ Friction ระหว่างเส้น Fiber กับสายตัวอย่างแนวตรง พบว่าโครงสร้างเส้น Fiber ของ Optical Cable แนวตรงมีค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Loose Tube สูงกว่าโครงสร้างเส้น Fiber ของ Optical Drop Cable แนวตรง อย่างชัดเจนตามกราฟภาพประกอบที่ 3.27

ทดสอบค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Loose Tube ของ Optical Drop Cable ที่ใช้ Yarn แบบ Aramid Yarn และ E-Glass yarn โดย Loop ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร จำนวน Loop 7, 10, 15 และ 20 รอบ ตามลำดับ รวม 15 ตัวอย่าง

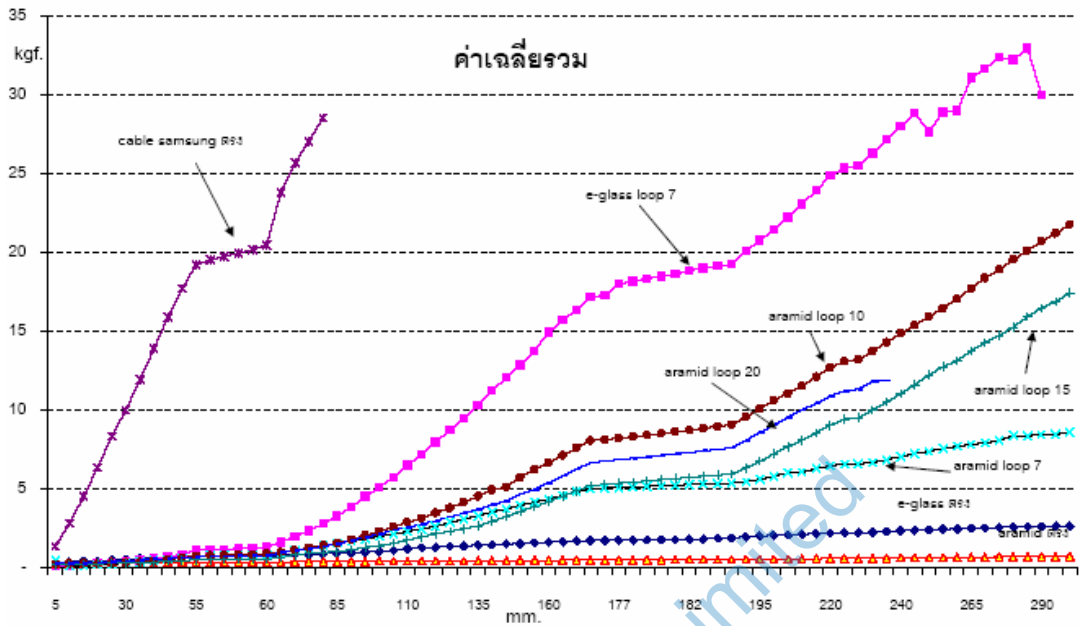


ภาพประกอบที่ 3.28 กราฟค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber - Compound และสายตัวอย่างวน Loop

ผลการทดสอบ Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Loose Tube เปรียบเทียบสายแบบ Aramid Yarn (Loose Tube 3/4⁵) ที่ บมจ.ทีโอที ที่ใช้งานอยู่ กับสายแบบ E-Glass yarn (Loose Tube 3/5) ที่จำนวน Loop 7 รอบเท่ากัน พบว่า E-Glass yarn มีค่า Friction มากกว่า เนื่องจากขนาด Loose Tube ของสายทั้งสองชนิดไม่เท่ากัน จึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบได้ชัดเจน

ผลการทดสอบ Friction สายแบบ Aramid Yarn ที่ใช้งานจำนวน Loop 7, 10, 15 และ 20 รอบ ตามลำดับ พบว่าค่า Friction ที่ 10 รอบมีค่าสูงที่สุดตามกราฟภาพประกอบที่ 3.29

⁵ 3/4 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางใน 3 มิลลิเมตร/เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 4 มิลลิเมตร



ภาพประกอบที่ 3.29 สรุปภาพรวมกราฟค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Compound

สรุปผลการทดสอบค่า Friction ของเส้น Fiber พบว่าสาย Optical Cable มีค่า Friction สูงกว่า Optical Drop Cable มาก และผลการทดสอบ Friction เฉพาะสายแบบ Aramid Yarn ด้วยกันซึ่งเป็นสายที่ใช้งานและมีปัญหาอยู่ในปัจจุบัน (พ.ศ. 2548) จำนวน Fix Loop ที่ 10 รอบมีค่า Friction สูงที่สุดในกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งการ Fix Loop สายช่วยเพิ่ม Friction ของสายได้อย่างชัดเจน



ภาพประกอบที่ 3.30 กริด Cable Sheath ดูลักษณะเส้น Fiber ภายใน Loose Tuber

วิเคราะห์เหตุใดจำนวน Loop 10 รอบ จึงมีค่า Friction มากกว่า Loop 15 และ 20 รอบ ทั้งที่จำนวนรอบน้อยกว่า คณะทำงานฯ ได้กรีด Cable Sheath ดูลักษณะเส้น Fiber ภายใน Loose Tube เปรียบเทียบจำนวน Loop 10, 15 และ 20 รอบ พบว่าที่ จำนวน Loop 15 และ 20 รอบ เส้น Fiber ใน Loose Tube อยู่ในตำแหน่งเอียงไปทางขอบนอกของ Loose Tube ขณะที่ จำนวน Loop 10 รอบ เส้น Fiber ใน Loose Tube อยู่ในตำแหน่งเอียงไปทางขอบในของ Loose Tube เมื่อมีแรงดึงการเคลื่อนของเส้น Fiber ที่ 10 รอบจะมีค่า Friction มากกว่า ซึ่งสรุปได้ว่าตำแหน่งของเส้น Fiber ใน Loose Tube มีผลต่อค่า Friction (หลังจาก Loop ตัวอย่างได้ทำการทดสอบต่อเนื่องภายในวันเดียว) ตามภาพประกอบที่ 3.30

3.3.7 ทดสอบ Loop และคลี่สายเพื่อลดการจับยึด (Friction)

โครงข่าย Optical Drop Cable ก่อนถึงหัวต่อจะ Service Loop ไว้ทั้งสองด้าน เพื่อความสะดวกในการซ่อมบำรุง จำลองลักษณะการ Loop แบบต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบผลการจับยึด (Friction) ของเส้น Fiber กับ Loose Tube ดังนี้

3.3.7.1 คลี่สายจากระวิงและวัดค่าการเคลื่อนตัวทันที

คลี่สาย Optical Drop Cable ออกจากระวิง (Reel) สายยาว 50 เมตร โดยยังไม่ตัดสาย ออกจากระวิง หลังจากดึงสายจนครบ 50 เมตร ได้ตรวจวัดการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber, Loose Tube และ Steel Wire ทันที (ภาพประกอบที่ 3.31 และ 3.32) ได้ค่า (ค่าเฉลี่ย 3 ตัวอย่าง) ดังนี้

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| 1) Fiber เคลื่อนตัว | 76.2 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.15 |
| 2) Loose Tube เคลื่อนตัว | 68.1 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.13 |
| 3) Steel Wire เคลื่อนตัว | 231.9 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.46 |



ภาพประกอบที่ 3.31 คลี่สาย Optical Drop Cable ออกจากระวิงและวัดอัตราการเคลื่อนตัว



ภาพประกอบที่ 3.32 แสดงเส้น Fiber, Steel Wire และ Loose Tube เคลื่อนตัว

3.3.7.2 คลี่สายจากระวางทิ้งไว้ก่อนวัดค่าการเคลื่อนตัว

คลี่สาย Optical Drop Cable ออกจากระวาง (Reel) สายยาว 50 เมตร โดยยังไม่ตัดสาย ออกจากระวาง เหมือนข้อ 3.3.7.1 หลังจากดึงสายจนครบ 50 เมตร ปล่อยสายแนวตรง และตรวจวัด การเคลื่อนตัวของเส้น Fiber, Loose Tube และ Steel Wire ทันที (ค่าเฉลี่ย 3 ตัวอย่าง) ดังนี้

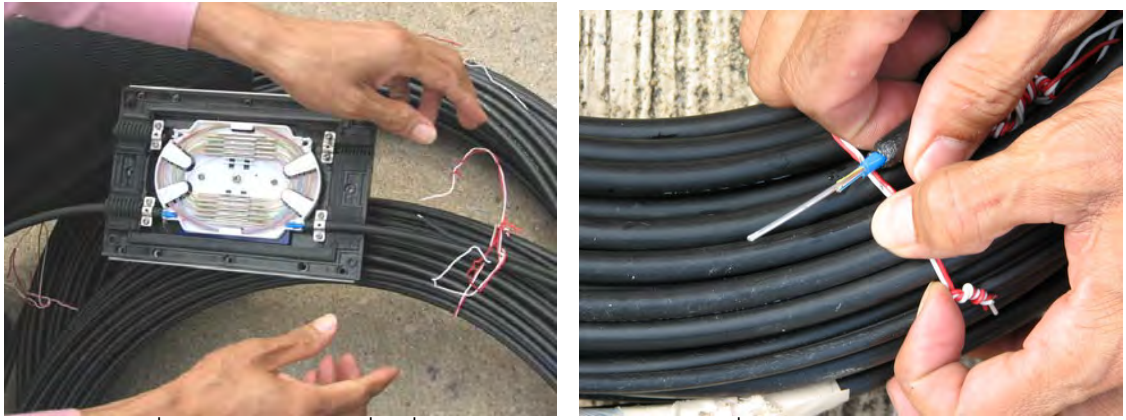
- 1) Fiber เคลื่อนตัว 20.2 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.04
- 2) Loose Tube เคลื่อนตัว 11.2 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.02
- 3) Steel Wire เคลื่อนตัว 166.8 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.35

3.3.7.3 จำลอง Loop และคลี่สายเหมือนสภาพใช้งานจริง

ตัวอย่างทดสอบยาว 50 เมตร 2 เส้นนำมาตัดต่อ (Fusion) เส้น Fiber ด้วยหัวต่อยี่ห้อ SJP ซึ่ง บมจ.ทีโอที ใช้งานอยู่เหมือนสภาพใช้งานจริง ทดสอบจำนวน 2 ตัวอย่าง ตามภาพประกอบที่ 3.33

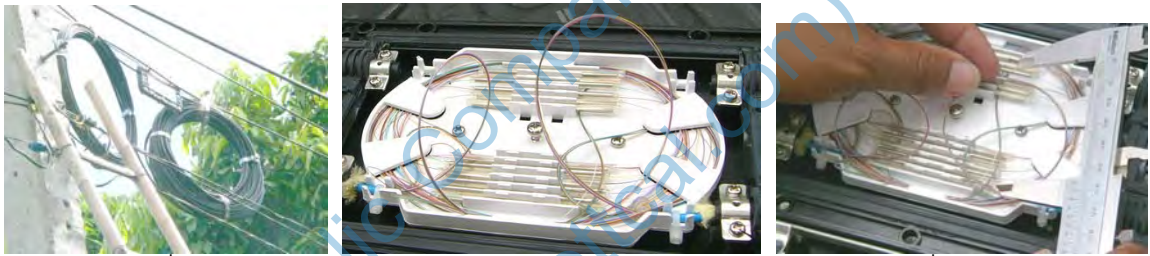


ภาพประกอบที่ 3.33 ทดสอบคลี่ Loop เพื่อดูค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Loose Tube



ภาพประกอบที่ 3.34 เส้น Fiber ที่เคลื่อนออกจาก Loose Tube เมื่อ Loop สาย

ผลการทดสอบเส้น Fiber มีการเคลื่อนตัวตามวง Loop กล่าวคือ เมื่อคี่สายตรงเส้น Fiber จะหดตัวเข้าไปใน Loose Tube แต่เมื่อ Loop สายกลับเส้น Fiber จะเคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube ตามภาพประกอบที่ 3.34 (ทดสอบเส้นผ่านศูนย์กลาง Loop 30 เซนติเมตร)



ภาพประกอบที่ 3.35 แสดงอัตราส่วนระหว่างจำนวน Loop กับระยะเส้น Fiber เคลื่อนตัว

โดยสรุปผลการทดสอบสอดคล้องกับการเก็บข้อมูลภาคสนามด้านที่มีจำนวนรอบของวง Loop มาก เส้น Fiber ในหัวต่อด้านนั้นเส้น Fiber จะเคลื่อนตัวในหัวต่อมากกว่าตามภาพประกอบที่ 3.35 และการปล่อยทิ้งสายไว้มากกว่า 3 วันก่อนตัดต่อ (Fusion) เพื่อให้สายคลายแรงเค้นภายในช่วยลดปัญหาการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber (ข้อ 3.3.7)

3.4 ตรวจสอบ Fiber Strain and Stress และ Chromatic Dispersion

ข้อมูลจากกาญจนบุรี จุดที่ 3. บริเวณหน้าโรงแรมเฟลิกซ์ ที่พบว่าเส้น Fiber เคลื่อนตัวแต่ละ Core ไม่เท่ากัน เนื่องจาก บมจ.ทีโอที ไม่มีเครื่องมือตรวจสอบค่า Fiber Strain and Stress และ Chromatic Dispersion บมจ.ทีโอที จึงขอความอนุเคราะห์จาก บริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิ้ล จำกัด (HBC) ประสานงานส่งตัวอย่าง Optical Drop Cable ไปทดสอบที่โรงงาน บริษัท ไทยไฟเบอร์ ออปติกส์ จำกัด (TFOC) [ภาคผนวก ค.]

สายตัวอย่าง Optical Drop Cable ที่ทดสอบค่า Fiber Strain and Stress และ Chromatic Dispersion Tube โครงสร้าง Loose Tube ขนาด 5.0/3.0 มิลลิเมตร หุ้ม Loose Tube ด้วย E-Glass และเส้นผ่านศูนย์กลาง Steel Wire 1.6 มิลลิเมตร สายตัวอย่างทดสอบยาว 200 เมตร

Apply load= 2200 N

- เช็คค่าความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ = 0.005 dB
- Check Fiber Strain and Stress Of Before Load, During Load And Release Load พบว่าค่า Fiber Strain ไม่เปลี่ยนแปลง
- เช็คค่า Chromatic Dispersion เพื่อดูความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงได้ผลดังนี้

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

สรุปความยาวของเส้นใยแก้วทั้ง 12 เส้นแตกต่างกัน = 0.035%

3.5 สรุป

จากที่คณะทำงานฯ วิเคราะห์ปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวไ้ 2 ประเด็น คือ 1) ปัญหาจากโครงสร้างและวัสดุของสาย Optical Drop Cable และ 2) ปัญหาจากการติดตั้งสาย Optical Drop Cable นั้น ผลการวิเคราะห์และทดสอบประเด็นปัญหาไม่น่าจะมาจากวัสดุ เนื่องจากขบวนการผลิตสาย Optical Cable และสาย Optical Drop Cable ใช้วัตถุดิบเหมือนกัน ประเด็นปัญหาจากโครงสร้างเนื่องจากโครงสร้างสาย Optical Drop Cable เป็น Mono Loose Tube ซึ่งเส้น Fiber วางเป็นเส้นตรงทำให้มีค่า Friction น้อย สอดคล้องกับผลการทดสอบ Vibration ที่พบว่าสาย

Optical Cable ไม่มีปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวจาก Loose Tube ขณะที่สาย Optical Drop Cable มีปัญหาแต่การเคลื่อนตัวมีจุดอึดตัวหลังจากทดสอบ 3 วัน ซึ่งเป็นการเร่งสภาวะด้วยเครื่อง Vibration แต่ข้อมูลภาคสนามจากจังหวัดกาญจนบุรี [ภาคผนวก ก.] แขนงสายทิ้งไว้ 3 อาทิตย์ก่อนตัดต่อ (Fusion) ไม่พบปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อ

ค่า Friction ระหว่างเส้น Fiber กับ Loose Tube พบว่าสาย Optical Cable มีค่า Friction สูงกว่าสาย Optical Drop Cable มาก ซึ่งในการติดตั้งสาย Optical Drop Cable สามารถเพิ่มค่า Friction ของสายโดยการ Fix Loop สายก่อนถึงหัวต่อหนึ่งช่วงเสาทั้งสองด้าน จำนวน Fix Loop ที่ 10 รอบเหมาะสมที่สุด เสริมกับการแขวนสายทิ้งไว้อย่างต่ำ 3 วัน (ยิ่งมากยิ่งดี) ก่อนตัดต่อ (Fusion) เพื่อให้เส้น Fiber คลายแรงเค้นลดปัญหาการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber (ข้อ 3.3.7)

TOT Public Company Limited
(www.tottcal.com)

บทที่ 4.

แนวทางแก้ปัญหาและออกแบบอุปกรณ์เสริม

จากการวิเคราะห์และทดสอบเพื่อหาที่มาของปัญหาสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัวนั้น พบว่าสาย Optical Drop Cable มีค่า Friction น้อยกว่าสาย Optical Cable อย่างชัดเจน คณะทำงานฯ จึงกำหนดแนวทางแก้ปัญหาสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว ต้องรองรับสายที่ติดตั้งใช้งานไปแล้วและสายที่จะติดตั้งใหม่ และต้นทุนในการแก้ปัญหาต้องไม่สูงมาก ดังนี้

- 1) เพิ่มค่า Friction ของสาย Optical Drop Cable
 - เพิ่มความหนืดของ Thixotropic Compound
 - วิธีติดตั้งสายที่สามารถเพิ่มค่า Friction ของเส้น Fiber ใน Loose Tube
 - Lock เส้น Fiber ติดกับ Loose Tube ไม่ให้เคลื่อนตัว
- 2) ออกแบบถาดรองรับเส้น Fiber ใหม่ให้เส้น Fiber เคลื่อนตัวในถาดได้
- 3) ออกแบบสาย Optical Drop Cable ใหม่

4.1 เพิ่มค่า Friction ของสาย Optical Drop Cable

4.1.1 เพิ่มความหนืดของ Thixotropic Compound

การปรับค่าความหนืดของ Thixotropic Compound หรือ Compound เพิ่มขึ้น จากการหารือกับผู้ผลิต Fiber Optic จำนวน 3 บริษัท¹ ได้รับคำแนะนำว่าขบวนการผลิตต้อง Setup เครื่องจักรใหม่ และความหนืดของ Compound ที่เพิ่มขึ้นอาจสร้างปัญหา Micro bending Loss ของเส้น Fiber เมื่อโค้งงอ ราคา Compound ต้องปรับเพิ่มเพราะต้องผสมสูตรใหม่ขึ้นมาเฉพาะ ส่งผลให้ราคาสาย Optical Drop Cable เพิ่มขึ้นตาม อีกเหตุผลหนึ่งคือ Optical Cable ใช้ Compound แบบเดียวกับ Optical Drop Cable ถ้าค่าความหนืดของ Compound เหมือนกัน ผู้ผลิตสามารถลดต้นทุนส่วนที่ต้อง Setup เครื่องจักรใหม่ลงได้ โดยสรุปในการแก้ปัญหาสาย Optical Drop Cable เส้น Fiber เคลื่อนตัวจะไม่มี การปรับค่าความหนืดของ Compound

¹ บริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) , บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) และ บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด(TFO)

4.1.2 วิธีติดตั้งสายที่สามารถเพิ่มค่า Friction

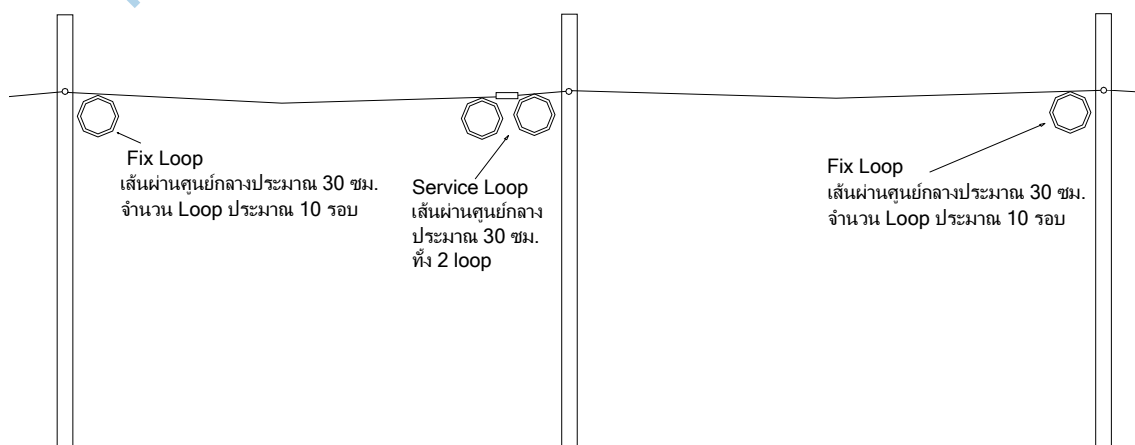
วิธีเพิ่มค่า Friction ของเส้น Fiber ใน Loose Tube แบ่งเป็นสาย Optical Drop Cable ที่ติดตั้งใช้งานไปแล้วและสายที่จะติดตั้งใหม่ จากผลการสำรวจและเก็บข้อมูลพบว่า Route ที่แขวนสายทิ้งไว้ก่อนตัดต่อ (Fusion) พบเส้น Fiber เคลื่อนตัวน้อยกว่า Route ที่แขวนสายแล้วตัดต่อ (Fusion) ในวันเดียว และถ้า Route นั้น ๆ มีจำนวน Fix Loop ถี่มาก อัตราการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber จะน้อยตามจำนวน Fix Loop หรือเส้น Fiber ไม่มีการเคลื่อนตัวเลย สอดคล้องกับผลทดสอบ Vibration สาย Optical Drop Cable มีจุดอิมตัวหลังจากทดสอบ 3 วัน และเมื่อ Loop สายค่า Friction จะมากกว่าสายแนวตรง ทั้งนี้การเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ไม่ขึ้นกับความยาวสายแต่ละช่วง

Service Loop ก่อนถึงหัวต่อ ข้อมูลจากการสำรวจและผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่าการคลี่ Service Loop เข้าออกเพื่อซ่อมบำรุง พบเส้น Fiber เคลื่อนตัว เข้า-ออก จาก Loose Tube ในหัวต่อ โดย

- 1) เมื่อคลี่ Service Loop เส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube และ
- 2) เมื่อม้วน Service Loop กลับ เส้น Fiber เคลื่อนตัวออกจาก Loose Tube

หมายถึงในการซ่อมบำรุงการ "คลี่-ม้วน" Service Loop เส้น Fiber ในหัวต่อมีการเคลื่อนตัวตามเล็กน้อย

Fix Loop สายก่อนถึงหัวต่อก่อนหนึ่งช่วงเสาะ ช่วยเพิ่มค่า Friction ของสายให้ดีขึ้นกว่าการแขวนสายแนวตรง ผลการทดสอบจำนวน Loop ที่เหมาะสมที่สุดประมาณ 10 รอบ เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตรตามภาพประกอบที่ 4.1



ภาพประกอบที่ 4.1 การแขวนสาย Optical Drop Cable และจุด Loop ต่างๆ

ดังนั้นสายที่ติดตั้งใหม่ในการเพิ่มค่า Friction ของเส้น Fiber ใน Loose Tube ปฏิบัติดังนี้

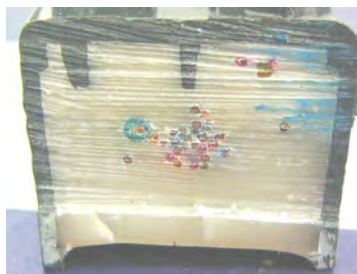
- 1) ในการแขวนสาย Optical Drop Cable ให้ Fix Loop ทุกระยะ 1,000 เมตร กรณีสายยาวน้อยกว่า 1,000 เมตร ให้ Fix Loop ตรงกลางอย่างน้อย 1 จุด
- 2) แต่ละ Fix Loop ให้ Loop 10 รอบ เส้นผ่านศูนย์กลาง Loop ประมาณ 30 เซนติเมตร
- 3) หลังจากแขวนสายเรียบร้อยแล้วให้เปิด Cab หัวทำยออก และแขวนสายทิ้งไว้อย่างน้อย 3 วัน (ยิ่งนานยิ่งดี) ก่อนการตัดต่อ (Fusion)
- 4) ก่อนถึงหัวต่อให้ Fix Loop ก่อนหนึ่งช่วงเสาทั้งสองด้าน ตามภาพประกอบที่ 4.1
- 5) Service Loop ที่หัวต่อ Loop ตามปกติ จำนวนรอบของ Loop Service ที่เหมาะสม เส้นผ่านศูนย์กลาง Loop ประมาณ 30 เซนติเมตร ความยาวสายใน Loop ประมาณ 15-25 เมตร หรือประมาณ 15 - 25 รอบ
- 6) นำถาดรองรับเส้น Fiber (ข้อ 4.2) ซึ่งออกแบบให้มีการเผื่อระยะให้ เส้น Fiber สามารถเคลื่อนตัวเข้าหรือออกได้ในระดับหนึ่งมาใช้งาน

สายที่ติดตั้งใช้งานไปแล้วสามารถปฏิบัติดังนี้

- 1) Route ที่มีปัญหาให้ปรับปรุงและเปลี่ยนถาดรองรับ เส้น Fiber ใหม่ (ข้อ 4.2 ซึ่งออกแบบให้มีการเผื่อระยะให้ เส้น Fiber สามารถเคลื่อนตัวเข้าหรือออกได้ในระดับหนึ่ง
- 2) Route ที่ยังไม่เจอปัญหา Loss เกิดขึ้น ทดลองปรับปรุงเปลี่ยนถาดรองรับเส้น Fiber ใหม่
- 3) Route ใดมี Service Loop เผื่อไว้ใน Loop ยาวพอ ให้ทำ Fix Loop ก่อนถึงหัวต่อหนึ่งช่วงเสาทั้งสองด้าน ตามภาพประกอบที่ 4.1 (กรณีสายใน Service Loop ยาวมากพอ)

4.1.3 Lock เส้น Fiber ติดกับ Loose Tube

ปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวจาก Loose Tube ในหัวต่อ ถ้ามีเทคนิคหรือวิธีการใด ๆ ที่สามารถ Lock เส้น Fiber ให้ยึดติดกับ Loose Tube ได้ ตัวอย่างตามภาพประกอบที่ 4.2 เป็นวิธี Lock สายด้วยสารเคมีของ Stub Terminal ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมได้ โดยวัสดุที่นำมา Lock เส้น Fiber ต้องไม่มีผลให้เส้น Fiber ชำรุดเสียหายหรือมี Loss เกิดขึ้น

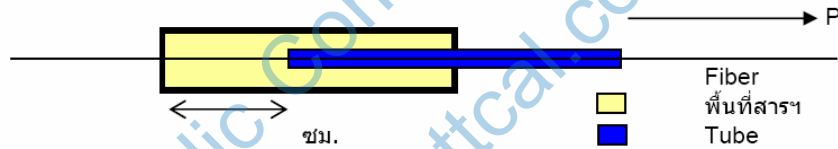


ภาพประกอบที่ 4.2 วิธี Lock สายของ Copper Cable ด้วยสารเคมีของ Stub Terminal

คณะทำงานฯ ศึกษาสารเคมีหลายชนิดตามภาพประกอบที่ 4.3 พบว่าสารซิลิโคนและสาร SISTA มีความเคลื่อนไหวเหมาะสมที่สุด เหมาะสำหรับเพิ่มค่า Friction ของเส้น Fiber เมื่อ Set ตัวเต็มที่สารซิลิโคนสามารถให้เส้น Fiber เคลื่อนตัวได้กรณีมีแรงดึง (Tensile) สารซิลิโคนสามารถป้องกันปัญหาเส้น Fiber รังคังจนขาดได้



ภาพประกอบที่ 4.3 สารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่นำมาทดสอบคุณสมบัติ



ภาพประกอบที่ 4.4 รูปแบบ Lock เส้น Fiber กับ Loose Tube ด้วยซิลิโคน

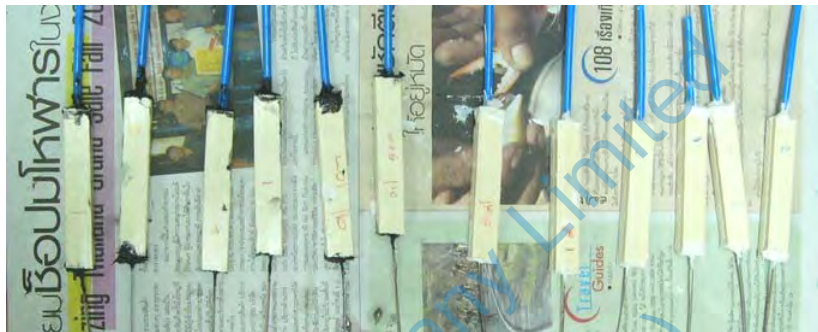
แนวคิดในการ Lock เส้น Fiber ให้ยึดติดกับ Loose Tube ตามภาพประกอบที่ 4.4 โดยตั้งสมมุติฐานว่าหากสามารถออกแบบอุปกรณ์ใดๆ Lock เส้น Fiber กับ Loose Tube ได้ก็จะช่วยให้เส้น Fiber ไม่เคลื่อนตัว เข้า-ออก จาก Loose Tube

ทดสอบการเกาะยึดของซิลิโคนและสาร SISTA กับเส้น Fiber ด้วยเครื่อง Tensile² เพื่อประเมินประสิทธิภาพการเกาะยึดของซิลิโคนและสาร SISTA กับ เส้น Fiber โดยเตรียมสารซิลิโคนและสาร SISTA เพื่อทดสอบการเกาะยึดของซิลิโคนกับเส้น Fiber ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงตามภาพประกอบที่ 4.5 และ 4.6

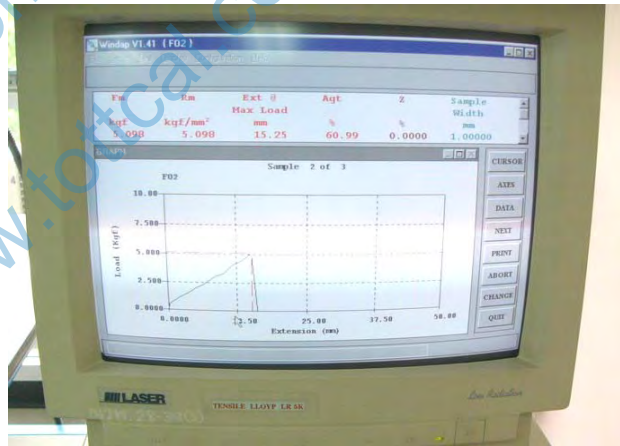
² เครื่อง Tensile ยี่ห้อ LLOYD รุ่น LR 5K



ภาพประกอบที่ 4.5 เตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบการเกาะยึดของซิลิโคนและสาร SISTA กับเส้น Fiber



ภาพประกอบที่ 4.6 ตัวอย่างทดสอบการเกาะยึดของซิลิโคนและสาร SISTA กับเส้น Fiber



ภาพประกอบที่ 4.7 ทดสอบการเกาะยึดของซิลิโคนและสาร SISTA กับ เส้น Fiber

การต้านทานแรงดึงของสารทั้งสองต้องไม่ทำให้เส้น Fiber ได้รับความเสียหาย ผลการทดสอบเส้น Fiber รับแรงดึงประมาณ 2 kgf. การเคลื่อนตัว เข้า-ออก ของเส้น Fiber แต่ละ Core อาจไม่พร้อมกัน

ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยการต้านแรงดึง 1) สารซิลิโคนต้านทานแรงดึงเฉลี่ยได้ที่ 0.93 kgf. และ 2) สาร SISTA ต้านทานแรงดึงเฉลี่ยได้ที่ 0.044 kgf. (เส้น Fiber รับแรงดึงประมาณ 2 kgf.)

ตารางที่ 4.1 ค่าการจับยึด (Friction) ระหว่างเส้น Fiber กับสารซิลิโคนและ SISTA

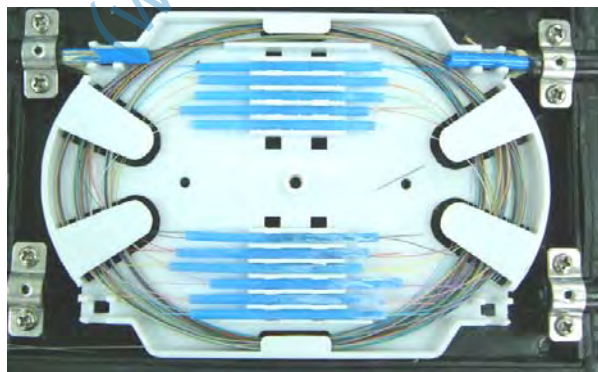
ตัวอย่างที่	ซิลิโคน (kgf)	SISTA (kgf)
1	0.70	0.05
2	1.17	0.05
3	1.01	0.04
4	1.17	0.06
5	0.61	0.02
เฉลี่ย	0.93	0.04

คุณสมบัติด้านแรงดึงของสารทั้งสองชนิดมีข้อจำกัด กรณีเส้น Fiber เคลื่อนตัวมากกว่าเส้น Fiber ที่ผูกไว้ในหัวต่อ เส้น Fiber ยังมีปัญหาโค้งงอเกิด Bending Loss หรือเส้น Fiber เคลื่อนตัวจนขาด อีกทั้งขั้นตอนในการเตรียมและติดตั้งสารไม่สะดวก โดยสรุปวิธีนี้ไม่เหมาะสม

4.2 ออกแบบภาดรองรับเส้น Fiber

4.2.1 ภาดรองรับเส้น Fiber แบบไม่มีสันวงกลม

ปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัว เกิด Bending Loss ในเส้น Fiber พบว่าสาเหตุหนึ่งมาจากภาดรองรับเส้น Fiber ที่ใช้งาน ออกแบบสำหรับเก็บเส้น Fiber และหลอด Protective Sleeve ให้เป็นระเบียบเท่านั้น ไม่สามารถรองรับเส้น Fiber เคลื่อนตัวได้ตามภาพประกอบที่ 4.8 ดังนั้นถ้าปรับปรุงภาดรองรับเส้น Fiber ใหม่ให้เส้น Fiber ในภาดรเคลื่อนตัวอย่าง เข้า-ออก ได้อย่างอิสระ ปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวจนเกิด Bending Loss น่าจะลดลง



ภาพประกอบที่ 4.8 รูปแบบภาดรองรับเส้น Fiber ที่ใช้งาน

จำลองสภาวะเส้น Fiber เคลื่อนตัวทั้งสองด้าน เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ในหัวต่อ ผลการทดสอบพบว่าภาดรองรับเส้น Fiber ไม่สามารถรองรับเส้น Fiber เคลื่อน

ตัวได้ตามข้อสันนิฐาน เมื่อทดลองดึงเส้น Fiber ที่วางในถาดรองรับ เส้น Fiber จะลื่นออกจากถาด และโค้งงอในทิศทางไม่แน่นอนตามภาพประกอบที่ 4.9



ภาพประกอบที่ 4.9 จำลองเส้น Fiber เคลื่อนตัวในถาดรองรับเส้น Fiber ในทิศทางต่าง ๆ

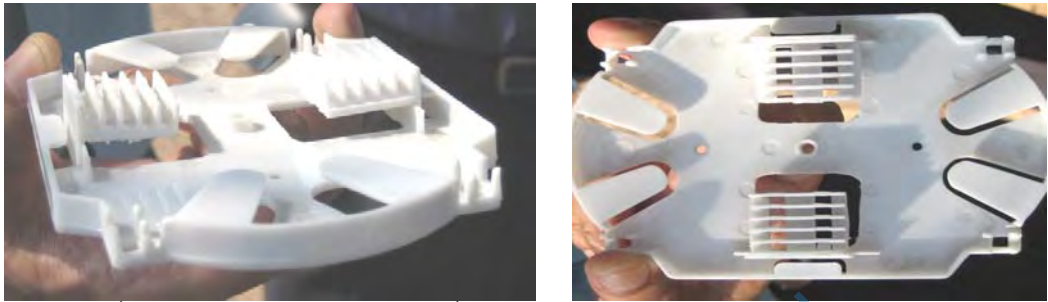
จำลองสภาวะเส้น Fiber เคลื่อนตัวในตัวในถาดรองรับเส้น Fiber ต้นแบบรูปทรงกลมซึ่งดัดแปลงมาจากกล่องใส่ CD ROM ผลการทดสอบไม่แตกต่างกับถาดรองรับที่ใช้งานอยู่ กล่าวคือเมื่อทดลองดึงเส้น Fiber ที่วางในถาดรองรับเส้น Fiber จะลื่นออกจากถาด และโค้งงอในทิศทางไม่แน่นอนตามภาพประกอบที่ 4.10 แต่เมื่อทดสอบดึงเส้น Fiber เข้าใน Loose Tube ถาดต้นแบบรูปทรงกลมสามารถรองรับการการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ในถาดได้ตามความยาวเส้น Fiber ที่เผื่อไว้ในถาด



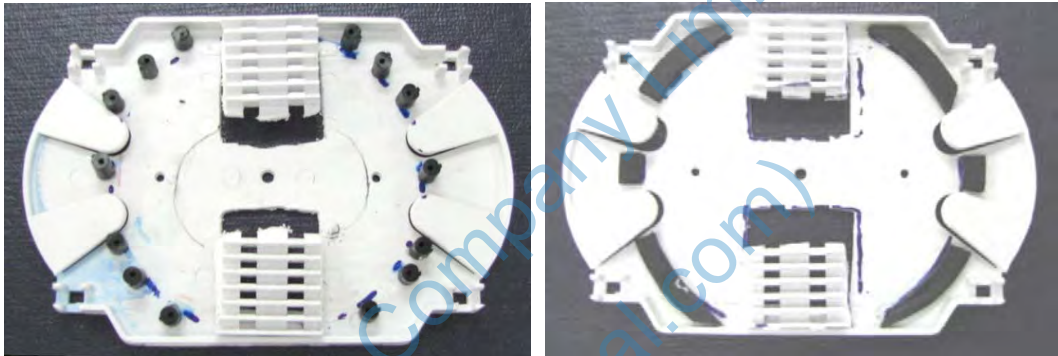
ภาพประกอบที่ 4.10 จำลองเส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อต้นแบบที่ถาดรองรับเส้น Fiber ทรงกลม

จากต้นแบบจากจังหวัดกาญจนบุรีที่ดัดแปลงถาดรองรับเส้น Fiber เดิม มาตัดส่วนที่วางหลอด Protective Sleeve ออกเพื่อให้เส้น Fiber ในถาดสามารถเคลื่อนตัวอย่างอิสระ แล้วนำส่วนที่วางหลอด Protective Sleeve ซึ่งตัดออกมาจากถาด นำมายึดกับด้านข้างของถาดด้วยกาวตามภาพประกอบที่ 4.11 ร่วมกับผลการทดสอบ เส้น Fiber เคลื่อนตัวในถาดทรงกลมที่ผ่านมา คณะ

ทำงานฯ จึงได้ออกแบบภาตรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ 2 รูปแบบ 1) ภาตรองรับเส้น Fiber ทรงกลม ขอบต่อเนื่องและ 2) ภาตรองรับเส้น Fiber รูปสลักกลม ตามภาพประกอบที่ 4.12 และ 4.13



ภาพประกอบที่ 4.11 ภาตรองรับเส้น Fiber ที่ปรับปรุงใหม่โดยจังหวัดกาญจนบุรี

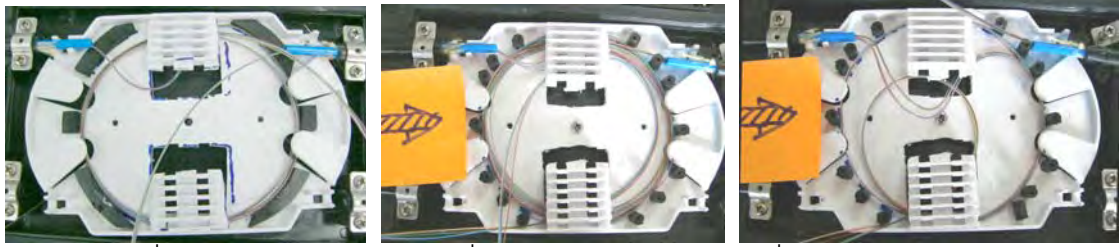


ภาพประกอบที่ 4.12 ภาตรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ ทรงกลมที่ดัดแปลงจากภาตที่ใช้งานเดิม



ภาพประกอบที่ 4.13 ภาตรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ ทรงกลมขอบต่อเนื่องและขอบแบบสลักกลม

จากสมมุติฐานเส้น Fiber เคลื่อนตัวในภาต เป็นปรากฏการณ์ที่เส้น Fiber ที่สอดสำรองไว้ในภาต 1-2 รอบเกิดการเคลื่อนตัว เนื่องจากมีแรงเค้นของเส้น Fiber ให้เคลื่อนออกจาก Loose Tube ทำให้องค์เส้น Fiber ที่สอดไว้ขยายตัวเพิ่มขึ้น เกิดการขดอยู่ในภาตอย่างไม่มีทิศทาง หากโค้งงอมาก ทำให้เกิด Loss เพื่อพิสูจน์ข้อสมมุติฐานคณะทำงานฯ ได้จำลองสภาวะเส้น Fiber เคลื่อนตัวในภาตทรงกลมต่อเนื่องและขอบสลักกลม โดยสรุปผลการทดสอบไม่แตกต่างกับต้นภาตรองรับที่ทดสอบผ่านตามภาพประกอบที่ 4.14 และลักษณะขอบด้านข้างภาต (ต่อเนื่องและสลักกลม) มีผลต่อ Friction ระหว่างขอบกับเส้น Fiber น้อยมาก



ภาพประกอบที่ 4.14 จำลองเส้น Fiber เคลื่อนตัวในสภาพทรงกลมต่อเนื่องและขอบสลักกลม

จากสมมุติฐานเส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube เส้น Fiber ที่ขดสำรองไว้ใน ภาย วงเส้น Fiber ที่ขดในภายจะเล็กลงอย่างมีทิศทาง โดยจะเริ่มจากวงแรกมาวงที่สองและวงถัดไป คณะทำงานฯ จำลองสภาวะเส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube ด้วยถาดรองรับ Fiber ต้นแบบ ผลการทดสอบเมื่อเส้น Fiber ที่ขดสำรองเริ่มเคลื่อนจากวงแรกไปวงที่สอง และวงถัดไป จาก ถาดต้นแบบที่ไม่มีแกนกลางควบคุม Loop เมื่อมีแรงดึงถึงระดับหนึ่ง ทำให้เส้น Fiber ขดเป็นวงเล็ก กว่า 30 มิลลิเมตร น้อยกว่าค่าที่ระบุในข้อกำหนด Optical Drop Cable [7] เกิด Bending Loss ตาม ภาพประกอบที่ 4.15

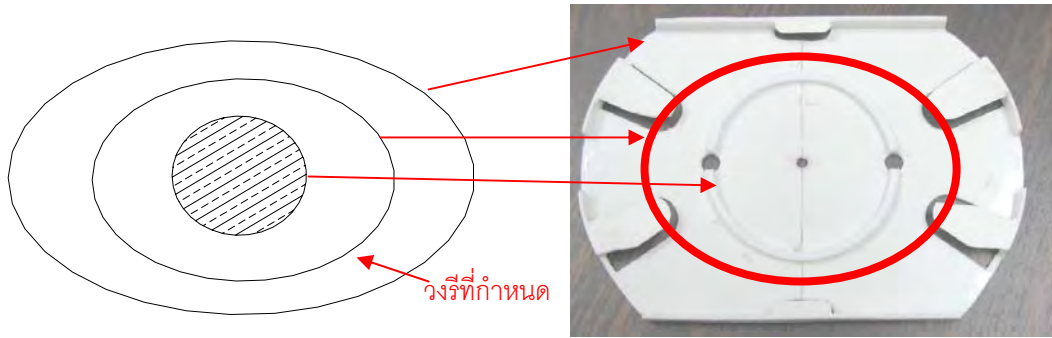


ภาพประกอบที่ 4.15 เส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube ในภายที่ไม่มีส้นวงกลมแกนกลาง

4.2.2 ถาดรองรับเส้น Fiber แบบมีส้นวงกลม

ตามข้อกำหนด Optical Drop Cable[7] 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. ดังนั้นกรณีเส้น Fiber เคลื่อนตัว ส้นวงกลมในถาดรองรับเส้น Fiber ต้อง ออกแบบให้มีรัศมีไม่น้อยกว่า 30 มิลลิเมตร สามารถคำนวณความยาวเส้น Fiber หรือเส้นรอบวงจาก สมการ

$$\text{เมื่อ } r = 30\text{mm.} : \quad 2\pi r = 2\pi \frac{22}{7} \times 30 = 189 \quad \text{มิลลิเมตร}$$



ภาพประกอบที่ 4.16 แนวคิดถาดรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ ที่มีเส้นวงกลมและวงรีที่กำหนด

ถาดรองรับเส้น Fiber กำหนดให้เส้น Fiber ขดเป็นวงกลมตามเส้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร ($r = 30mm.$) และวงรีกึ่งกลางกำหนดรัศมี 45 มิลลิเมตร ตามภาพประกอบที่ 4.16 คำนวณเส้นรอบวงได้จากสมการ

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

ดังนั้นจำนวนความยาวที่เพื่อการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ($r = 45mm.$)

ใน 1 รอบ ความยาวที่ขดเพื่อการเคลื่อนตัวของเส้น	=	283 - 189	=	95	มิลลิเมตร
ใน 2 รอบ ความยาวที่ขดเพื่อการเคลื่อนตัวของเส้น	=	95 X 2	=	190	มิลลิเมตร
ใน 3 รอบ ความยาวที่ขดเพื่อการเคลื่อนตัวของเส้น	=	95 X 2	=	285	มิลลิเมตร
ใน N รอบ ความยาวที่ขดเพื่อการเคลื่อนตัวของเส้น	=	95 X N	=	95N	มิลลิเมตร

กรณีเส้น Fiber เคลื่อนตัวล้นเข้ามาในถาดรองรับ Fiber ต้องควบคุมให้ Fiber อยู่ในขอบถาดวงรีที่กำหนดรัศมี 45 มิลลิเมตร ตามภาพประกอบที่ 4.16 คำนวณได้จากสมการ

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

เมื่อ L = ระยะที่เส้น Fiber เคลื่อนตัวจากวงรีที่กำหนดไปหาขอบถาดแต่ละด้าน

ดังนั้นจำนวนความยาวที่เพื่อการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ($r = 45mm.$)

ใน 1 รอบ ความยาวที่ขดเพื่อการเคลื่อนตัวของเส้น	=	363 - 283	=	80	มิลลิเมตร
ใน 2 รอบ ความยาวที่ขดเพื่อการเคลื่อนตัวของเส้น	=	80 X 2	=	160	มิลลิเมตร
ใน 3 รอบ ความยาวที่ขดเพื่อการเคลื่อนตัวของเส้น	=	80 X 2	=	240	มิลลิเมตร
ใน N รอบ ความยาวที่ขดเพื่อการเคลื่อนตัวของเส้น	=	80 X N	=	80N	มิลลิเมตร

การเผื่อสายสำหรับป้องกันการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ขึ้นอยู่กับรัศมีของวงกลม ถ้าลดจาก 45 มิลลิเมตร การป้องกันสาย Fiber เคลื่อนตัวออกจากหัวต่อจะลดลง แต่การป้องกันสายเคลื่อนตัวเข้ามาในหัวต่อจะเพิ่มขึ้น ข้อมูลจากผลการสำรวจพบปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวเข้ามาในหัวต่อมากกว่าเคลื่อนออก

การเตรียมสายสำหรับตัดต่อเส้น Fiber จากการคำนวณเพื่อความยาวสายที่ผ่านมา คำนวณจากสมมติฐานเส้น Fiber เส้นเดียว แต่การใช้งานจริง จำนวนเส้น Fiber สูงสุด 12 Core ผลการทดสอบ เมื่อจำนวนเส้น Fiber มีจำนวนมากต้องเผื่อความยาวเส้น Fiber ขณะตัดต่อ (Fusion) ให้ยาวกว่าจำนวนเส้น Fiber อย่างน้อย ดังนี้

จำนวนเส้น Fiber 1-6 Core ($r = 45mm.$)

วน 1 รอบ	ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	$= 283 + 45$	$= 328$	มิลลิเมตร
วน 2 รอบ	ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	$= 328 + 283$	$= 611$	มิลลิเมตร
วน 3 รอบ	ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	$= 328 + (283 \times 2)$	$= 894$	มิลลิเมตร
วน N รอบ	ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	$= [328 + (283 \times (N - 1))]$		มิลลิเมตร

จำนวนเส้น Fiber 7-12 Core ($r = 45mm.$)

วน 1.5 รอบ	ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	$= 283 + 45 + 141$	$= 469$	มิลลิเมตร
วน 1+1.5 รอบ	ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	$= 469 + 283$	$= 752$	มิลลิเมตร
วน 2+1.5 รอบ	ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	$= 469 + (283 \times 2)$	$= 1,035$	มิลลิเมตร
วน N+1.5 รอบ	ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	$= [469 + (283 \times N)]$		มิลลิเมตร

การจะวนเส้น Fiber ที่รอบขึ้นอยู่กับจำนวนเส้น Fiber ของสาย Optical Drop Cable เพื่อให้เส้น Fiber ขยับตัวได้สะดวก เส้น Fiber 6 เส้น ลงมาควรววนเส้น Fiber ประมาณ 3 รอบ และเส้น Fiber 7 เส้นขึ้นไปควรววนเส้น Fiber ประมาณ 2 รอบ (เส้น Fiber 7-12 Core วน 2.5 รอบ เนื่องจากครึ่งรอบเผื่อในการวาง Protective Sleeve ใน Slot)

จำนวนความยาวที่เผื่อการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber ($r = 40mm.$)

ใน 1 รอบ	ความยาวที่ขดเผื่อการเคลื่อนตัวของ	$= 251 - 189$	$= 62$	มิลลิเมตร
ใน 2 รอบ	ความยาวที่ขดเผื่อการเคลื่อนตัวของ	$= 62 \times 2$	$= 124$	มิลลิเมตร
ใน 3 รอบ	ความยาวที่ขดเผื่อการเคลื่อนตัวของ	$= 62 \times 2$	$= 186$	มิลลิเมตร
ใน N รอบ	ความยาวที่ขดเผื่อการเคลื่อนตัวของ	$= 62 \times N$	$= 62N$	มิลลิเมตร

จำนวนความยาวที่เผื่อการเคลื่อนล้นตัวของเส้น Fiber ($r = 40mm.$)

ใน 1 รอบ ความยาวที่ขดเผื่อการเคลื่อนล้นตัว	= 363 - 251	= 112	มิลลิเมตร
ใน 2 รอบ ความยาวที่ขดเผื่อการเคลื่อนล้นตัว	= 112 X 2	= 224	มิลลิเมตร
ใน 3 รอบ ความยาวที่ขดเผื่อการเคลื่อนล้นตัว	= 112 X 2	= 336	มิลลิเมตร
ใน N รอบ ความยาวที่ขดเผื่อการเคลื่อนล้นตัว	= 112 X N	= 112N	มิลลิเมตร

จำนวนเส้น Fiber 1-6 Core ($r = 40mm.$)

วน 1 รอบ ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	= 251 + 45	= 296	มิลลิเมตร
วน 2 รอบ ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	= 296 + 251	= 547	มิลลิเมตร
วน 3 รอบ ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	= 296 + (251X2)	= 798	มิลลิเมตร
วน N รอบ ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	= [296+(251X(N-1))]		มิลลิเมตร

จำนวนเส้น Fiber 7-12 Core ($r = 40mm.$)

วน 1.5 รอบ ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	= 251 + 45 + 125	= 421	มิลลิเมตร
วน 1+1.5 รอบ ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	= 421 + 251	= 672	มิลลิเมตร
วน 2+1.5 รอบ ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	= 421 + (251X2)	= 923	มิลลิเมตร
วน N+1.5 รอบ ต้องเผื่อเส้น Fiber ก่อนตัดต่อยาว	= [421+(251XN)]		มิลลิเมตร

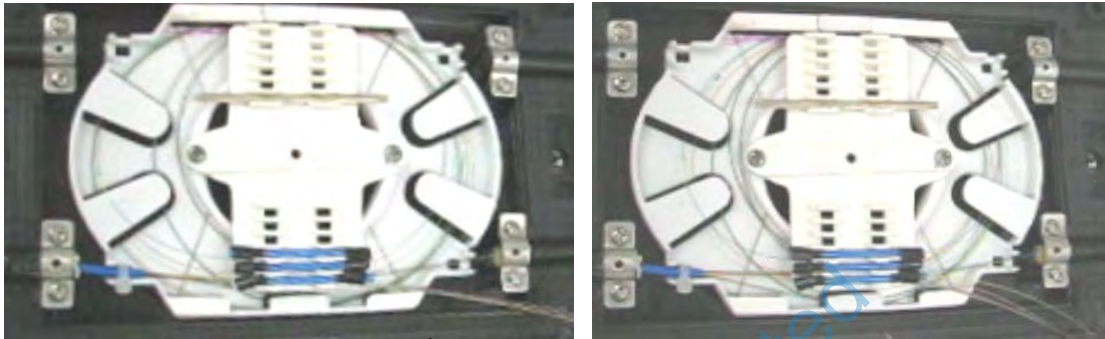
จากแนวคิดการรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ ที่มีสัณฐานวงกลมและวงรีที่กำหนดและจากการคำนวณข้างต้น คณะทำงานฯ ได้ออกแบบอาคารรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ 2 รูปแบบ 1) แบบที่สัณฐานวงกลมต่อเนื่องและ 2) แบบที่สัณฐานวงกลมไม่ต่อเนื่อง โดยกำหนดตำแหน่งที่จะวางเส้น Fiber บริเวณจุดกึ่งกลางระหว่างสัณฐานวงกลมกับขอบของอาคารตำแหน่งแนวเส้นที่ Mark ตามภาพประกอบที่ 4.17



ภาพประกอบที่ 4.17 อาคารรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ ที่มีสัณฐานวงกลมและวงรีที่กำหนด

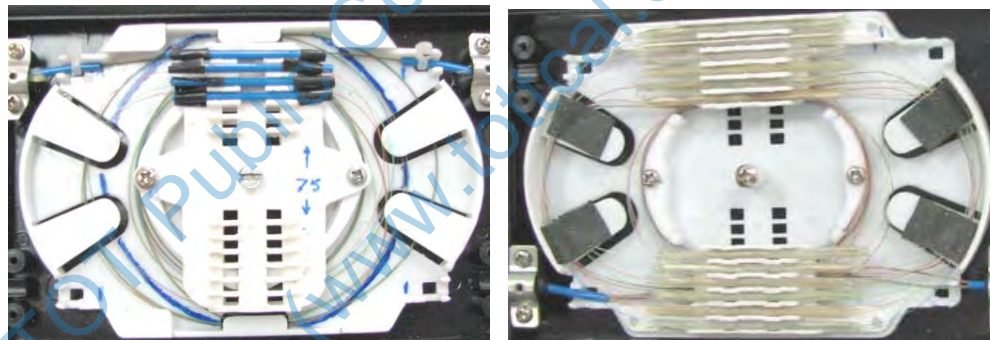
จำลองสภาวะเส้น Fiber เคลื่อนตัวในอาคารรองรับเส้น Fiber ที่มีสัณฐานวงกลมและวงรีที่กำหนด ผลการทดสอบอาคารต้นแบบ เส้น Fiber สามารถเคลื่อนตัวใกล้เคียงผลคำนวณ จำลองสภาวะ

เส้น Fiber เคลื่อนรั้งตัวเข้าไปใน Loose Tube เส้น Fiber ที่ขีดลํารองเริ่มเคลื่อนจากวงแรกไปวงที่สอง และวงถัดไป โดยมีสันแกนกลางควบคุม Loop รัศมีต่ำสุด 30 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับค่าที่ระบุใน ข้อกำหนด [7] ตามภาพประกอบที่ 4.18



ภาพประกอบที่ 4.18 จำลองเส้น Fiber รั้งเคลื่อนตัวเข้าไปใน Loose Tube ในกรณีที่มียวงควบคุม Loop

ภาตรองรับเส้น Fiber ต้นแบบที่ออกแบบไว้ 2 รูปแบบ คือแบบที่สันวงกลมต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องที่จะนำมาทดแทนภาตเดิม ออกแบบให้เส้น Fiber สามารถเคลื่อนตัวอย่างอิสระโดยมีสันวงกลมด้านในป้องกัน Bending Loss ตามภาพประกอบที่ 4.19 ผลการทดสอบภาตทั้งสองแบบสามารถรองรับการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber โกล้เคียงกัน

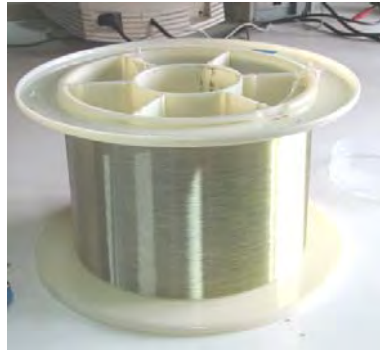


ภาพประกอบที่ 4.19 ภาตรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ 2 รูปแบบ

ทดสอบค่า Loss ของเส้น Fiber ที่โค้งงอตามขอบสันวงกลมของภาต ว่ามี Bending Loss³ หรือ โดยใช้ Bare Fiber แทนเส้น Fiber ตามภาพประกอบที่ 4.20 เพื่อควบคุมแรงดึง⁴ (Tensile) ทุกตัวอย่างทดสอบให้มีมาตรฐานเดียวกัน จึงใช้เครื่องวัดค่าแรงดึงขนาดเล็กควบคุมความตึงของ Bare Fiber จำนวนรอบทดสอบ 1-10 รอบตามภาพประกอบที่ 4.21

³ EXFO Optic tests IQ-203 Sampling Rate 5.0/sec วัดค่าได้ต่ำสุด -80 dB. ที่ความยาวคลื่น 1550 nm

⁴ Mark-10 Model EG2 Series EG # 45607 Made in USA



ภาพประกอบที่ 4.20 Bare Fiber ที่ทดสอบค่า Bending Loss ของภาคต้นแบบ



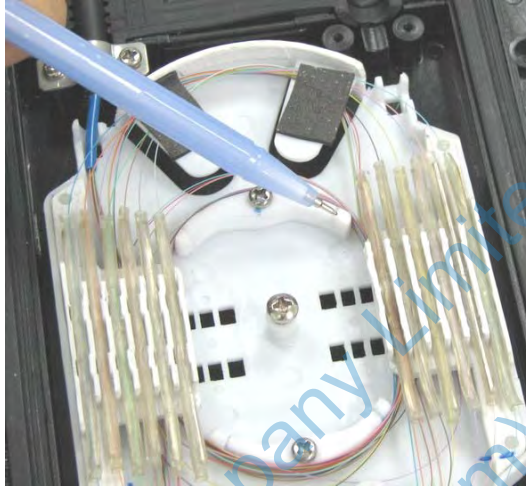
ภาพประกอบที่ 4.21 ทดสอบ Bending Loss ภาคต้นแบบ

ตารางที่ 4.2 Bending Loss ภาคต้นแบบที่มีสัณวงกลมแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

รอบ	ภาค ไม่			รอบ	ภาค ไม่			รอบ	ภาค ไม่		
	แรงดึง	ต่อเนื่อง	ต่อเนื่อง		แรงดึง	ต่อเนื่อง	ต่อเนื่อง		แรงดึง	ต่อเนื่อง	ต่อเนื่อง
1	0.5	0.0	-16.0	4	0.5	0.0	-25.0	7	0.5	0.0	--
	1.0	0.0	--		0.6	0.0	--		2.0	-2.4	--
	2.0	-1.8	--		2.0	-2.1	--	8	0.5	0.0	--
2	0.5	0.0	-17.0	5	0.5	0.0	-46.0		2.0	-2.2	--
	1.1	0.0	--		0.5	0.0	--	9	0.5	0.0	--
	2.0	-2.2	--		2.0	-2.0	--		2.0	-2.6	--
3	0.5	0.0	-22.0	6	0.5	0.0	-63.0	10	0.5	0.0	--
	0.6	0.0	--		0.5	0.0	--		2.0	-2.4	--
	2.0	-2.1	--		2.0	-2.3	--				
unit	N.	dB.		unit	N.	dB.		unit	N.	dB.	

หมายเหตุ ค่า Loss ของภาคไม่ต่อเนื่องที่แสดง "--" หมายถึงค่าน้อยกว่า -80 dB

ผลทดสอบค่า Bending Loss ถาดต้นแบบที่มีเส้นวงกลมแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ตามตารางที่ 4.2 พบว่าถาดต้นแบบที่มีเส้นวงกลมแบบต่อเนื่อง ทดสอบที่แรงดึงต่ำกว่า 2 นิวตัน ไม่มีค่า Loss เกิดใน Bare Fiber ขณะทดสอบ Bare Fiber เริ่มเคลื่อนจากวงแรกไปวงที่สอง และวงถัดไป จนกระทั่งกลุ่ม Bare Fiber แนบกับสันแกนกลางที่ค่าแรงดึงประมาณ 0.6 นิวตัน ทดสอบค่าแรงดึง สูงสุด 2 นิวตัน มี Loss สูงสุด 2.4 dB.



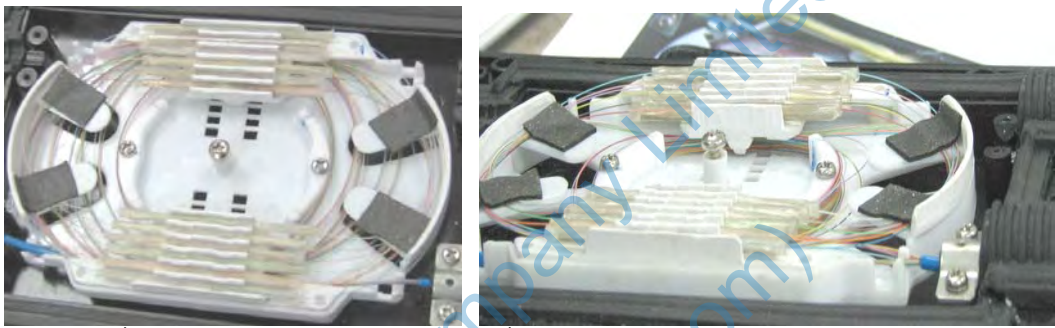
ภาพประกอบที่ 4.22 มุมเส้นวงกลมแบบไม่ต่อเนื่องทำให้เกิด Bending Loss

ถาดต้นแบบที่มีเส้นวงกลมแบบไม่ต่อเนื่อง ดึง Bare Fiber เคลื่อนจากวงแรกไปวงที่สอง และวงถัดไป จนกระทั่งกลุ่ม Bare Fiber เริ่มแนบกับสันแกนกลาง แรงดึงต่ำกว่า 0.5 นิวตันไม่มีค่า Loss เกิดใน Bare Fiber เมื่อออกแรงดึงมากกว่า 0.5 นิวตัน มีค่า Loss ต่ำสุด 16 dB. เมื่อเพิ่มแรงดึง ตามตารางที่ 4.2 ไม่สามารถวัดค่า Loss ได้ เนื่องจากเครื่องมือวัดค่า Loss วัดค่าได้ต่ำสุด -80 dB. จากการวิเคราะห์ถาดต้นแบบที่มีเส้นวงกลมแบบไม่ต่อเนื่องมีมุมสันตามภาพประกอบที่ 4.22 ทำให้ Bare Fiber มีมุมหักเกิด Macro Bending Loss



ภาพประกอบที่ 4.23 คณะทำงานฯ ขอคำแนะนำรูปแบบถาดจากผู้ปฏิบัติงานจังหวัดกาญจนบุรี

คณะทำงานฯ นำถาดรองรับเส้น Fiber ต้นแบบ รูปแบบต่างๆ ไปขอคำแนะนำจากผู้ปฏิบัติงานจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งเป็นเจ้าของแนวคิดปรับปรุงถาดที่ให้เส้น Fiber เคลื่อนตัวได้ตามภาพประกอบที่ 4.23 โดยสรุปผู้ปฏิบัติงานยอมรับถาดต้นแบบได้ทั้ง 2 รูปแบบ แต่เมื่อให้ตัดสินใจเลือกถาดที่คิดว่าเหมาะสมที่สุด เสียงส่วนใหญ่ชอบถาดต้นแบบที่มีสันวงกลมแบบไม่ต่อเนื่องและอยากให้มีร่องเก็บหลอด Protective Sleeve ทิศทางสอดเส้น Fiber จากด้านใน จุดเด่นอีกข้อคือต้นแบบที่มีสันวงกลมแบบไม่ต่อเนื่องมีระยะเส้น Fiber เพื่อได้มากกว่า ประเด็นเรื่องค่า Bending Loss ตามตารางที่ 4.2 ผู้ปฏิบัติงานให้ข้อคิดเห็นว่าถ้าวางแผนในการเผื่อสายไว้มากพอ ปัญหา Bending Loss ไม่น่ากังวล



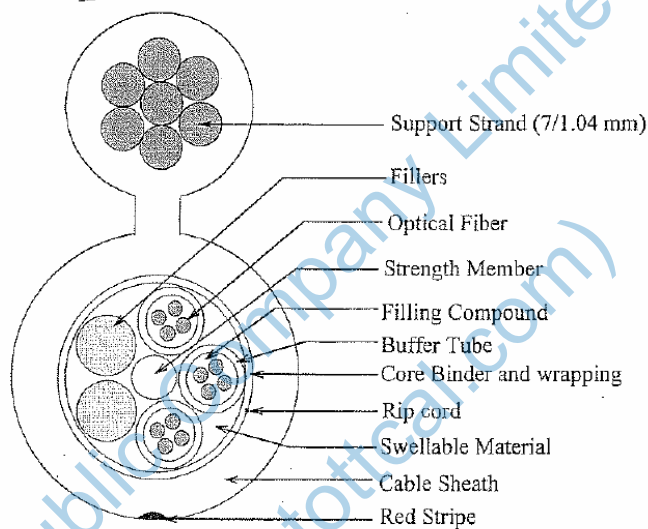
ภาพประกอบที่ 4.24 ถาดรองรับเส้น Fiber ใหม่ที่จะนำมาทดแทนถาดเดิม

โดยสรุปถาดรองรับเส้น Fiber ที่นำมาทดแทนถาดเดิมตามภาพประกอบที่ 4.24 มีสันวงกลมแบบไม่ต่อเนื่อง และแนววางเส้น Fiber กึ่งกลางระหว่างสันวงกลมกับขอบของถาด เบื้องต้นคณะทำงานฯ ต้องรีบจัดทำคู่มือแนะนำวิธีแก้ปัญหาสาย Optical Drop Cable ที่ติดตั้งใช้งานไปแล้ว และที่กำลังจะติดตั้งใหม่โดยรีบด่วน [ภาคผนวก ง.]

ถาดรองรับเส้น Fiber ของเดิมใช้วัสดุโพลีคาร์บอเนต PC (Polycarbonate) ทำให้ Slot สำหรับเก็บ Protective Sleeve ไม่ยืดหยุ่น ซึ่งได้รับคำแนะนำจากจังหวัดเชียงใหม่ควรเปลี่ยนวัสดุใหม่ โดยมอบถาดตัวอย่างที่ใช้งาน ซึ่งผลิตจาก ABS ให้คณะทำงานฯ นำมาทดสอบ ผลการทดสอบถาดตัวอย่างที่ได้รับจากสนาม [ภาคผนวก ข.] คณะทำงานฯ ได้ประสานงานกับหน่วยงานออกข้อกำหนดของ บมจ.ทีโอที เพื่อปรับปรุงข้อกำหนดพร้อมถาดรองรับเส้น Fiber ที่ออกแบบใหม่ต่อไป

4.3 ออกแบบสาย Optical Drop Cable ใหม่

การออกแบบสาย Optical Drop Cable ใหม่ให้คล้ายสาย Optical Cable สามารถทำได้ทันทีโดยออกข้อกำหนด (Spec) สายชนิดใหม่ เป็นการเพิ่มทางเลือกที่เหมาะสมกับจุดที่ติดตั้งใช้งาน เพราะผู้ใช้งานจะเป็นผู้ตัดสินใจเอง ภายใต้เงื่อนไขแนวทางแก้ปัญหาพร้อมกับต้นทุนในการดำเนินงาน ในยุคการแข่งขันเสรี ซึ่ง บมจ.ทีโอที ได้ออกข้อกำหนดใหม่กำหนดชื่อสายชนิดนี้ว่า Optical Fiber cable For Access service หรือ Compact Optical Fiber Cable [8] ตามภาพประกอบที่ 4.25 เพื่อเพิ่มทางเลือกในการใช้งาน



ภาพประกอบที่ 4.25 Cross-Section of Compact Optical Fiber Cable 12 Cores

4.4 สรุป

ปัญหาสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัวแนวทางแก้ปัญหาที่รองรับสายที่ติดตั้งใช้งานไปแล้วและสายที่จะติดตั้งใหม่ ปฏิบัติดังนี้

สาย Optical Drop Cable ติดตั้งใหม่

- 1) ในการแขวนสาย Optical Drop Cable ให้ Fix Loop ทุกระยะ 1,000 เมตร กรณีสายยาวน้อยกว่า 1,000 เมตร ให้ Fix Loop ตรงกลางอย่างน้อย 1 จุด
- 2) แต่ละ Fix Loop ให้ Loop 10 รอบ เส้นผ่านศูนย์กลาง Loop ประมาณ 30 เซนติเมตร
- 3) หลังจากแขวนสายเรียบร้อยแล้วให้เปิด Cap หัวทำายออก และแขวนสายทิ้งไว้อย่างน้อย 3 วัน ก่อนการตัดต่อ (Fusion)

- 4) ก่อนถึงหัวต่อให้ Fix Loop ก่อนหนึ่งช่วงเสาทั้งสองด้าน ตามภาพประกอบที่ 4.1
- 5) Service Loop ที่หัวต่อ Loop ตามปกติ จำนวนรอบของ Loop Service ที่เหมาะสม เส้นผ่านศูนย์กลาง Loop ประมาณ 30 เซนติเมตร ความยาวสายใน Loop ประมาณ 15-25 เมตร หรือประมาณ 15 - 25 รอบ
- 6) นำถาดรองรับเส้น Fiber ซึ่งออกแบบให้มีการเผื่อระยะให้ เส้น Fiber สามารถเคลื่อนตัวเข้าหรือออกได้ในระดับหนึ่งมาใช้งาน

สาย Optical Drop Cable ที่ติดตั้งใช้งานไปแล้ว

- 1) Route ที่มีปัญหาให้ปรับปรุงและเปลี่ยนถาดรองรับ เส้น Fiber ใหม่
- 2) Route ที่ยังไม่เจอปัญหา Loss เกิดขึ้น ทดสอบปรับปรุงเปลี่ยนถาดรองรับเส้น Fiber ใหม่
- 3) Route ใดมี Service Loop เผื่อไว้ใน Loop ยาวพอ ให้ทำ Fix Loop ก่อนถึงหัวต่อหนึ่งช่วงเสาทั้งสองด้าน ตามภาพประกอบที่ 4.1 (กรณีสายใน Service Loop ยาวมากพอ)

หรือเปลี่ยนชนิดสายที่ติดตั้งใหม่เป็น Optical Fiber cable For Access service หรือ Compact Optical Fiber Cable แทน Optical Drop Cable เป็นการเพิ่มทางเลือกที่เหมาะสมกับจุดที่ติดตั้งใช้งาน เพราะผู้ใช้งานจะเป็นผู้ตัดสินใจเอง ภายใต้เงื่อนไขแนวทางแก้ปัญหาพร้อมกับต้นทุนในการดำเนินงานในยุคการแข่งขันเสรี

บทที่ 5. สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

บมจ. ทีโอที จัดซื้อสาย OFC for Access Service หรือ Optical Drop Cable จาก บริษัท สยามไฟเบอร์ จำกัด (SFO) และ บริษัท ฮิตาชิบางกอกเคเบิล จำกัด (HBC) รวมประมาณ 2,200,000 เมตร หลังใช้งานผ่านไปประมาณปีเศษมีปัญหา เส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อ บมจ.ทีโอที จึงแต่งตั้งคณะทำงานฯ หาสาเหตุสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัวขึ้นมา 2 คณะเพื่อหาสาเหตุสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัว

คณะทำงานฯ ร่วมกับบริษัทคู่สัญญาสำรวจปัญหาสาย Drop Cable มีปัญหาเส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อ ทุกจังหวัดที่สำรวจพบปัญหาค่อนข้าง ซึ่งข้อสรุปเบื้องต้น Route ที่แขวนสายทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง แล้วมาตัดต่อ (Fusion) เส้น Fiber ภายหลังร่วมกับ Fix Loop หลาย Loop อัตราการเคลื่อนตัวของเส้น Fiber จะน้อยหรือไม่มีการเคลื่อนตัวเลย โดยอัตราในการเคลื่อนตัวไม่ขึ้นกับความยาวสายที่ใช้งาน (กรณีติดตั้งคล้ายกัน) เพื่อรองรับปัญหาข้างต้น คณะทำงานฯ ร่วมกับ บริษัทฯ ได้ออกแบบถอดรองรับเส้น Fiber ใหม่ที่เพื่อระยะให้เส้น Fiber เคลื่อนตัวในหัวต่อทดแทนภาคเดิม เสริมกับการ Fix Loop สายเพื่อเพิ่มค่า Friction ของสาย Optical Drop Cable

ดังนั้นโดยสรุปปัญหาสาย Optical Drop Cable เคลื่อนตัวมาจากสาย Optical Drop Cable มี Friction น้อยกว่าสาย Optical Cable แนวทางแก้ปัญหาแบ่งเป็น

- 1) สายที่ติดตั้งใช้งานไปแล้วนำถอดรองรับเส้น Fiber ที่ออกแบบใหม่ไปเปลี่ยนแทนภาคเดิม
- 2) สายที่ติดตั้งใหม่ให้แขวนสายทิ้งไว้อย่างน้อย 3 วัน และเพิ่มจำนวน Fix Loop ก่อนถึงหัวต่อที่ช่วงเสาดัดกันประมาณ 10 รอบเส้นผ่านศูนย์กลาง Loop ประมาณ 30 เซนติเมตร ประกอบด้วยนำถอดรองรับเส้น Fiber ที่ออกแบบใหม่ไปใช้งานและ
- 3) ออกแบบสาย Optical Drop Cable ใหม่เพื่อเพิ่มค่า Friction ของเส้น Fiber

5.2 ข้อเสนอแนะ

คณะทำงานฯ ต้องรีบดำเนินงานในส่วนที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 1) กระจายข้อมูล คู่มือแนะนำวิธีแก้ปัญหาสาย Optical Drop Cable ที่ติดตั้งใช้งานไปแล้ว และที่กำลังจะติดตั้งใหม่ต่อผู้เกี่ยวข้องโดยด่วน
- 2) เก็บข้อมูล Route ที่ปฏิบัติตามคำแนะนำว่ามีผลการใช้งานเป็นอย่างไร
- 3) สรุปผลนำเสนอผู้บริหารตามขั้นตอนต่อไป

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)

ภาคผนวก ก.

เก็บข้อมูล สาย Optical Drop Cable ทางโทรศัพท์

สรุปข้อมูล สัมภาษณ์ปัญหาสาย OFC for Access Service เคลื่อนตัว

TOT Public Company Limited
(www.tottd.com)

การเก็บข้อมูลเรื่อง สาย Optical Drop Cable ทางโทรศัพท์

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จ.นครราชสีมา (วันที่ 9 มิ.ย. 2548) คุณเสรี งานสื่อสารข้อมูล Tel. 0-4425-4827;
0-1879-7855

เบิกจากคลังพัสดุ เมื่อวันที่ 01/01/2000 จำนวน 80,050 เมตรขนาด 12 Core (ขนาด 6 core ใช้งานน้อย ไม่พบปัญหา) ใช้หัวต่อ SJP ขนาดกว้าง ยาว เหมาะสม แต่ภายในตื่นเกินไป การจับยึดติดสายใช้ OFC Clamp ระยะทางการแขวนสาย ประมาณ 1, 000 ถึง 30, 000 เมตร พบปัญหาสาย Optical หด-ยืด 2 จุด (บริเวณ อ.เมือง-อ.โนนสูง ทางไป จ.ขอนแก่น)

- 1) จุดที่เกิดจากการเดินสาย Optical ขนาด 12 Core ระยะทาง 28 กม.เมื่อ 1-2 เดือนที่ผ่านมา พบปัญหา เมื่อเปิดหัวต่อ และเปิด Tray พบว่าสาย Optical เกิดการยืด-หดตัวประมาณคืบเศษ (สันนิษฐานว่า อาจเกิดจากการที่ Loop สายเพียง 2-3 วง น้อยเกินไป) ยังไม่ได้แก้ไข
- 2) จุดที่เกิดจากการสาย Optical ขนาด 12 Core ระยะ 30 กม. (ใช้งานประมาณ 1 ปี) พบปัญหาเช่นเดียวกันแต่ยังไม่ได้ทำการแก้ไข เนื่องจากค่ารับส่งสัญญาณยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับ

จ.ชัยภูมิ (วันที่ 9 มิ.ย. 2548) ติดตามข้อมูล จากการโทรสอบถาม คุณมงคล (หัวหน้าตอนนอก) Tel. 0-4482-1910; 0-1967-3723

- 1) เบิกจากคลังพัสดุ เมื่อวันที่ 01/01/2000 จำนวน 26,660 เมตรขนาด 12 Core
- 2) ที่ผ่านมาใช้ขนาด 12 และ 6 Core โดยขนาด 12 Core ใช้ในงานวางโครงข่ายตามเกาะ ระยะทางไกลสุด 12 km. ขนาด 6 และ 4 Core ใช้ในงานของการวางสายให้โรงแรม ใช้ใน ระยะทางระยะสั้น 300 m. ใช้งานตั้งแต่ ปี 2546 การใช้งานของสายทุกประเภทไม่มีปัญหาขนาด 6 และ 4 Core ปัจจุบันที่ใช้งานที่บริษัท ฮิตาชิ 24,000 เมตร ใช้งานประมาณ 1 ปี การใช้งานไม่มีปัญหา
- 3) การจับยึดติดสายในอดีตใช้ Drop wire Clamp ปัจจุบันใช้ OFC Clamp จึงมีการใช้งานแบบ 2 แบบปะปนกัน
- 4) ระยะห่างของการจับยึดสายของ Clamp 20-35 m.

ภาคใต้

จ.พังงา (วันที่ 8 มิ.ย. 2548) คุณอนุชา หัวหน้าตอมนอก Tel. 0-7632-1979 / 0-7641-1993

เบิกจากคลังพัสดุ เมื่อวันที่ 01/01/2000 จำนวน 26, 660 เมตร ขนาด 12 Core ที่ผ่านมาใช้ขนาด 12 และ 6 Core โดยขนาด 12 Core ใช้ในงานวางโครงข่ายตามเกาะ ระยะทางไกลประมาณ 12,000 เมตร ขนาด 6 และ 4 Core ใช้วางสายให้โรงแรม ระยะทางสั้นประมาณ 300 เมตร ใช้งานตั้งแต่ ปี 2546 การใช้งานของสายทุกขนาดยังไม่เจอปัญหา และซื้อสายเพิ่มจาก บริษัท ฮิตาชิ 24,000 เมตร การจับยึดติดสายในอดีตใช้ Dropwire Clamp ปัจจุบันใช้ OFC Clamp จึงมีการใช้งานแบบ 2 แบบปะปนกัน ระยะห่างของการจับยึดสายของ Clamp 20 - 35 เมตร

อ.หาญใหญ่ จ.สงขลา (วันที่ 8 มิ.ย. 2548) คุณพิรุณ ปฏิบัติงาน Optical Tel. 0-7425-8408

เบิกจากคลังเมื่อวันที่ 01/01/2000 ขนาด 12 Core จำนวน 145,973 เมตร และขนาด 6 Core ระยะทางไกลๆนอกเมืองใช้ Cable Optical ในเมืองส่วนมากใช้งานขนาด 12 Core ระยะทางไกลสุด 7,000 เมตร ระยะทางใกล้สุด 200 เมตร ใช้งานไม่ต่ำกว่า 1 ปี ส่วนขนาด 4 และ 6 Core ใช้งานไม่มาก ใช้ในงานวงจรเช่า ใช้งาน ประมาณ 5-6 เดือน การใช้งานของสายทุกประเภทไม่พบปัญหา การจับยึดสายใช้ Dropwire Clamp เป็นตัวจับยึดชนิดเดียว ระยะห่างการจับยึดประมาณ 40 เมตร ชนิดของสายที่ใช้งานคือ TFOC, SFO ชนิดของหัวต่อที่ใช้งานยี่ห้อ SJP

ภาคตะวันออก

มาบตาพุด จ.ชลบุรี (วันที่ 7 มิ.ย. 2548) คุณวิสูตร หัวหน้าตอมนอก Tel. 0-3868-3040

เบิกจากคลังพัสดุ เมื่อวันที่ 01/01/2000 ขนาด 12 Core จำนวน 18,400 เมตร ใช้งานประมาณ 1 ปี ระยะทางใช้งานไกลสุด ประมาณ 5 กม. ส่วนมากจะใช้งานในระยะทางใกล้ๆ พบว่าในการใช้งานของสายไม่พบปัญหา การจับยึดสายใช้ Dropwire Clamp

จ.ระยอง (วันที่ 7 มิ.ย. 2548) คุณสุวัฒน์ชัย คุณแล Optical ทั้งจังหวัด Tel. 0-3861-1359

เบิกจากคลังพัสดุ เมื่อวันที่ 01/01/2000 ขนาด 12 Core จำนวน 28,000 เมตร ส่วนมากใช้งานขนาด 12 Core ระยะทางไกลสุด 1,000 เมตร ทอยยติดตั้งมาเรื่อยๆ โดยไม่มีปัญหา ขนาด 6 Core ใช้งานน้อยมาก ติดตั้งระยะทางประมาณ 3,000 เมตร ติดตั้งประมาณ 5-6 เดือน การใช้งานของสายทุกประเภทไม่พบปัญหา การจับยึดสายใช้ Dropwire Clamp เป็นตัวจับยึดชนิดเดียว

ภาคเหนือ

จ.เชียงใหม่ (วันที่ 7 มิ.ย. 2548) คุณวิสูตร หัวหน้าตอนอก Tel. 0-3868-3040

เบิกจากคลังพัสดุ เมื่อวันที่ 01/01/2000 ขนาด 12 Core จำนวน 18,400 เมตร ใช้งานประมาณ 1 ปี ระยะทางใช้งานไกลสุด ประมาณ 5,000 เมตร ส่วนมากจะใช้งานในระยะทาง ใกล้ๆ พบว่าในการใช้งานของสายไม่พบปัญหา การจับยึดสายใช้ Dropwire Clamp

จ.นครสวรรค์ (วันที่ 8 มิ.ย. 2548) คุณไพโรจน์ หัวหน้าตอนอก Tel. 0-5624-5098-9

เบิกจากคลังพัสดุ เมื่อวันที่ 01/01/2000 ขนาด 6 และ 12 Core ช่วงหลังใช้แบบ 12 Core ใช้งานแบบ 6 Core ประมาณ 4 ปี และแบบ 12 Core 2 ปี สายหลักใช้ Cable แต่ใช้ Dropwire Optical ใช้ในเมือง ในกรณี Branch เข้า และใช้ในระยะทางใกล้สุด 200 เมตร และไกลสุดไม่เกิน 10,000 เมตร ระยะห่างจับยึด 40 เมตร เดิมใช้ Dropwire Clamp ปัจจุบันใช้ OFC Clamp ไม่มีปัญหาเกิดขึ้นเกี่ยวกับสาย Dropwire Optical ในขณะนี้

ภาคกลาง

จ.สระบุรี (วันที่ 8 มิ.ย. 2548) คุณวรจักรพันธ์ Tel. 0-3622-5648, 0-3622-2919

ที่ผ่านมาใช้ขนาด 6 Core ปัจจุบันใช้งานขนาด 12 Core ใช้ระยะทาง Branch ในระยะทางใกล้ๆประมาณ 500 เมตร เข้าตามบริษัท หรือ โรงแรม สายหลักใช้ เคเบิล ปัญหาที่เคยพบใน 6 Core พบว่า เมื่อดึงสายจากระวัง ยังไม่ได้ดำเนินการ splice พบสายขาดด้านใน พบ 1 ครั้ง ทำให้ไม่แน่ใจเมื่อใช้งานระยะห่างในการจับยึด 40 เมตร ในอดีตใช้ Dropwire Clamp ในการจับยึด ปัจจุบันใช้ OFC Clamp ปัจจุบันยังไม่พบปัญหาเกิดขึ้น

จ. อุทัยฯ (วันที่ 10 ส.ค. 48) คุณอานนท์ Tel. 0-1852-6299

เบิกจากคลังพัสดุ เมื่อวันที่ 01/01/2000 ขนาด 6 Core จำนวน 24,000 เมตร ใช้งานในระยะทางสั้นๆ ไม่เกิน 4,000 เมตร ส่วนมากใช้กับโรงงาน การต่อเชื่อมใช้หัวต่อ SJP การใช้งานยังไม่พบปัญหาเกิดขึ้น

สรุปข้อมูลจากการสัมภาษณ์
ปัญหาสาย OFC for Access Service เคลื่อนตัว

จ. กาญจนบุรี 14-15 กรกฎาคม 2548

สำหรับข้อมูลที่จังหวัดกาญจนบุรี มีข้อมูลจาก 3 ส่วน ได้แก่

1. ข้อมูลจากการเปิดหัวต่อ
2. ข้อมูลจากการเริ่มติดตั้งใหม่
3. ข้อมูลอื่นๆ

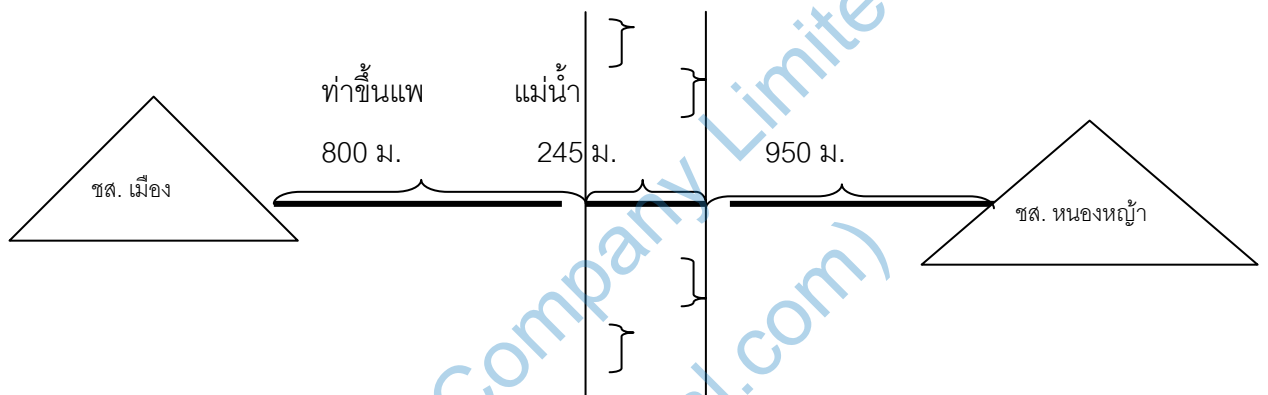
1. ข้อมูลจากการเปิดหัวต่อ (รายละเอียดในตาราง)

- 1) หัวต่อที่ 1 (ต่อจากหัวต่อ Branch) และ 2 ถนนกาญจนบุรี-ไทรโยคน้อย กม. ที่ 12-13 เป็นเส้นที่เคยมี ปัญหามาครั้งหนึ่งแล้ว คือ ขาดที่หัวต่อทั้งหมด 2 หัว และมีการตัดต่อใหม่เรียบร้อยแล้ว เมื่อเดือน กพ. 48
- 2) หัวต่อหน้าโรงแรมเฟลิกซ์ เป็นจุดต่อเชื่อมของสายเคเบิล 2 ยี่ห้อ ได้แก่ SFO และ HBC โดยที่ SFO ลากไปยังตัวโรงแรม ยาวประมาณ 400 เมตร ส่วน HBC ประมาณ 8 กม.
- 3) หัวต่อหน้าหมู่บ้านศิริชัย เชื่อมระหว่างหมู่บ้านไปยัง ชส. ท่อม่วง ก่อนเปิดยังไม่มีข้อมูลปัญหาใดๆ

2. ข้อมูลจากการเริ่มติดตั้งใหม่

- 1) รายละเอียดเคเบิลทดลอง: ยี่ห้อ HBC ขนาด 12 core สายสเตรนด 1.6 mm. ใช้เส้นใยแบบ E-Glass รหัส OFC/SM/A-12 ความยาว 2,537 ม.
- 2) การติดตั้ง จ้างบริษัทคุณสมหวังแขวนสายอย่างเดียว คิดค่าติดตั้ง 4 บาท/ม. (ปกติ 6 บาท/ม.) การแขวน Drop Wire Optical ใช้คนงานประมาณ 7-8 คน ซึ่งเป็นบริษัทที่มีประสบการณ์และรับผิดชอบในพื้นที่ภาคกลาง ใช้ระยะ Loop 2 ด้าน ยาวประมาณ ด้านละ 20 เมตร โดย ที่โอที รับตัดต่อFiber เอง และได้ประสานงาน ให้สนามทดลองแขวนสาย และ Mark ระยะFiber ที่จะติดตั้งในถาดไว้แล้ว
- 3) ต้นทุนอุปกรณ์ในการแขวนเคเบิล Optical ประมาณ 40 -100 บาท/จุด ขึ้นกับคุณภาพ ส่วน Drop Wire Optical ต้นทุนประมาณ 30 บาท/จุด

- 4) พื้นที่ทดลอง : ทำขึ้นแพหน้าเมือง เชื่อมระหว่าง ชส. เมืองกาญจน์ และ ชส. นองหญ้า (เปิดใหม่) ข้ามแม่น้ำ ระยะห่าง 245 ม. (รายละเอียดดังภาพประกอบ) โดยมีการแขวนสายสเตรนด์ขนาด 6M พาดไปก่อน แล้วจึงแขวนสายออฟติคที่หลัง โดยใช้ Lashing Wire 5/16" รััด นอกจากนี้บริเวณแม่น้ำที่ติดตั้งนั้น มีท่อร้อยเคเบิลได้นำ และ สายเคเบิลทองแดงขนาด 50 คู่สายพาดอีกด้วย
- 5) ระยะ Loop มาตรฐาน 2 กม/Loop หรือบริเวณหัวต่อและทางร่วม ทางแยก หรือจุดที่คาดว่าจะมีการขยายในอนาคต



3. ข้อมูลอื่นๆ (จากการบอกเล่า)

- 1) ติดตั้งที่สังขละ ระยะทางแขวนสายยาว 16 กม. ระยะ Span 80 ม. ขนาด 6 core ระยะห่างระหว่างหัวต่อ 4 กม. มีการชิงสายได้ตั้งมาก และพบว่ามียาสเตรนด์ขาด แต่ไม่พบปัญหาFIBER ยึด หดตัว ใช้ Aramid Yarn แบบทากาวยึดติดกับ Tube
- 2) ติดตั้งที่ ถนน ระหว่างพนมทวน-หนองแขวง ระยะห่างระหว่างเสา 40 เมตร ยาว 2 กม. ติดตั้งแบบตั้ง ยึดด้วย Dropwire Clamp เกิดปัญหาคือ Fiber ไหลมากองรวมกันใน ถาดหัวต่อ เส้นไฟเบอร์ยึดออกมาปกติประมาณ 20 ซม.

รายละเอียด	พื้นที่			
	ถนนกาญจนาบุรี-ไทรโยคน้อย หัวต่อที่ 1 (กม.12-13)	ถนนกาญจนาบุรี-ไทรโยคน้อย หัวต่อที่ 2 (ห่างจาก หัวต่อ 1 4 กม.)	ด้านหน้าโรงแรม เฟลิกซ์	สำนักงานเดิมหน้า หมู่บ้านศิริชัย
ปัญหาการเคลื่อนตัวFiber	มี	ไม่มี	มี	มี
ลักษณะการเคลื่อนตัว	หดตัวจุนรั้ง (ฝั่งไทรโยค) FIBER จนหลุด splice หลุดจากช่อง	ไม่มี	หดตัวจุนรั้ง FIBER จนขาด จำนวน 4 เส้น สีม่วง น้ำเงิน เทา เหลือง	FIBER ยึดตัวออกมายาว ประมาณ 3-4 ซม. แนวการติดตั้งแบบตั้ง
ยี่ห้อFIBER				
-Cable in	SFO	SFO	HBC	HBC
-Cable out	SFO	SFO	SFO	HBC
จำนวนFiber				
-Cable in	12 core	12 core	12 core	12 core
-Cable out	12 core	12 core	12 core	12 core
การ Joint	Straight	Straight	Straight	Straight
ผู้ติดตั้งเคเบิล	จ้างติดตั้ง	จ้างติดตั้ง	จ้างติดตั้ง	จ้างติดตั้ง
ผู้ Joint	ทีโอที	ทีโอที	ทีโอที	ทีโอที
ระยะ loop	Dia. 26 ซม. ยาวด้านละ 11.5 ม.	Dia. 26 ซม. ยาวด้านละ 11.5 ม.	Dia. 25 ซม. ยาว 9.4 ม. ฝั่งโรงแรม (SFO)	ไม่ได้วัด
ความยาวตลอด route	10 กม.	10 กม.	8 กม.	2 กม.
จำนวนหัวต่อ	3 หัวต่อ	3 หัวต่อ	2 หัวต่อ	-
ระยะห่างระหว่างหัวต่อ	4 กม.	4 กม.	4 กม.	-
ยี่ห้อหัวต่อ	SJP	SJP	SJP	SJP
ระยะห่างระหว่างเสา	40 เมตร	40 เมตร	40 เมตร	ไม่ได้เก็บข้อมูล
ระยะเวลาติดตั้งก่อนเกิดปัญหา	4 เดือน	-	12 เดือน	4 เดือน
ระยะห่างจากถนน	20 เมตร	20 เมตร	6 เมตร	10 เมตร
จำนวนเลนถนน	2	2	4	2
การย้ายแนว	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

รายละเอียด	ถนนกาญจนาบุรี-โทรโยคน้อย หัวต่อที่ 1 (กม.12-13)	ถนนกาญจนาบุรี-โทรโยคน้อย หัวต่อที่ 2 (ห่างจาก หัวต่อ 1 4 กม.)	ด้านหน้าโรงแรมเฟลิกซ์	สำนักงานเดิมหน้าหมู่บ้านศิริชัย
ปัญหาส่วนอื่นๆ	ก่อนตัดต่อ เมื่อเปิด cap สายสะพานยื่นออกมา ประมาณ 50 ซม.	อยากได้อุปกรณ์ช่วยยึด ตรง dead end	จากการวัดพบว่ามีการ bending เกิดขึ้นนานแล้ว แต่ไม่ได้ใช้ จึงไม่ได้ทำการแก้ไข	ปัญหาส่วนของ pixtel เรื่อง ผู้คนที่เกาะบริเวณหน้าสัมผัส
รูปแบบการแก้ปัญหา	ไม่พอใจ เพราะอาจทำให้เกิดขาดกลางสายและหาเหตุเสียลำบาก			
รูปแบบการติดตั้งเคเบิล 3 วันก่อนตัดต่อ	พอใจ แต่อาจต้องทิ้งไว้นานกว่านี้			
รูปแบบการติดตั้งเคเบิล โดยตัดต่อชั่วคราว (กสท)	มีทำอยู่แล้ว แต่แก้ไขถาดให้สามารถเลื่อนไหลได้อิสระ			
ระยะของสาย loop ที่ปลดลงมา	ฝั่งไปโทรโยคน้อย 14023 ม. ฝั่งไปกาญจนาบุรี 10030 ม.	ฝั่งไปโทรโยคน้อย 10023 ม. ฝั่งไปกาญจนาบุรี 14018 ม.	ฝั่งไปโรงแรม SFO 3392 ม. ฝั่งไป ชุมสายหนองหญ้า HBC 0001 ม.	

จ. กาญจนบุรี 23-24 สิงหาคม 2548

1. เปิดหัวต่อที่เคยเปิดในครั้งก่อน (วันที่ 14-15 ก.ค. 2548) ได้แก่ จุดหน้าโรงงานบรรจุก๊าซ และ โรงงานสุรา ไม่พบปัญหาใดๆ เมื่อเวลาผ่านไปเดือนเศษ (วันที่ 23-24 สิงหาคม 2548) ทำการเปิดหัวต่อเดิม ไม่พบปัญหาอีกเช่นกันและเมื่อพิจารณาจุดที่ติดตั้ง พบว่า มีการรูปตรงแยกข้ามถนนเข้าโรงงานสุรา ที่ระยะ 40 เมตร 1 ลูบและแนวถนนเดียวกันที่ระยะ 40 เมตร อีก 1 ลูบ ซึ่งเป็นการสนับสนุนข้อมูลในการรูปดักหัวท้ายเพื่อไม่ให้ Fiber เคลื่อนตัว
2. จากการติดตามผลที่ได้ติดตั้งสาย Drop cable แบบ E-glass yarn บริเวณบ้านลื่นช้าง ระยะลูบด้านละ 16 เมตร ใช้หัวต่อ SJP ที่ได้ปรับปรุงในพื้นที่เองแล้ว หลังจากที่เขาเวนท์ไว้ 3 อาทิตย์ และ ตัดต่อมาแล้ว 2 อาทิตย์ เมื่อเปิดหัวต่อดังกล่าว ไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆ
3. ข้อเสนอแนะอื่นๆ
 - สำหรับหัวต่อแบบใหม่ เลือกรูปแบบที่กันหัวท้าย แต่อยากให้ความยาว เพื่อช่วยลด Bend ที่อาจเกิดขึ้น กรณีมีการรั้งมากๆ และให้ทำ u-turn และเลข 8 ได้
 - ควรระบุความยาว Fiber ที่ต้องตัด และระบุแนวให้ช่วยในการจัดเรียง Fiber
 - กรณีความยาว Fiber ไม่เท่ากันจะมีการจัดการอย่างไร
 - Slot สำหรับใส่ tube ให้ทำแบบถอดเข้า-ออกได้

จ. นครราชสีมา 19 กรกฎาคม 2548

ข้อมูล สาย OFC for Access Service เคลื่อนตัว ที่จังหวัดนครราชสีมา เป็นเส้นที่เชื่อมจาก ชส.บ้านนา-ชส. คีรีมาชา (รีสอร์ทและสนามกอล์ฟ) แยกซ้ายมือก่อนทางขึ้นเขาใหญ่ บ้านท่ามะปรางค์ จากการติดตั้งมาเป็นระยะเวลามากกว่า 1 ปี ยังไม่มีการเปิดหัวต่อ แต่มีการตรวจสอบ พบว่ามี loss เกิดขึ้น แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ใช้งานได้

ข้อมูลจากการเปิดหัวต่อ (รายละเอียดในตาราง)

1. จุดที่ 1 อยู่ใน ชส. คีรีมาชา (ด้านหน้าทางเข้ารีสอร์ทคีรีมาชา) จุดนี้ช่างภาคสนาม คุณเสรี ได้ทำการวัดหา Loss ที่เกิดขึ้น โดยใช้ Mini OTDR ยี่ห้อ EXFO รุ่น FTB-100B พบว่ามี Loss เกิดขึ้น 2 จุด คือ จุดที่ห่าง 4 กม. (หัวต่อที่ 2) และ 12 กม. (หัวต่อที่ 4) จาก ชส.คีรีมาชา และตรวจเช็คสัญญาณอีกครั้งหลังจากที่จัด FIBER ในหัวต่อที่ 2 และ 4 ใหม่ พบว่า Loss หายไป
2. หัวต่อที่ 2 หลั กม. ที่ 3 บ้านท่ามะปรางค์ Loss ประมาณ 0.72 dB ใช้อุปกรณ์ OFC clamp ยึดกับเสา
3. หัวต่อที่ 4 ถนนเส้นทางตรงที่จะเข้าไปยังเขาใหญ่ อยู่ฝั่งซ้ายมือ ก่อนร้านอาหารเพชรน้ำหนึ่ง Loss ประมาณ 4 dB ที่จุดนี้ การ Loop Fiber ทั้ง 2 ด้าน จะ Loop ด้วยระยะที่ไม่เท่ากัน คือ ฝั่ง ชส. บ้านนา ระยะ Loop 25 เมตร ฝั่ง ชส. คีรีมาชา ระยะ Loop 70 เมตร มีผลทำให้ระยะ Fiber ที่ยึดออกมาทั้ง 2 ฝั่ง ยึดออกไม่เท่ากัน
4. สำหรับหัวต่อที่ 2 และ 4 เมื่อเปิดพบว่ามี Fiber ที่ยึดออกมา ทั้ง 2 จุด ซึ่งสนับสนุนข้อมูล loss ที่เกิดขึ้น จากการวัดด้วย OTDR และเมื่อทำการถอด Tray ออก แล้วจัดเรียง Fiber ใหม่ โดยยึดหลอด Splice กับหัวต่อด้วยเทปพันสายไฟ จากนั้นขด Fiber ใหม่ โดยไม่ต้องใส่ Tray เมื่อทำการวัดด้วย OTDR อีกครั้ง ไม่พบ Loss เกิดขึ้น

รายละเอียด	พื้นที่		
	จุดต่อใน ชส. ศิริมาया	หัวต่อที่ 2 หลัก กม. ที่ 3 ท่า มะปรางค์	หัวต่อที่ 4 เส้นตรงขึ้นเขาใหญ่
ปัญหาการเคลื่อนตัวFiber	ไม่มี	มี	มี
ลักษณะการเคลื่อนตัว	ไม่มี	FIBER ยึดออกมาจากส่วนที่ ขดไว้ใน ถาด และมีเจลไหลเยิ้มออกมา	FIBER ยึดออกมาประมาณ 17.2 ซม. (ฝั่งศิริมาया) และ 10.9 ซม. (ฝั่งบ้านนา) และมี เจลไหลเยิ้มออกมา
ยี่ห้อFIBER			
-Cable in	SFO	SFO	SFO
-Cable out	SFO	SFO	SFO
จำนวนFiber			
-Cable in	12 core	12 core	12 core
-Cable out	12 core	12 core	12 core
การ Joint	Straight	Straight	Straight
ผู้ติดตั้งเคเบิล	จ้างติดตั้ง	จ้างติดตั้ง	จ้างติดตั้ง
ผู้ Joint	ทีโอที	ทีโอที	ทีโอที
ระยะ loop	ไม่ได้วัด	Dia. 54 ซม. ยาวด้านละ 15 ม.	Dia. 54 ซม. บ้านนายาว 25 ม. ศิริมาया ยาว 70 ม.
ความยาวตลอด route	28 กม.	28 กม.	28 กม.
จำนวนหัวต่อ	8 หัวต่อ	8 หัวต่อ	8 หัวต่อ
ระยะห่างระหว่างหัวต่อ	4 กม.	4 กม.	4 กม.
ยี่ห้อหัวต่อ	SJP	SJP	SJP
ระยะห่างระหว่างเสา	40 เมตร	40 เมตร	40 เมตร
ระยะเวลาติดตั้งก่อนเกิด ปัญหา	1 ปีกว่า	1 ปีกว่า	1 ปีกว่า
ระยะห่างจากถนน	10 เมตร	10 เมตร	15 เมตร
จำนวนเลนถนน	4	2	2
การย้ายแนว	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ปัญหาส่วนอื่นๆ	-	-	-
รูปแบบการแก้ปัญหา วท.	ไม่ได้นำเสนอ แต่ให้ภาคสนามลองนำ tray ออก เพื่อให้Fiber เคลื่อนตัวได้อิสระ		
รูปแบบติดตั้งเคเบิล 3 วัน ก่อนตัดต่อ	พอใจ		
รูปแบบการติดตั้งเคเบิล โดย ตัดต่อชั่วคราว (กสท)	รับฟัง		
ระยะของสาย loop ที่ปลดลง มา	ไม่ได้วัด	ฝั่งไปบ้านนา 0005 ม. ฝั่งไป ศิริมาया 4023 ม.	ฝั่งไปบ้านนา 0900 ม. ฝั่งไปศิริ มาया 4029 ม.

จ. เชียงรายและเชียงใหม่ 16-19 สิงหาคม 2548

- 1) ข้อมูลจากการเปิดหัวต่อในจังหวัดเชียงราย (รายละเอียดในตาราง) เปิดหัวต่อที่บ้านห้วยน้ำมา ทางขึ้นดอยวาวี มีการเปิดเพื่อตัดต่อวันที่ 1/7/48 โดยติดตั้งแขนสายแล้วเปิด Cap ระยะเวลา 1-2 ปี ไม่พบปัญหาไฟเบอร์ยึด-หด มีเจลออกมาเล็กน้อย สาย Optical Drop Cable ของบริษัท SFO เลขที่สัญญา 112/3200000299/2546/A-12

- 2) ข้อมูลจากการเปิดหัวต่อในจังหวัดเชียงใหม่ (รายละเอียดในตาราง) จากการสอบถามข้อมูลการติดตั้งกับภาคสนามเชียงใหม่พบว่า รูปแบบการติดตั้งของเชียงใหม่ กำหนด ไว้ให้ลูบทุกๆ 500 เมตร และ ลูบเพิ่ม เมื่อมีการโค้งหรือข้ามแม่น้ำหรือถนน เพื่อการขยายงานในอนาคต และก่อนจะตัดต่อ จะมีการแขนสายไว้ระยะเวลาหนึ่ง
 - เส้นทางชุมสายสารภีไปสนามกอล์ฟกัสชั้น ระยะทาง 8300 เมตร มีหัวต่อทั้งหมด 2 หัว ติดตั้งไว้ 3-4 เดือน และเพิ่งตัดต่อหัวต่อที่ 1 ได้ 1 สัปดาห์ สาย Optical Drop Cable ของบริษัท HBC เลขที่สัญญา 001/3200000449/2546/A-12 เส้นทางนี้ระยะ 4 เมตร ก่อนถึงหัวต่อจะมีการลูบ ทั้งหมด 6 ลูบ ลูบที่ 1 ระยะ 500 เมตร, ลูบที่ 2 เมตร ที่ 9 บ้านธิ , ลูบที่ 3 มุมโค้ง, ลูบที่ 4 เมตร ที่ 8 บ้านธิ, ลูบที่ 5 (ห่างจาก เมตร ที่ 8 ประมาณ 200 เมตร), ลูบที่ 6 (ห่างจาก เมตร ที่ 8 ประมาณ 200 เมตร) อีก 1 ลูบก่อนเข้าหัวต่อ และมีอีก 3 ลูบก่อนถึง หัวต่อที่ 2 บริเวณสนามกอล์ฟ อยู่ระหว่างลากสายร้อยสายตามท่อได้ दिनระยะทาง 100 เมตร เพื่อรอการตัดต่อ
 - เส้นทางโรงงาน Xegitex มีหัวต่ออีก 1 หัวต่อ (แต่ไม่สามารถดูได้ เนื่องจากฝนตกและ ใกล้เคียงหม้อแปลงไฟฟ้า)
 - เส้นทางไปกรรมการปกครองและเทคโนโลยีดอยสะเก็ด 7,645 เมตร มีหัวต่อ 2 หัว เคเบิลจาก ชส. ดอยสะเก็ด มาต่อกับ สาย Optical Drop Cable บริเวณกรมการปกครอง มี 2 ลูบ สาย Optical Drop Cable ของบริษัท HBC เลขที่สัญญา 001/4200000109/2547/A-6 และบริษัท TFOC เลขที่สัญญา 001/3200000448/2546/A-6 เปิดหัวต่อทั้ง 2 หัว พบว่า หัวที่ 1 มีการยึดตัวของไฟเบอร์ ออกมาประมาณ 5 เซ็นติเมตร และ 1.5 เซ็นติเมตร ส่วน หัวต่อที่ 2 มีการยึดตัวของไฟเบอร์ออกมาประมาณ 0.5 ซม.

- เส้นทางระหว่าง ดอยสุเทพ และหอดูดาวสิรินธร เส้นนี้จะเป็นเส้นที่ต่อกันระหว่าง cable กับ dw cable โดยใช้หัวต่อ branch joint สาย Optical Drop Cable ของ บริษัท TFOC เลขที่สัญญา 001/3200000448/2546/A-6
- เส้นทางระหว่าง เชียงใหม่ –สันป่าตอง ไปหมู่บ้านเว็ดลคลับแลนด์ ระยะทาง 4300 เมตร หัวต่อที่ 1 พบว่ามีไฟเบอร์ยี่ดออกมาเล็กน้อย และเส้นที่ลากจากบริเวณดังกล่าวไปยัง ห้อง ชส. ในหมู่บ้าน จะมีลูบ 4 ลูบ และไม่พบการยึด-หด ของไฟเบอร์

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)

รายละเอียด	พื้นที่					
	เชิงราย ดอยวาวี บ้าน ห้วยน้ำมา	ชส. สารภี - สนามกอล์ฟ ก๊สชั้น หัวต่อ 1	ชส. ดอยสะเก็ด - เทคโนโลยี สะเก็ด - กรมการ ปกครอง หัวต่อ 1	ชส. ดอยสะเก็ด - เทคโนโลยี สะเก็ด - กรมการ ปกครอง หัวต่อ 2	ชส. หอดูดาว สิรินธร - ดอย สุเทพ	เส้น เชิงใหม่ - สันป่าตอง ไป หมู่บ้าน เว็ดล คลับแลนด์
ปัญหาการ เคลื่อนตัวไฟ เบอร์	ไม่มี	ไม่มี	มี	มี	ไม่มี	มี
ลักษณะการ เคลื่อนตัว	ไม่มี	ไม่มี	ไฟเบอร์ยึดตัว ยาว 5 ซม. (ฝั่ง ชส.) และ 1.5 ซม. (ฝั่ง เทคโนโลยี)	ไฟเบอร์ยึดตัว เล็กน้อย	ไม่มี	ไฟเบอร์ยึด ตัวเล็กน้อย เป็น core ที่ ยังไม่ได้เปิด ใช้งาน
ยี่ห้อไฟเบอร์ -Cable in -Cable out	SFO SFO	HBC HBC	HBC TFOC	HBC TFOC	TFOC TFOC	HBC HBC
จำนวนไฟ เบอร์ -Cable in -Cable out	12 core 12 core	12 core 12 core	6 core 6 core	12 core 6 core	6 core 6 core	12 core 12 core
การ Joint	Dome (cable อยู่ฝั่ง เดียวกัน)	Dome (cable อยู่ฝั่งเดียวกัน)	Dome (cable อยู่ฝั่ง เดียวกัน)	Dome (cable อยู่ฝั่ง เดียวกัน)	ต่อตรง อยู่ ในอาคาร	Dome (cable อยู่ ฝั่งเดียวกัน)
ผู้ติดตั้งเคเบิล	จ้างติดตั้ง	จ้างติดตั้ง	จ้างติดตั้ง	จ้างติดตั้ง	จ้างติดตั้ง	จ้างติดตั้ง
ผู้ Joint	ทีโอที	ทีโอที	ทีโอที	ทีโอที	ทีโอที	ทีโอที
ระยะ loop	Dia. 30 เซ็นติเมตร ยาวรวม 5.6 เมตร	Dia. 60 เซ็นติเมตร ยาว รวม 51 เมตร	Dia. 60 เซ็นติเมตร รวม 34 เมตร	Dia. 40 เซ็นติเมตร รวม 21.3 เมตร	Dia. 47 เซ็นติเมตร รวม 19.2 เมตร	Dia. 50 เซ็นติเมตร รวม 30 เมตร

รายละเอียด	เข็ญราย คยวาวี บ้าน ห้วยน้ำมา	ชส. สารภี - สนามกอล์ฟ กัสซัน หัวต่อ 1	ชส. คยสะเก็ด - เทคโนโลยี สะเก็ด - กรมการ ปกครอง หัวต่อ 1	ชส. คยสะเก็ด - เทคโนโลยี สะเก็ด - กรมการ ปกครอง หัวต่อ 2	หอดูดาว สิรินธร - คย สุเทพ	เส้น เข็ญใหม่ - สันป่าตอง ไป หมู่บ้าน เว็ดล คลับแลนด
ความยาว ตลอด route	800 เมตร	8300 เมตร	7645 เมตร	7645 เมตร	3000 เมตร	4300 เมตร
จำนวนหัวต่อ	1 หัวต่อ	2 หัวต่อ	2 หัวต่อ	2 หัวต่อ	1 หัว branch joint	1 หัว branch joint
ระยะห่าง ระหว่างหัวต่อ	4 เมตร	4 เมตร	4 เมตร	4 เมตร	-	4 เมตร
ยี่ห้อหัวต่อ	SJP	SJP	SJP	SJP	-	SJP
ระยะเสา	20-30 เมตร	40 เมตร	60 เมตร	40 เมตร	-	40 เมตร
ระยะเวลา ติดตั้งก่อน	1 เดือน	3-4 เดือน	1 เดือน	1 เดือน	1 ปี	8 เดือน
ระยะห่างจาก ถนน	1 เมตร	4 เมตร	2 เมตร	15 เมตร (มี คลองกั้น)	-	2 เมตร
จำนวนเลนถนน	1	2	1	2	-	6 (มีเลน ฉุกเฉินอีก 2)
การย้ายแนว	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ปัญหาอื่นๆ	-	หัวต่อที่ยึดกับ เคเบิล คอนข้างชัน ยาก	ไม่พบ แต่จัด ถาดใหม่	-	-	-
ระยะของสาย loop ที่ปลดลงมา	ฝั่งหนึ่ง mark 1596 เมตร ฝั่ง หนึ่ง mark 2380 เมตร	ฝั่งไป ชส.สารภี 4079 เมตร ฝั่งไป กัสซัน 0002 เมตร	ฝั่งไป ชส. สาย HBC 0026 เมตร ฝั่งไป เทคโนโลยี TFOC 3997 เมตร	ฝั่งเข้าเทคโนโลยี สาย HBC 3520 เมตร ฝั่งไป ชส. TFOC 2178 เมตร	เส้นเข้า- ออกตัว อาคาร 1513 เมตร	ฝั่งไปหัว branch 4077 เมตร ฝั่งไป เว็ดลคลับ 0018 เมตร

ภาคผนวก ข.

ตรวจสอบมาตรฐานรับเส้น Fiber

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)

ตรวจสอบมาตรฐานรับเส้น Fiber



ภาพประกอบที่ ค.1 ทดสอบ Hardness มาตรฐานรับเส้น Fiber

การทดสอบพลาสติกของถาด(Tray)

1. การทดสอบหาชนิดของพลาสติกของถาด(Tray)
2. การทดสอบหาค่าความแข็งของพลาสติกของถาด(Tray)

1. การทดสอบหาชนิดของพลาสติกของถาด (Tray)

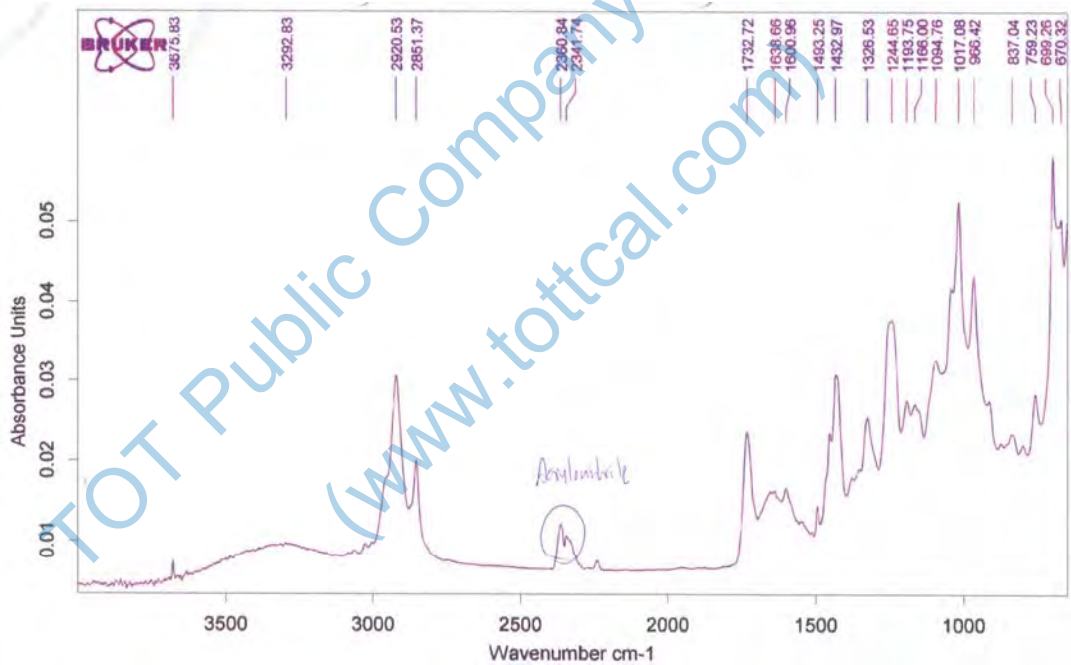
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องหาชนิดของพลาสติก Fourier Transform Infrared Spectrophotometer(FTIR)
2. ตัวอย่างถาด (Tray) จำนวน 8 ตัวอย่าง

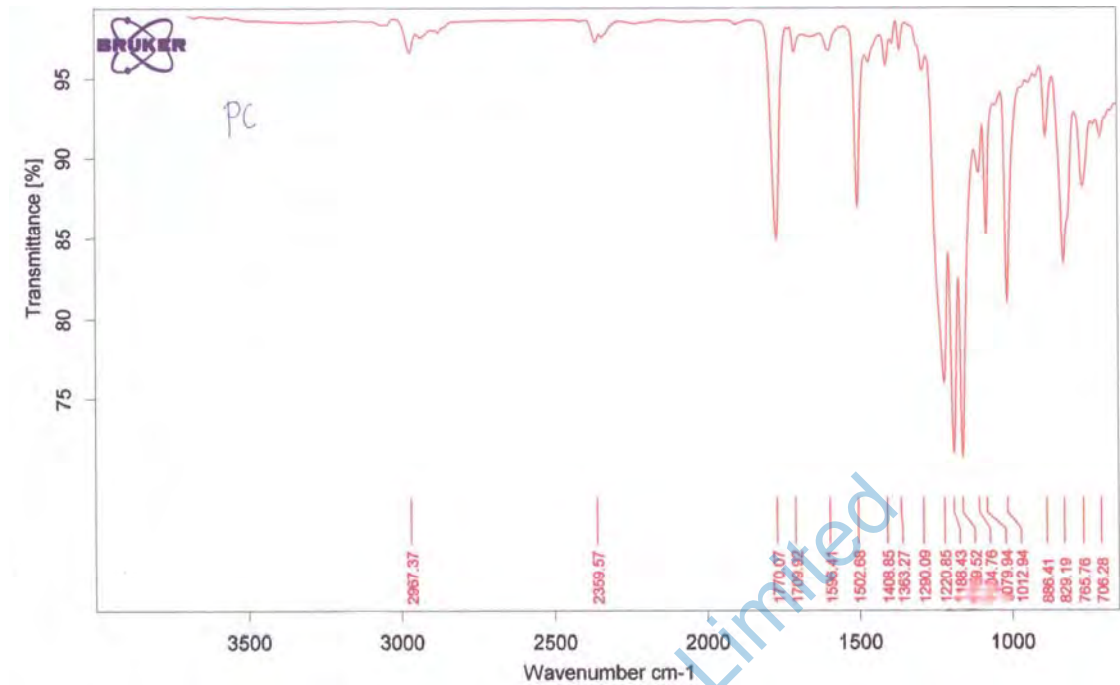
วิธีการทดสอบ และผลการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างถาด (Tray) ทั้งหมด 8 ตัวอย่าง และนำเข้าไปทดสอบกับเครื่อง FTIR
2. ผลการทดสอบที่ได้เป็นไปตามนี้
ถาดที่ 1 ผลการทดสอบที่ได้เป็น ABS (ทดสอบฝาบน (Cover Tray) ของ บ. SJP)
ถาดที่ 2 ผลการทดสอบที่ได้เป็น ABS (ทดสอบฝาบน (Cover Tray) ของ บ. SJP) ซึ่งเป็นตัวอย่างถาดที่ใช้งานร่วมกับหัวต่อขนาดใหญ่
ถาดที่ 3 ผลการทดสอบที่ได้เป็น ABS (ทดสอบฝาล่าง (Base Tray) ของ บ. SJP)
ถาดที่ 4 ผลการทดสอบที่ได้เป็น ABS (ทดสอบฝาล่าง (Base Tray) ของ บ. SJP)
ถาดที่ 5 ผลการทดสอบที่ได้เป็น ABS (ทดสอบฝาบน (Cover Tray) ของ บ. SJP)

- 6 ผลการทดสอบที่ได้เป็น ABS (ทดสอบฝาดบน (Cover Tray) ของ บ. SJP)
 7¹ ผลการทดสอบที่ได้เป็น ABS (ทดสอบฝาดบน (Cover Tray) ซึ่งเป็นตัวอย่าง
 ภาคนำมาจากภาคสนาม จ. เชียงใหม่ที่ใช้งานร่วมกับหัวต่อขนาดใหญ่)
 8¹ ผลการทดสอบที่ได้เป็น ABS (ทดสอบฝาดล่าง (Base Tray) ซึ่งเป็นตัวอย่าง
 ภาคนำมาจากภาคสนาม จ. เชียงใหม่ที่ใช้งานร่วมกับหัวต่อขนาดใหญ่)
 9² ผลการทดสอบที่ได้เป็น PC (ทดสอบฝาดบน (Cover Tray) ซึ่งเป็นตัวอย่าง
 ภาคนำมาใช้งานจริง ของ บ. SJP)
 10² ผลการทดสอบที่ได้เป็น PC (ทดสอบฝาดล่าง (Base Tray) ซึ่งเป็นตัวอย่าง
 ภาคนำมาใช้งานจริง ของ บ. SJP)
 หมายเหตุ ¹ เป็นภาคนำมาชุดเดียวกัน
² เป็นภาคนำมาชุดเดียวกัน



ภาพประกอบที่ ค.2 Peak ที่ทดสอบพลาสติกของภาคนิต ABS



ภาพประกอบที่ ค.3 Peak ที่ทดสอบพลาสติกของถาดชนิดPC

2. การทดสอบหาความแข็ง(Hardness) ของพลาสติกของถาด (Tray) เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดความแข็งของพลาสติก (Hardness) Shore D
2. ตัวอย่างของถาดพลาสติก จำนวน 8 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ 1- 3 เป็นถาดพลาสติก ABS โดยตัวอย่างที่ 1-2 ใช้กับหัวต่อขนาดเล็ก ตัวอย่างที่ 3 ใช้กับหัวต่อขนาดใหญ่ , ตัวอย่างที่ 4 - 6 เป็นถาดพลาสติก PC ที่ใช้กับหัวต่อขนาดเล็ก และตัวอย่างที่ 7-8 เป็นถาดพลาสติก ABS ที่ใช้งานจริงภาคสนาม จ. เชียงใหม่ ใช้กับหัวต่อขนาดใหญ่

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความแข็ง (Hardness) ของตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ค่าความแข็ง (Hardness)				หมายเหตุ (ชนิดตัวอย่างที่ทดสอบ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1	72	75	77	75	Cover Tray; ABS (ต้นแบบไม่ได้นำไปใช้งาน)
2	77	77	79	78	Base Tray ; ABS (ต้นแบบไม่ได้นำไปใช้งาน)
3	68	70	65	68	Base Tray ;ABS (ถาดที่นำไปใช้งานจริง)
4	78	76	77	77	Base Tray ;PC (ถาดที่นำไปใช้งานจริง)
5	75	75	73	74	Cover Tray ;PC (ถาดที่นำไปใช้งานจริง)
6	77	74	77	76	Cover Tray ;PC (ถาดที่นำไปใช้งานจริง)
7	72	71	71	71	Cover Tray ;ABS (ถาดที่นำไปใช้งานจริง)
8	69	64	68	67	Base Tray ;ABS (ถาดที่นำไปใช้งานจริง)

คุณสมบัติของพลาสติก PC (Polycarbonate) และพลาสติก ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

พลาสติกโพลีคาร์บอเนต PC (Polycarbonate)

- เป็นโพลิเมอร์ที่มีหมู่คาร์บอเนต
- มีสมบัติแข็งและโปร่งแสง มีสมบัติเชิงกลดีมาก มีความสามารถดูดความชื้นต่ำ ทนความร้อนได้ดี (ประมาณ 140 องศา) และต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีมาก
- สมบัติทางกายภาพมีดังนี้

ค่าความหนาแน่น	1.20 g/cm ³
แรง Tensile	8,000 – 10,500 lb/in ²
Impact strength, Izod	12 – 16 ft lb/in notch
Elongation at break	60 -100%
Water Absorption ที่ 23 °C	0.35 %
จุดหลอมผลึก	220 - 230 °C
ค่าความแข็งชอร์ของพลาสติก	82-85 (Shore D วัด)

- ราคาค่อนข้างแพง การใช้งานจึงจำกัดเฉพาะงานที่ต้องการใช้สมบัติเฉพาะ เช่นอุตสาหกรรมเครื่องไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

พลาสติกเอบีเอส ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

- เป็นพลาสติกที่ผสมระหว่าง Acrylonitrile, butadiene และ styrene
- มีสมบัติในการทนต่อแรงกระแทกสูง มีค่าการดูดความชื้นต่ำ ทนทานต่อสารเคมีดี ทนทานต่อการขีดขูดมีความเหนียว และแข็งแรง
- สมบัติทางกายภาพมีดังนี้

ค่าความหนาแน่น	1.20 g/cm ³
แรง Tensile	34 MPa
Surface Hardness	RR96
Elongation at break	6%
Water Absorption	0.40%
จุดหลอมผลึก	210 – 240 °C
ค่าความแข็งชอร์ของพลาสติก	75-80 (Shore D วัด)

- นิยมนำมาใช้งานจำพวก ทำท่อ ข้อต่อ ตัวเรือนคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ ฯลฯ

ภาคผนวก ค.

ทดสอบค่า Fiber Strain and Stress และ Chromatic Dispersion Tube

TOT Public Company Limited
(www.tottcal.com)



THAI FIBER OPTICS CO., LTD.

TENSILE LOADING TEST

KIND & SIZE : DROP CABLE 12C

CUSTOMER : HBC-TOT

LENGTH : 200 m

TENSILE LOADING TEST	TUBE / FIBER	BEFORE TEST (POWER : dB)	DURING TEST (Attenuation Change : dB)				RELEASE (Power : dB)
			15 MIN	30 MIN	45 MIN	60 MIN	
TEST	LOOP 2C	0.000	0.003	0.003	0.004	0.005	0.003
LOAD 1100 x 2 N							

APPROVED BY.....

DATE...../...../.....

W. Dany

2, 8, 48

TOT Public Company Limited
(www.tottcal.com)



THAI FIBER OPTICS CO., LTD.

FIBER STRAIN REPORT TEST

P/O NO. :

SPEC NO. :

TFOC ORDER NO. :

CUSTOMER HITACHI BANGKOK CABLE CO., LTD.

KIND&SIZE DROP CALE 12C

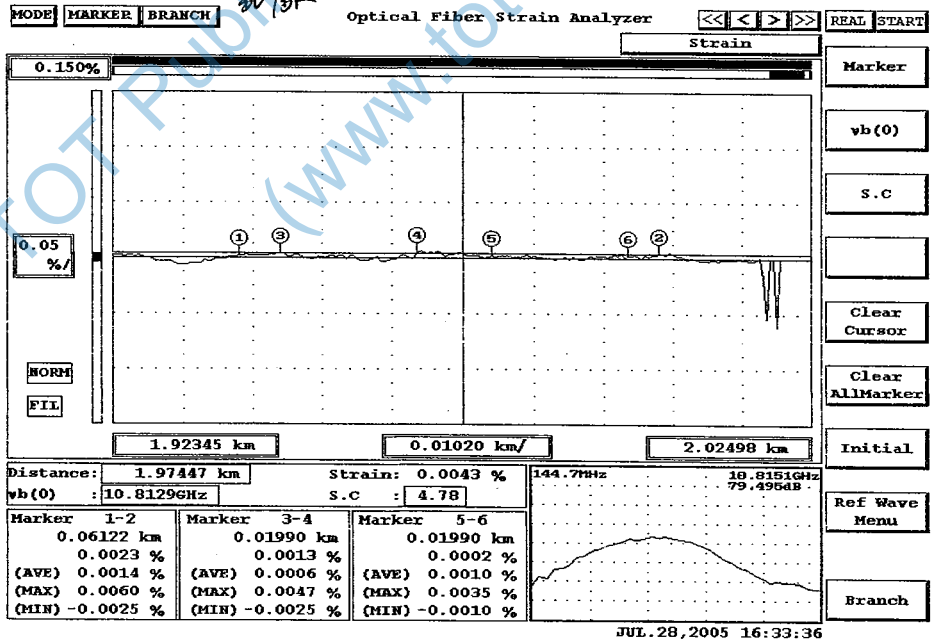
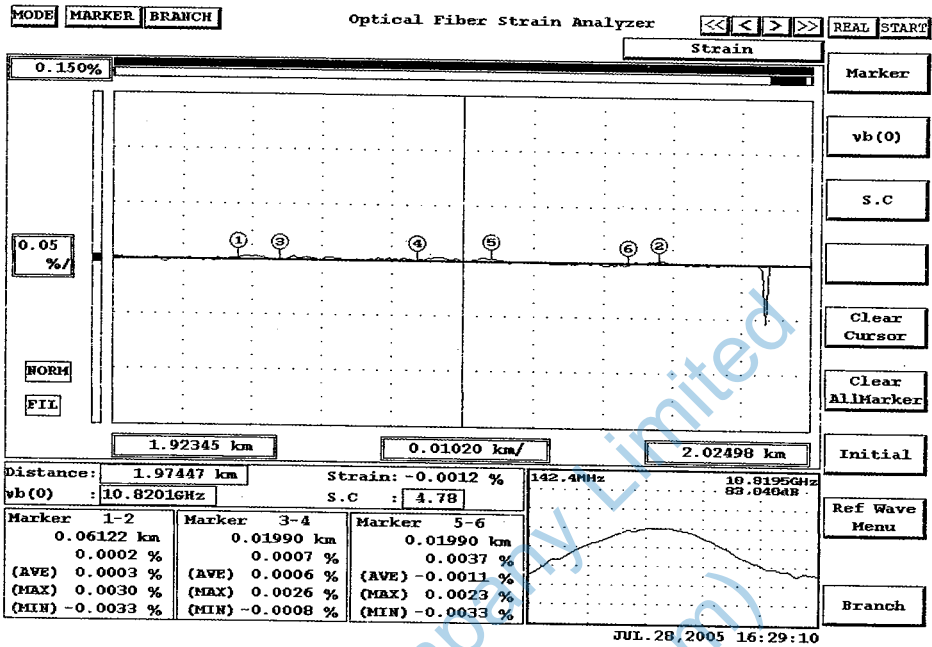
FIBER STRAIN TEST						
TUBE/FIBER	UNLOADED (%)		LOADED (%)		RELEASE (%)	
	AVG.	MAX.	AVG.	MAX.	AVG.	MAX.
BL/GR	0.0003	0.0030	0.0238	0.0333	0.0028	0.0102
BL/BR	0.0014	0.0060	0.0236	0.0332	0.0031	0.0076
BL/SL	0.0004	0.0056	0.0174	0.0268	0.0023	0.0059
BL/WH	0.0005	0.0047	0.0258	0.0368	0.0015	0.0057
BL/RD	0.0012	0.0038	0.0222	0.0367	0.0028	0.0059
BL/BK	0.0017	0.0054	0.0208	0.0331	0.0007	0.0053
BL/YE	0.0023	0.0070	0.0248	0.0362	0.0037	0.0075
BL/VI	0.0009	0.0060	0.0176	0.0285	0.0023	0.0052
BL/RS	0.0011	0.0053	0.0238	0.0339	0.0026	0.0067
BL/AQ	0.0003	0.0045	0.0255	0.0378	0.0028	0.0065

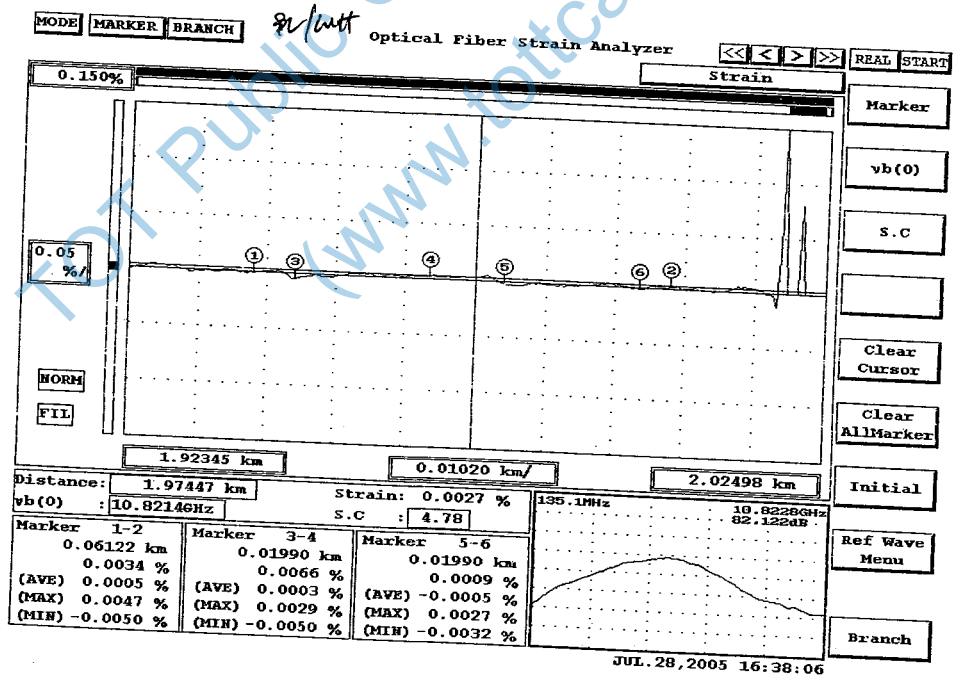
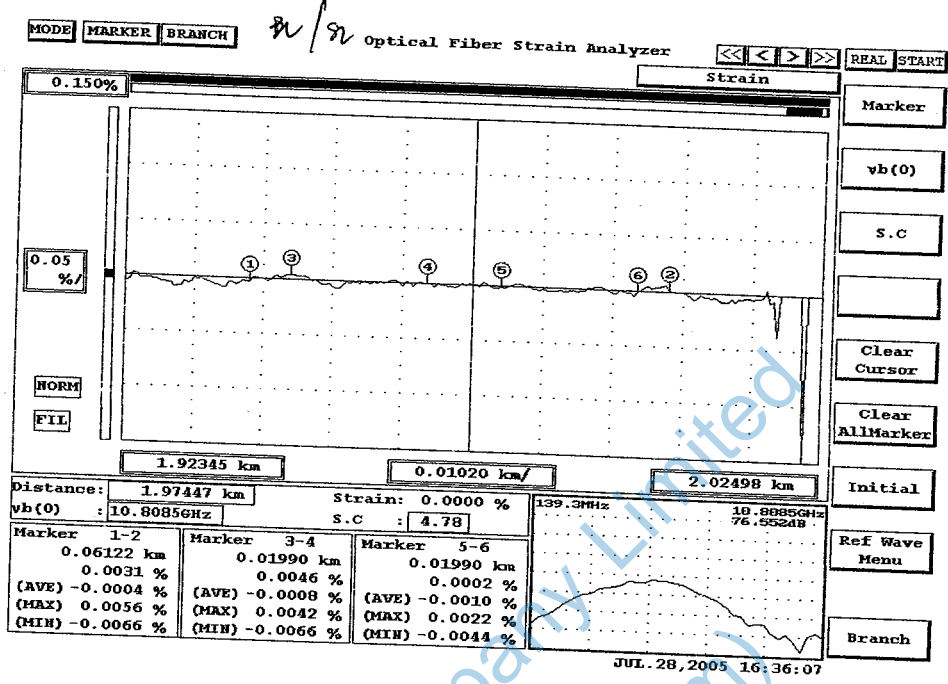
APPROVED BY..... *D. Surin*.....

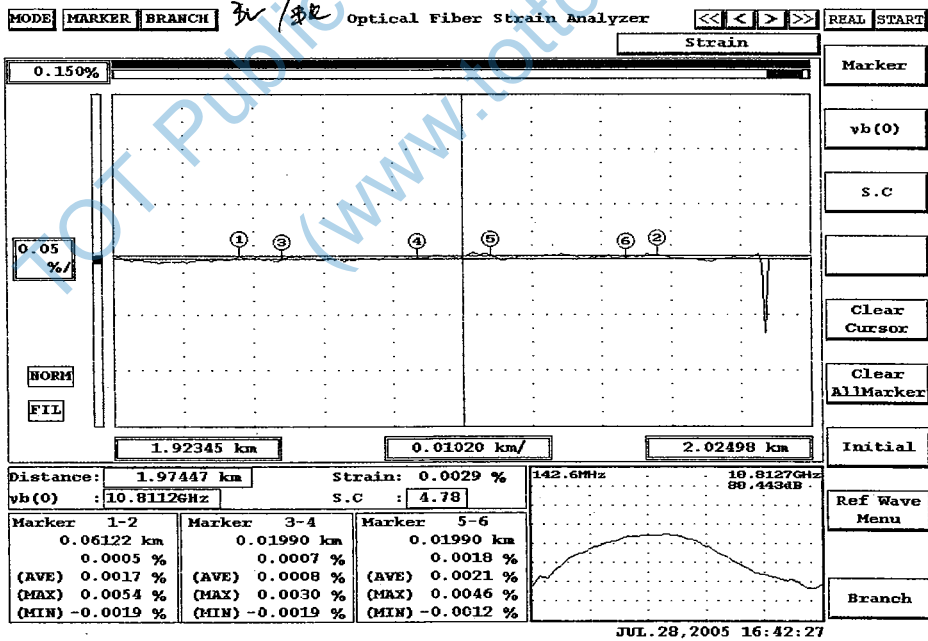
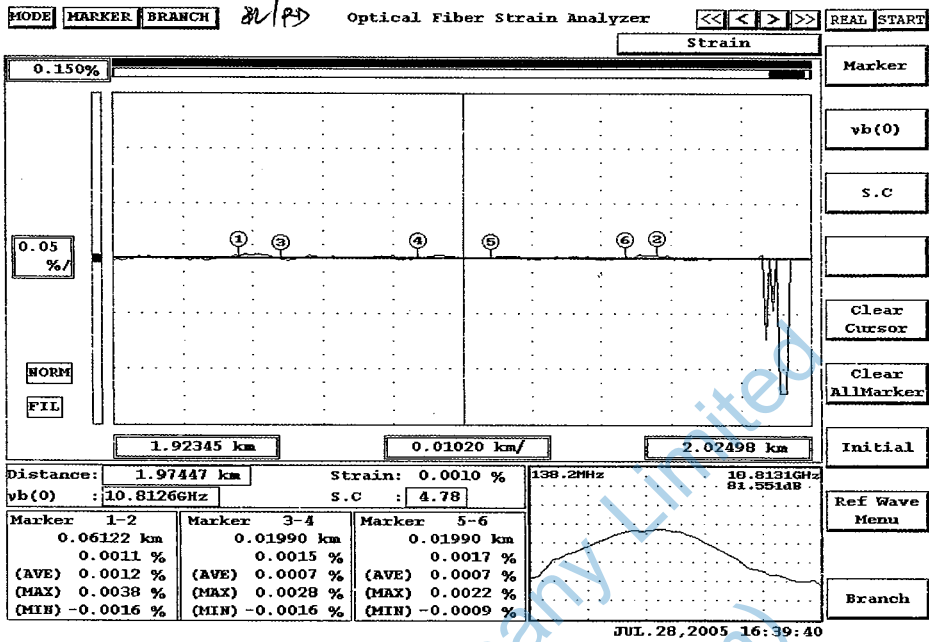
DATE *2 / 8 / 48*.....

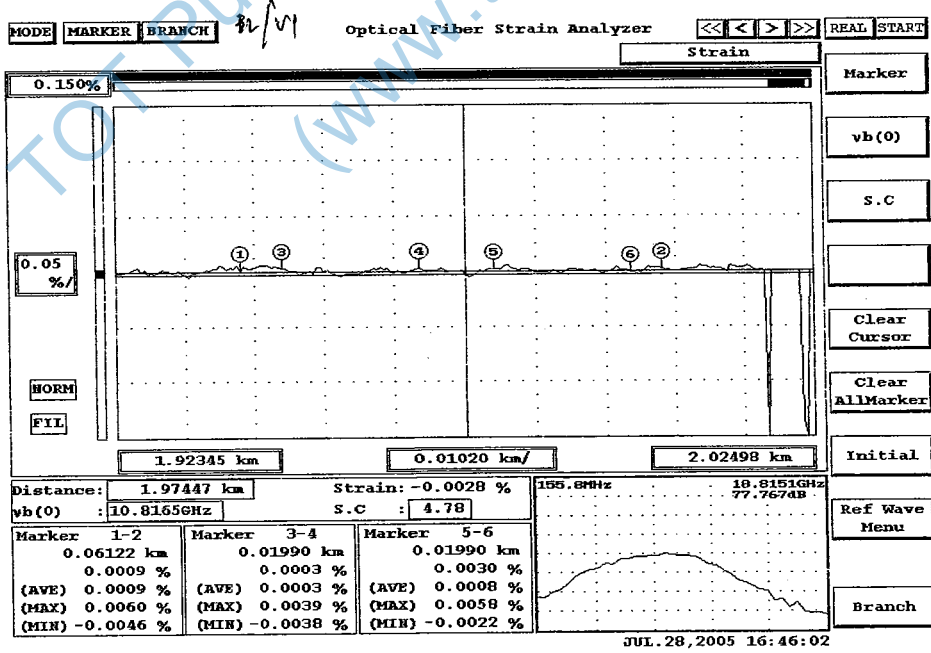
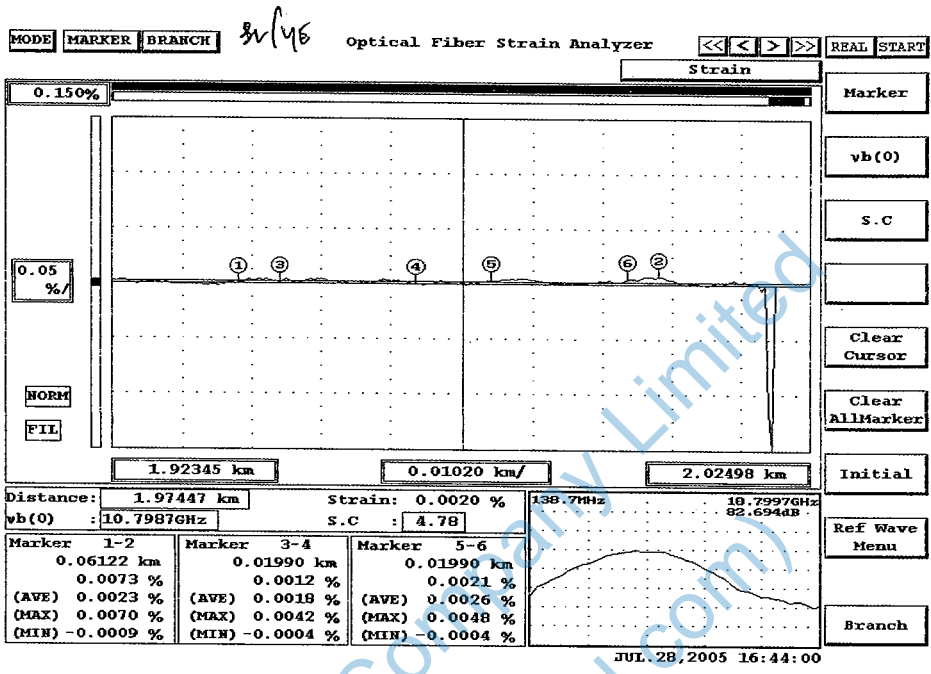
UNLOADED (-)

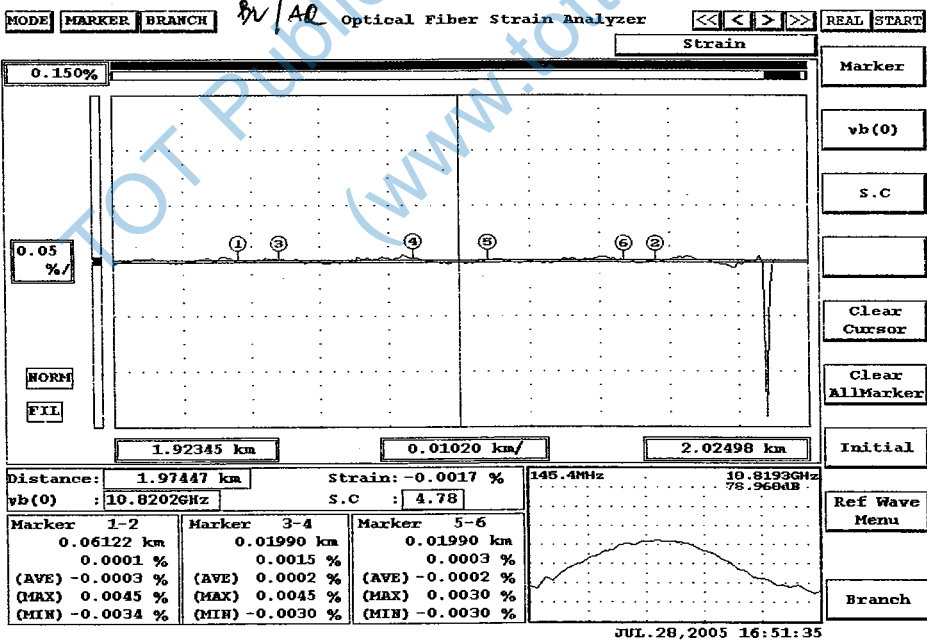
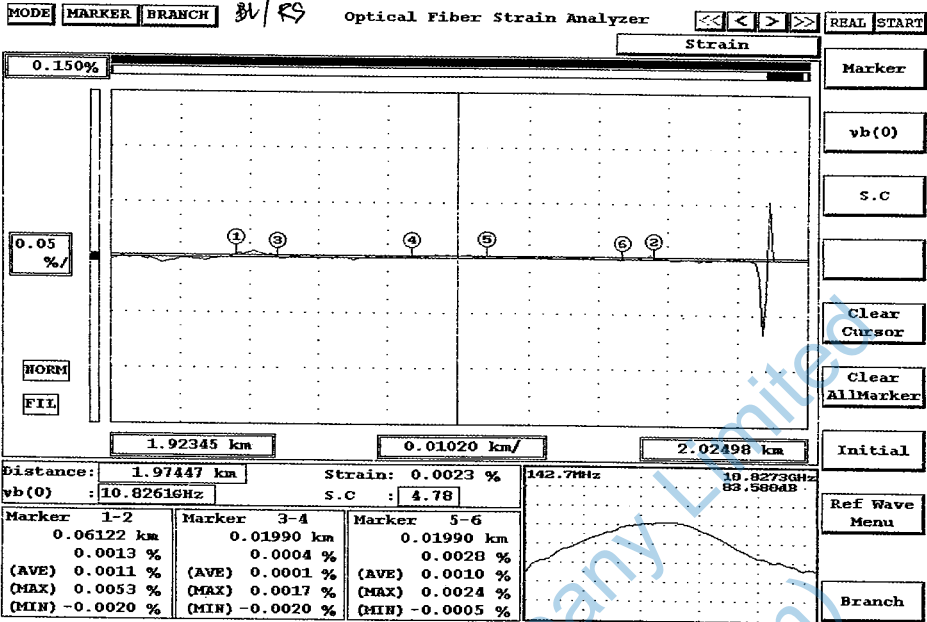
enter



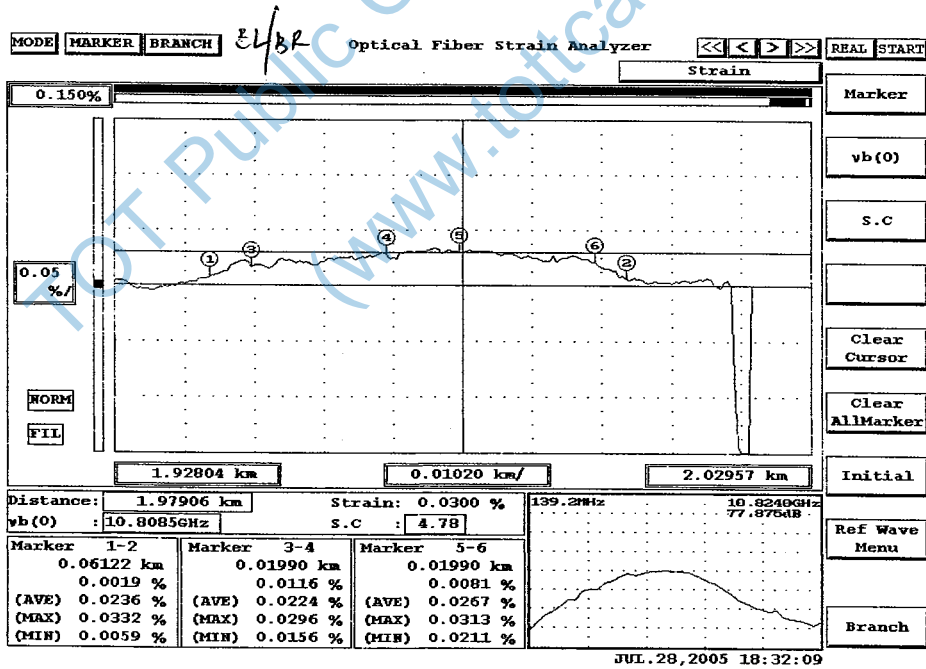
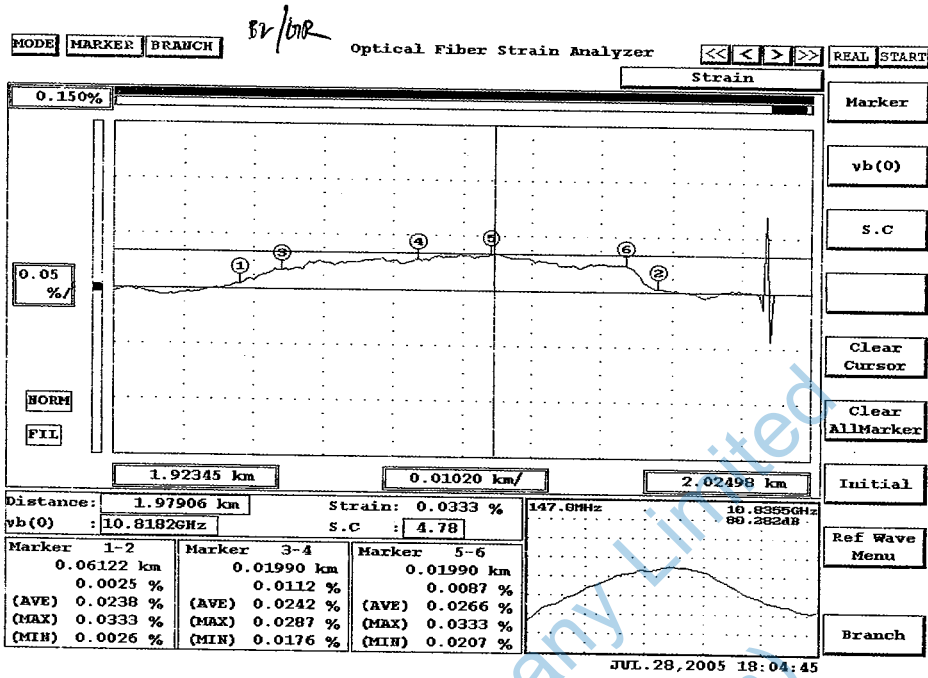


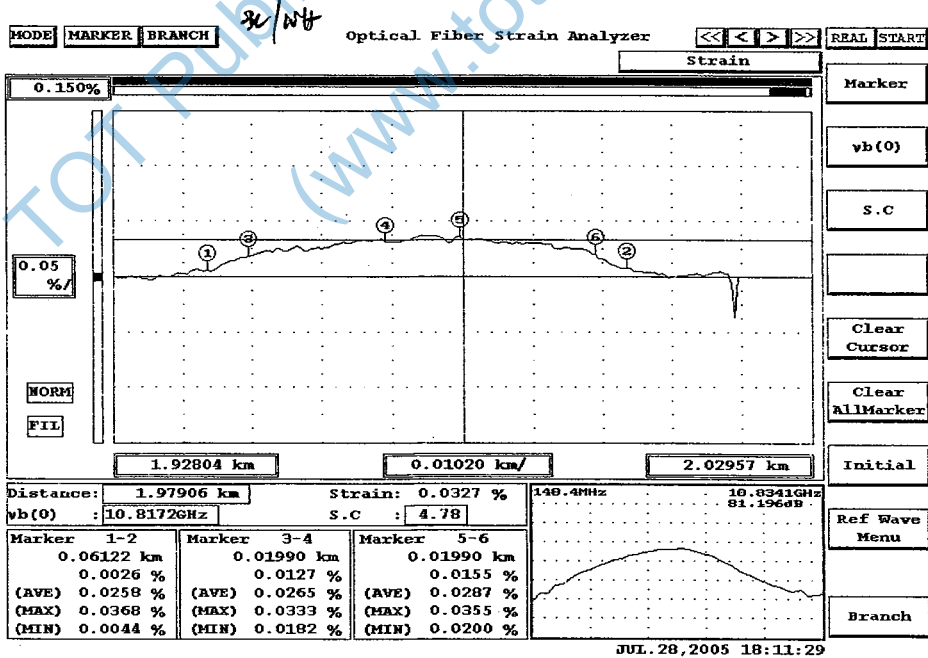
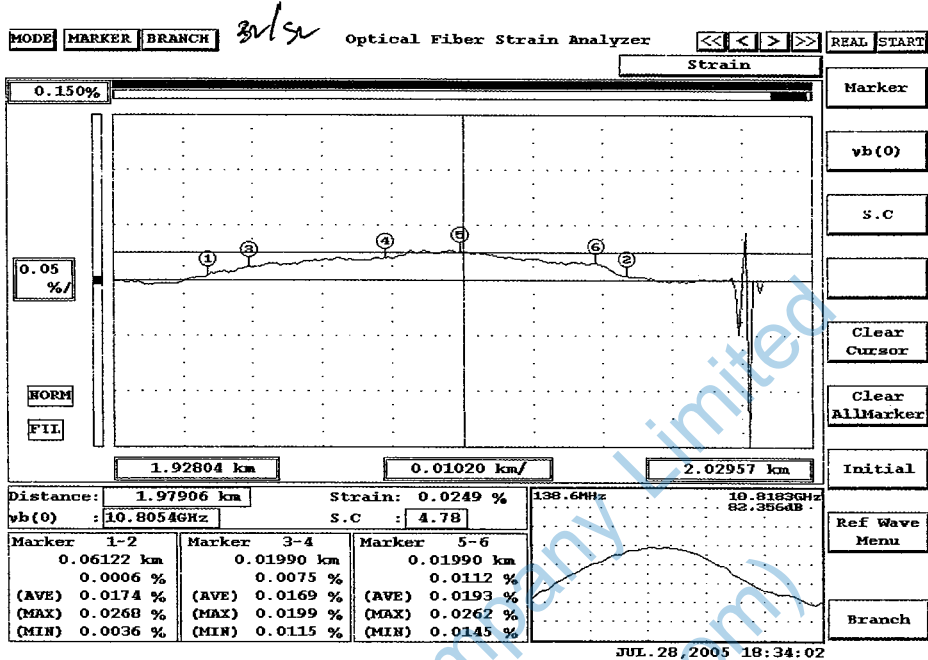


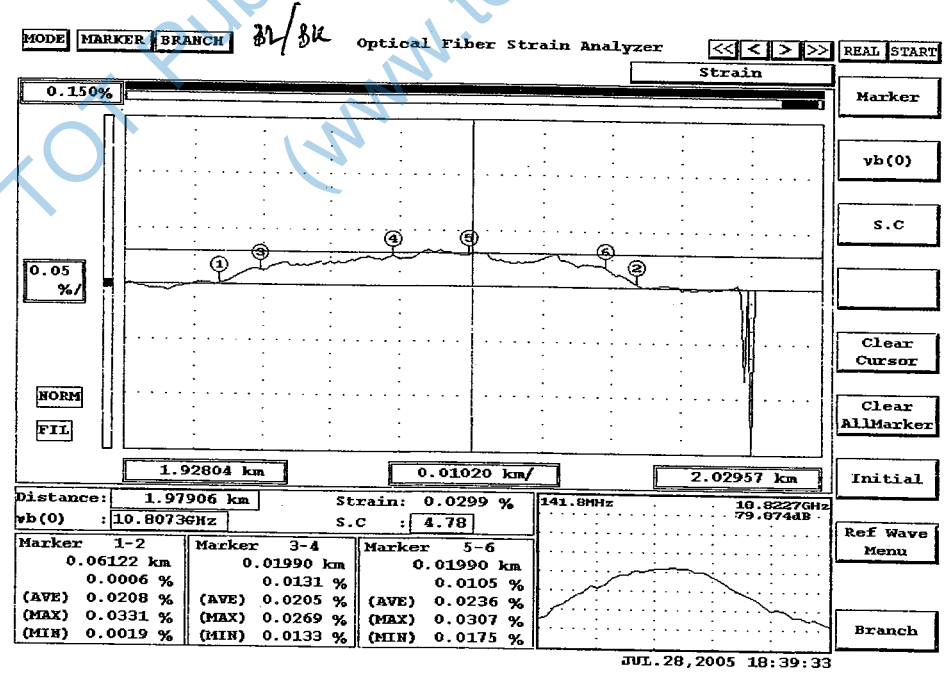
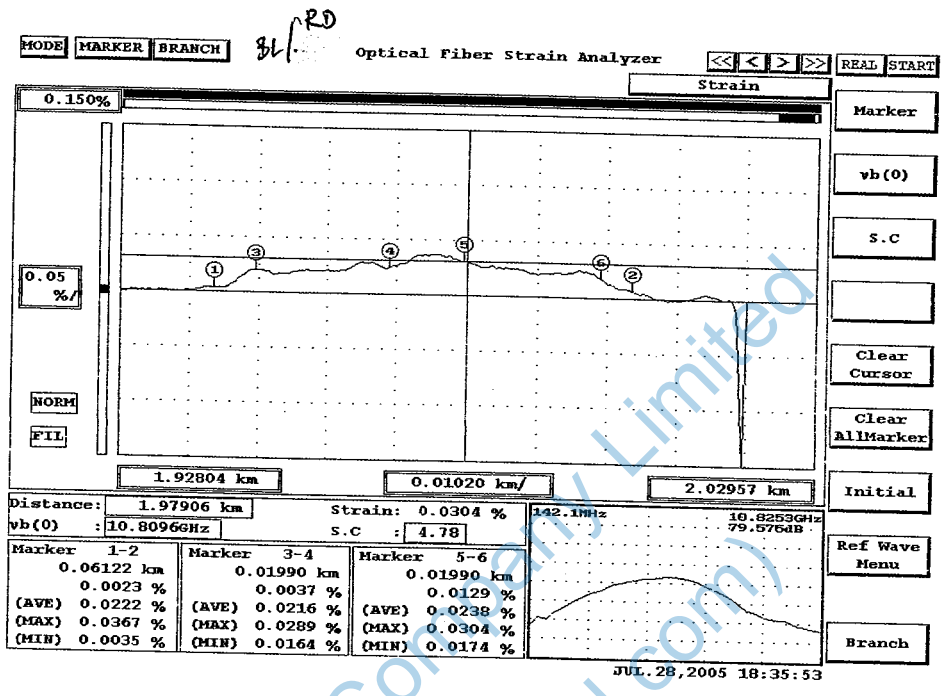


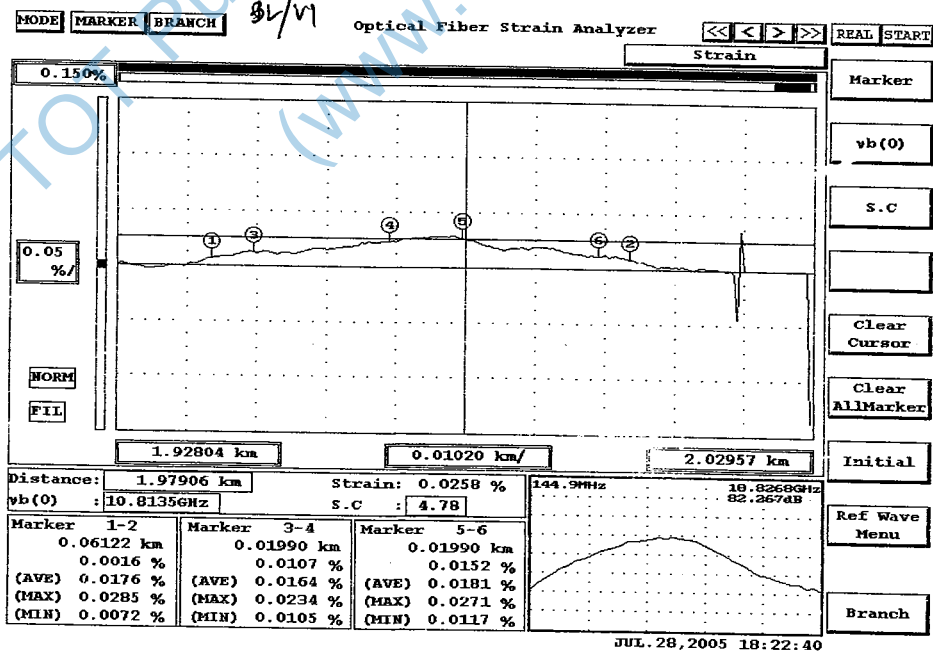
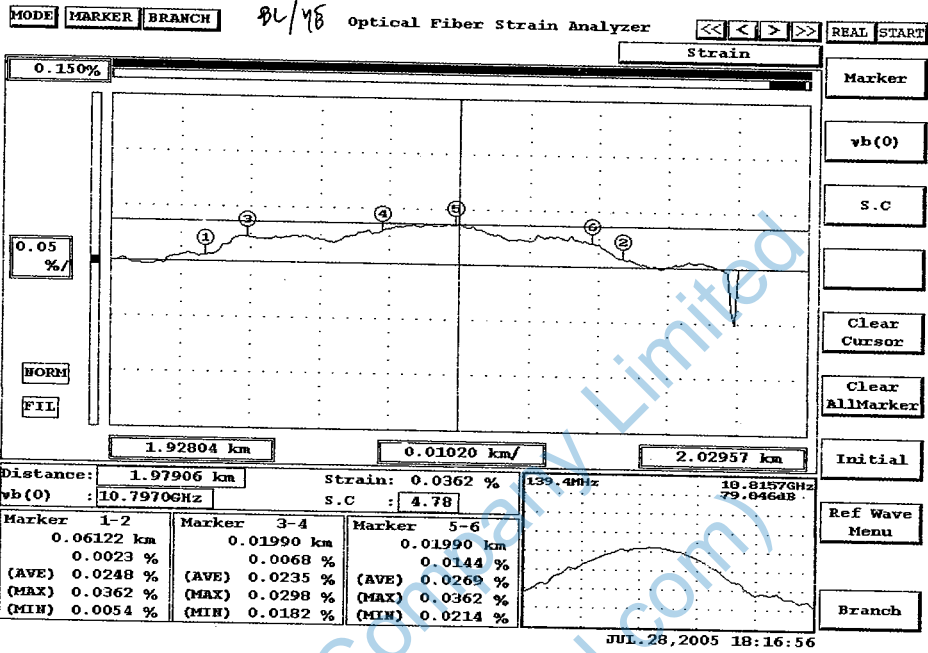


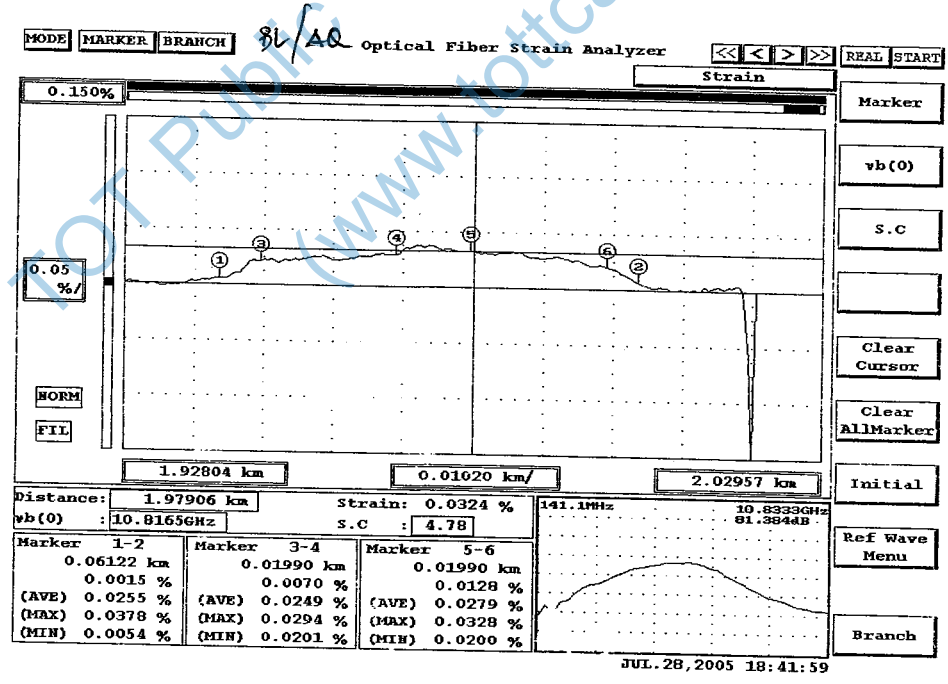
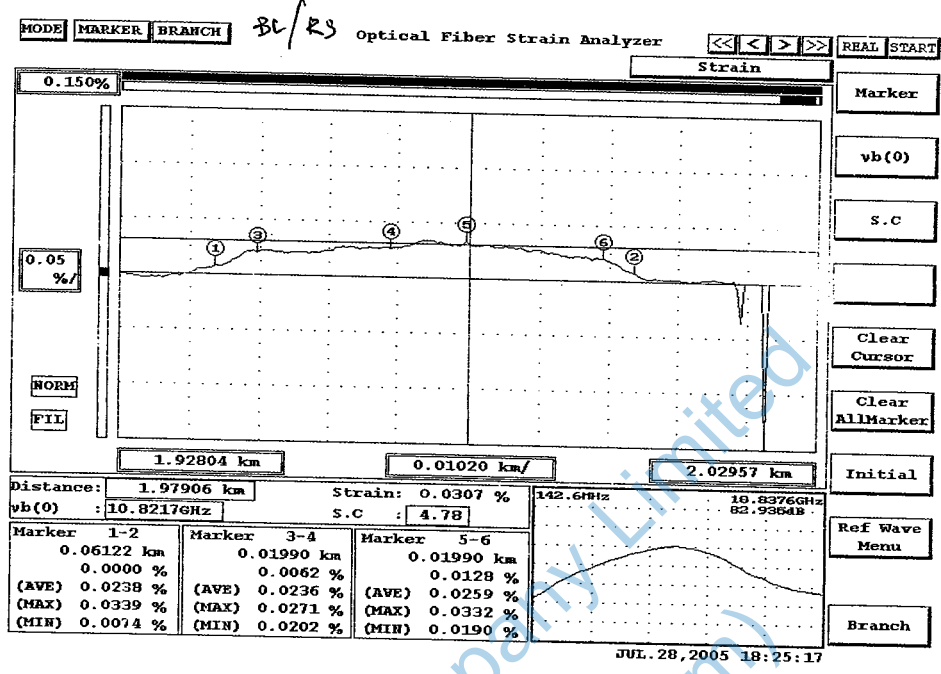
LOADED (-)









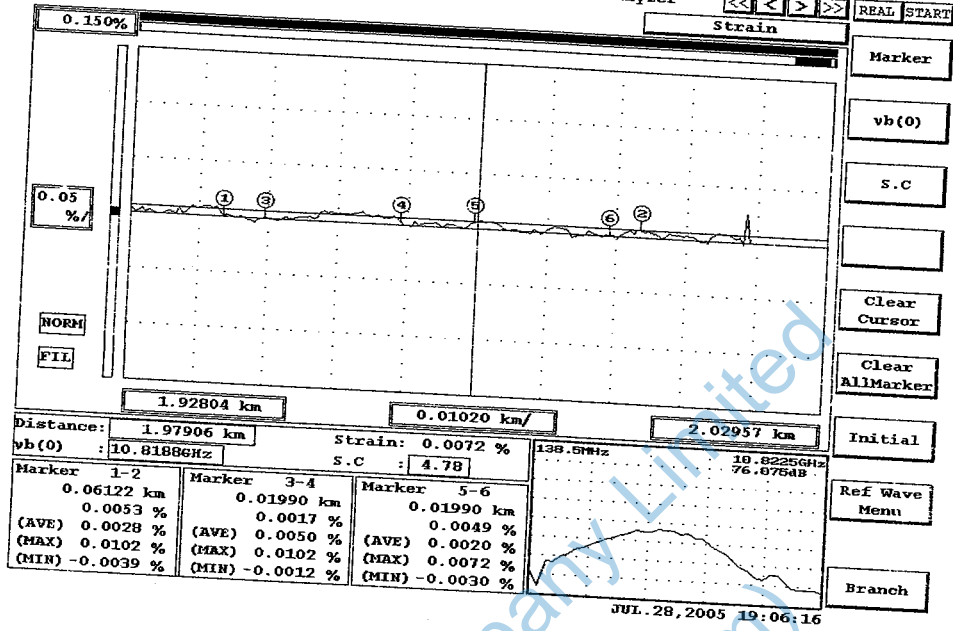


RELEASE (1)

BL/BR

MODE MARKER BRANCH

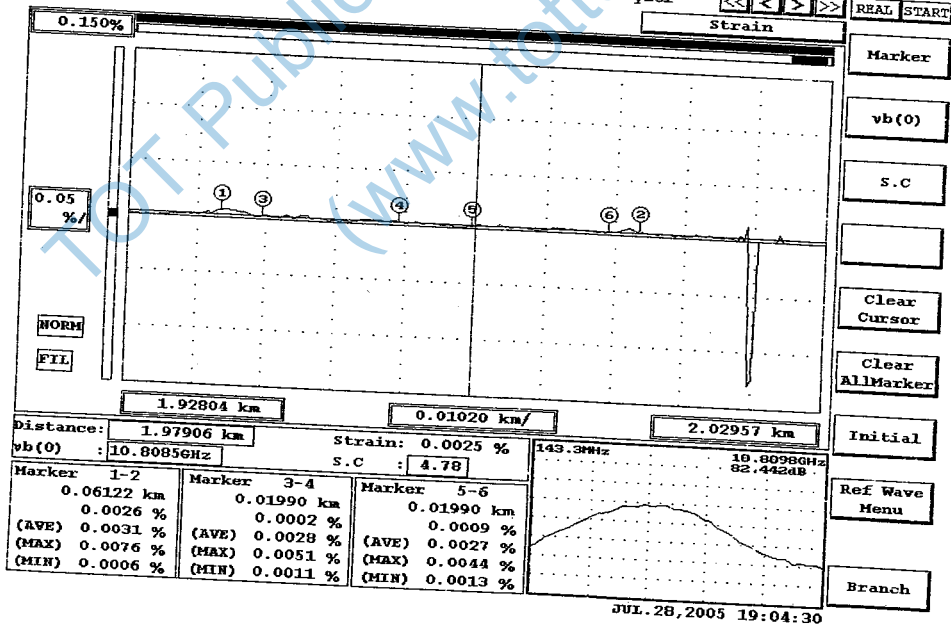
Optical Fiber Strain Analyzer

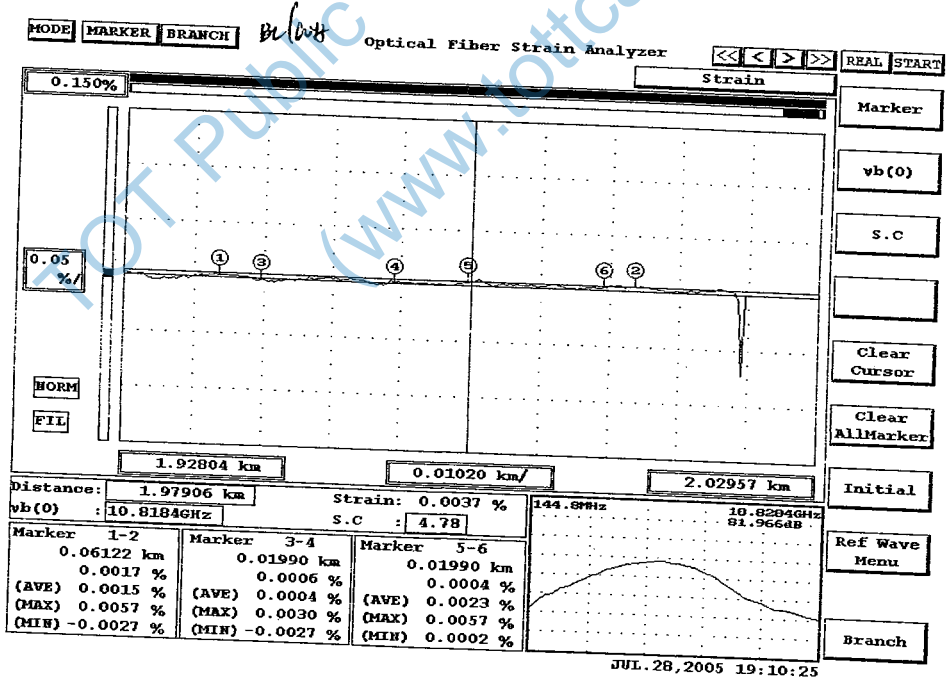
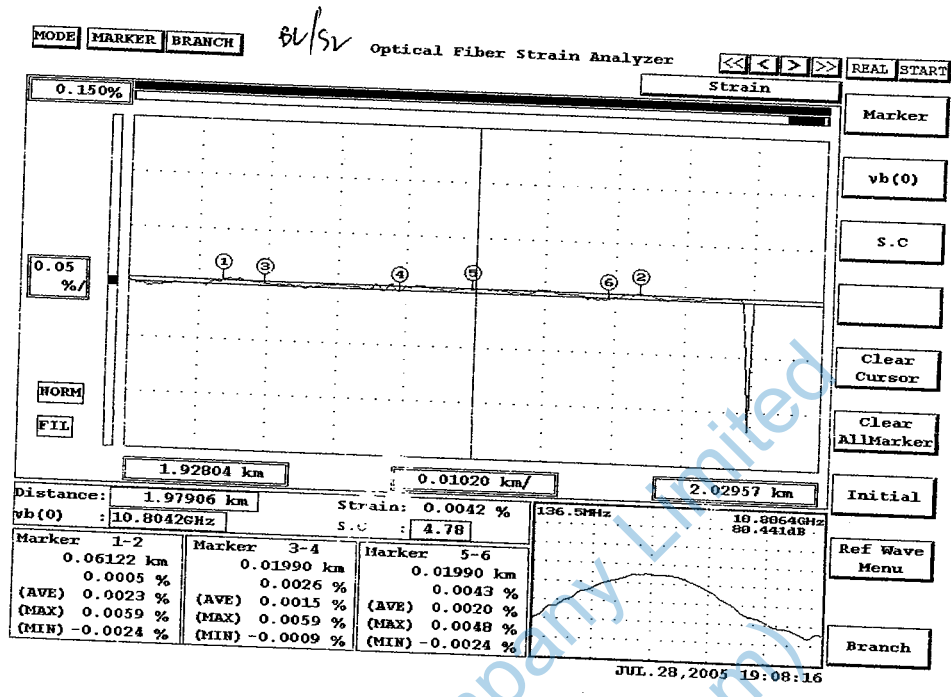


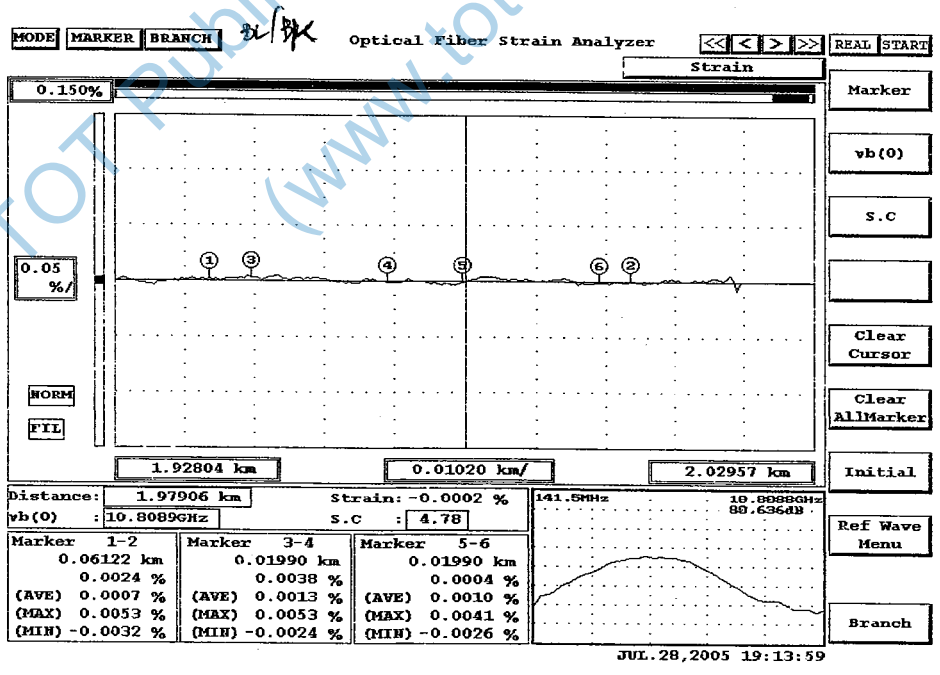
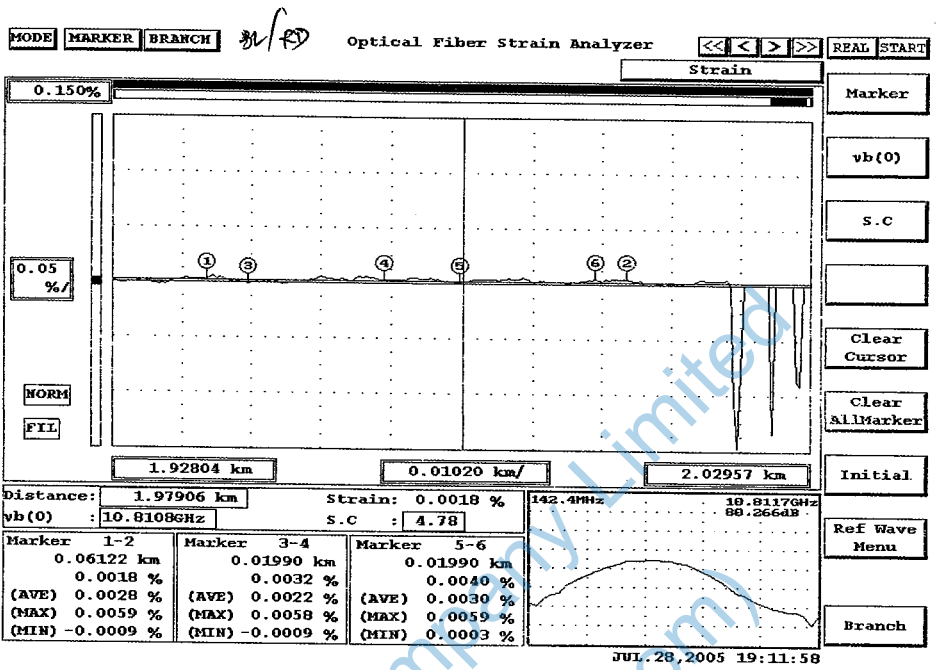
BL/BR

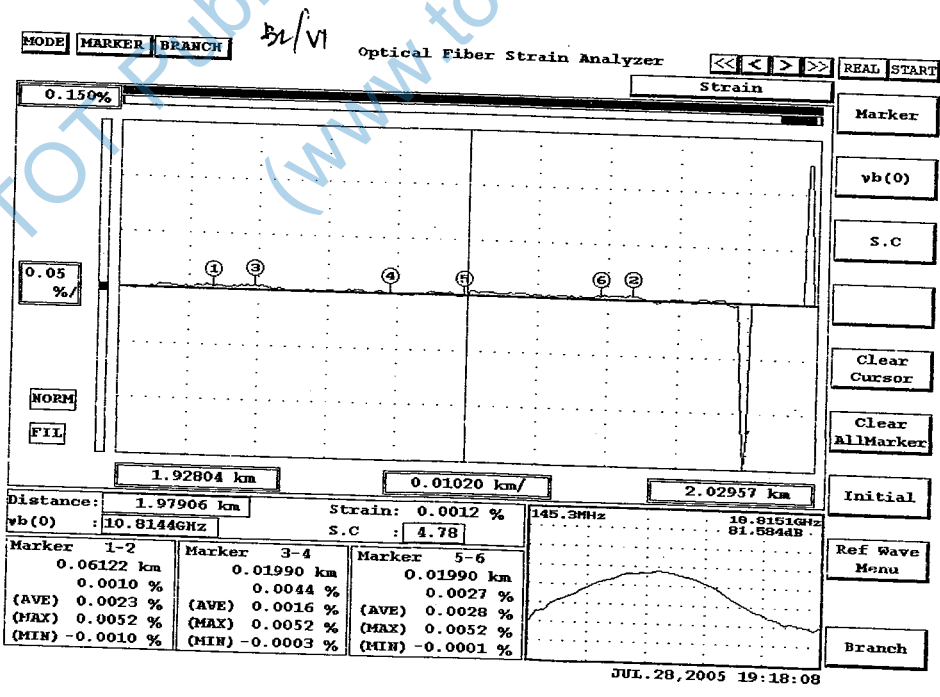
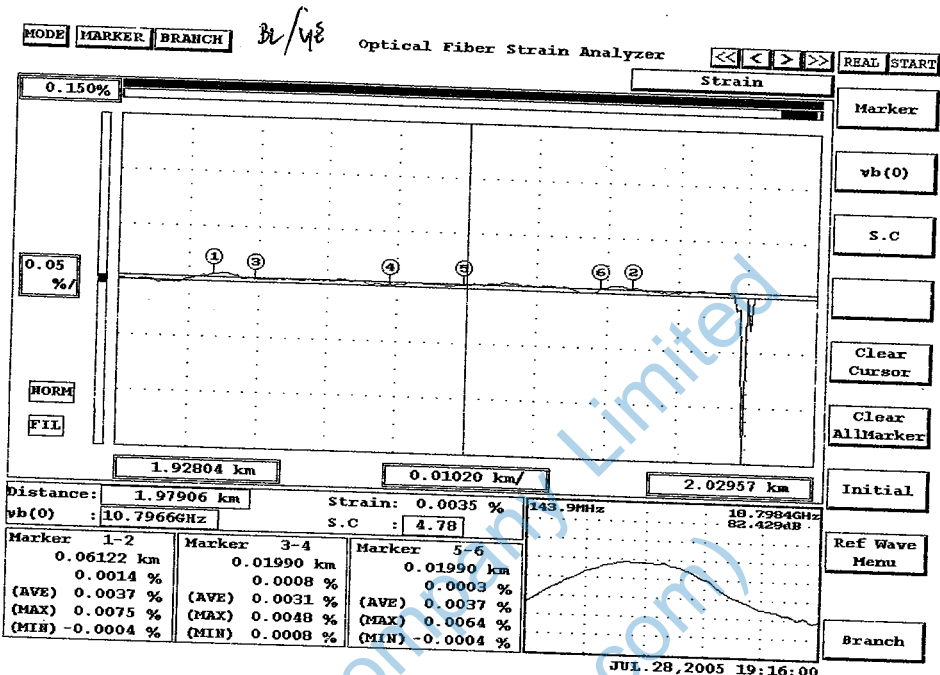
MODE MARKER BRANCH

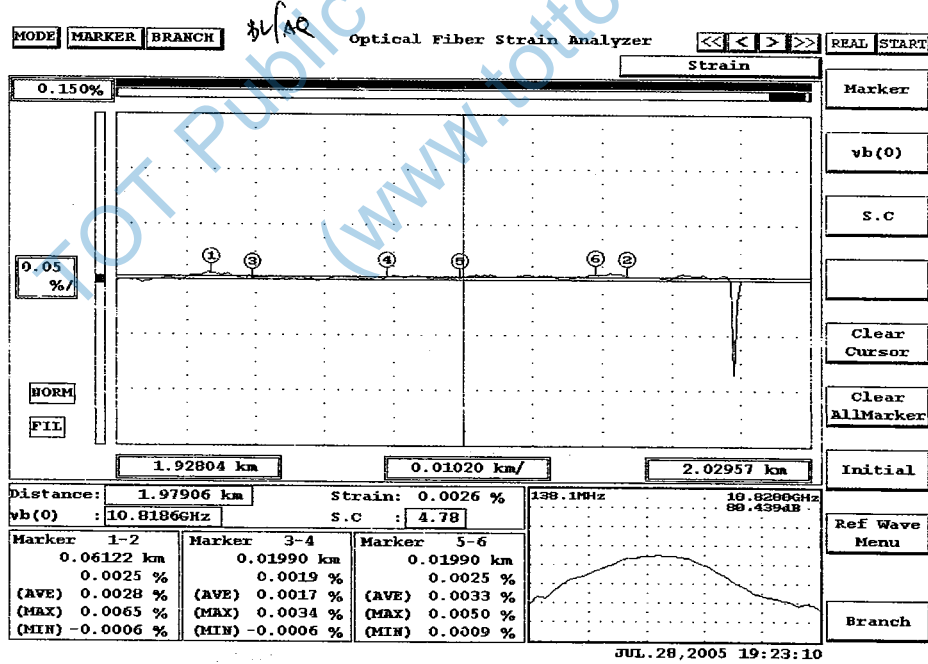
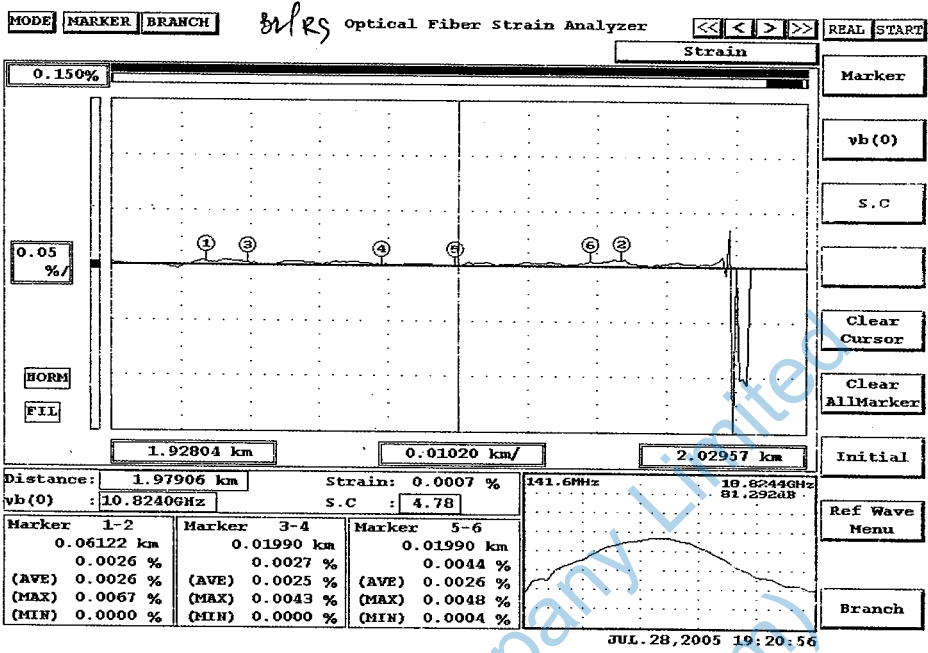
Optical Fiber Strain Analyzer











ภาคผนวก ง.

คู่มือติดตั้งสาย Optical Drop Cable
หรือ Optical Dropwire

(Optical Fiber Cable for Access service)

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)

คู่มือติดตั้งสาย Optic Dropwire (Optic Fiber Cable for Access service)

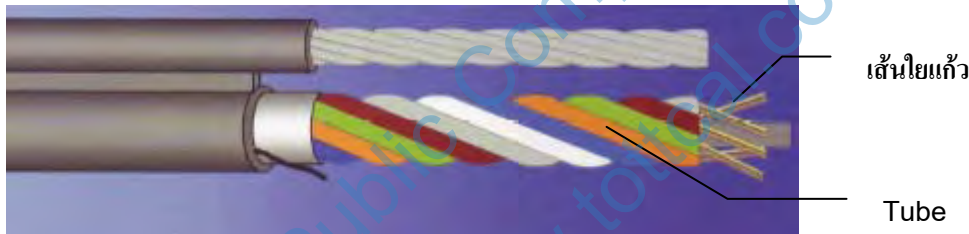
ที่มาของคู่มือ

- 1 จากปัญหาเส้นใยแก้วของสาย Optic Dropwire ที่เกิดการเคลื่อนตัวทั้งก่อนและหลังติดตั้ง
- 2 สาย Optic Dropwire ยังคงเป็นทางเลือกสำหรับโครงข่าย เนื่องจากมีการลงทุนที่ต่ำกว่าเคเบิลชนิดอื่น

ทำไมเส้นใยแก้วของสาย Optic Dropwire จึงเกิดการเคลื่อนตัว แล้วทำไมเคเบิลที่เคยใช้อยู่ไม่เป็น

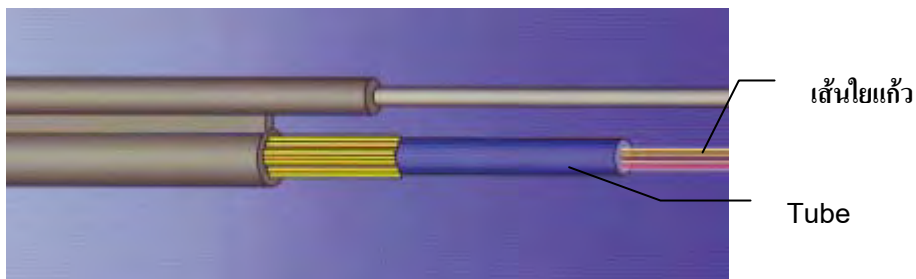
Optic เคเบิลแบบอื่น ที่เคยใช้อยู่ที่ Tube มีการบิดเกลียว

ช่วยให้เส้นใยแก้วเคลื่อนตัวยาก

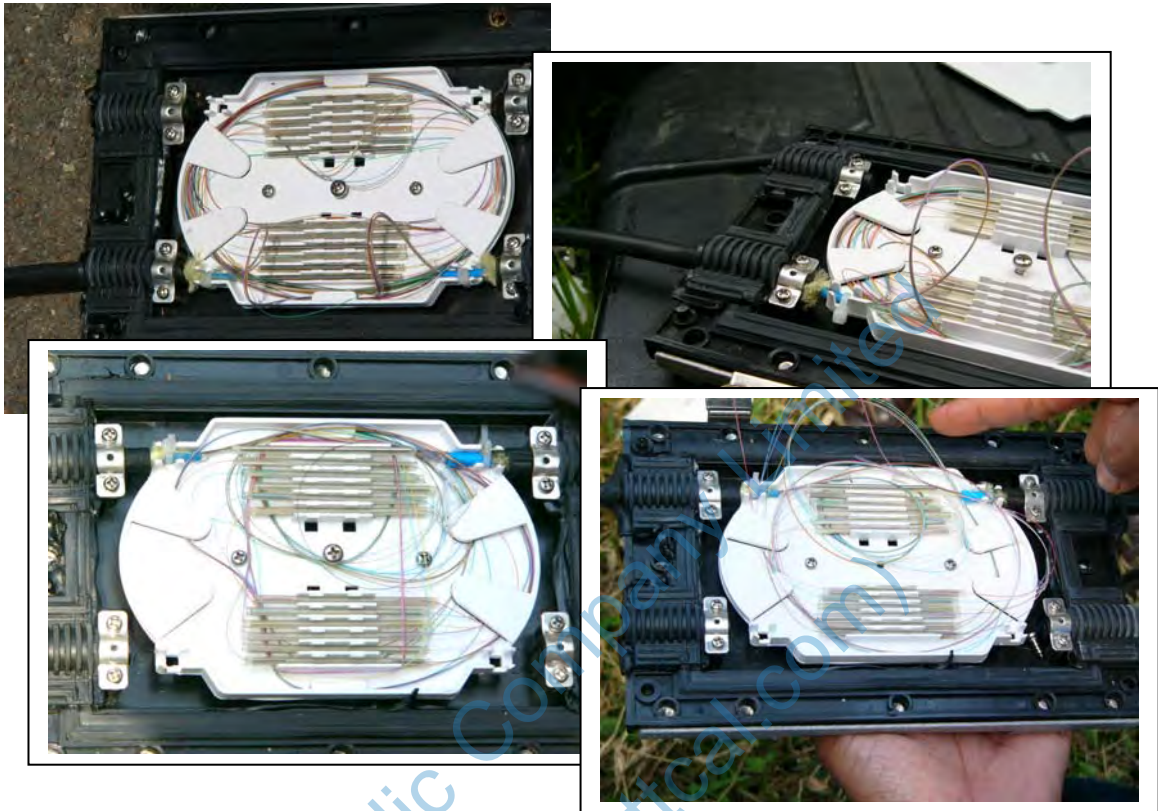


สาย Optic Dropwire ที่ Tube เป็นเส้นตรง

ไม่สามารถจำกัดการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วได้ (สังเกตได้จากเมื่อสายโค้งตัวทำให้เส้นใยแก้วเคลื่อนที่เข้าไปใน Tube และเมื่อถูกทำให้ตรงเส้นใยแก้วก็จะเคลื่อนตัวออกจาก Tube)



ตัวอย่างปัญหาที่พบ มีทั้งแบบเส้นใยแก้วเคลื่อนตัวเข้า และเคลื่อนตัวออก บริเวณภาคในหัวต่อ



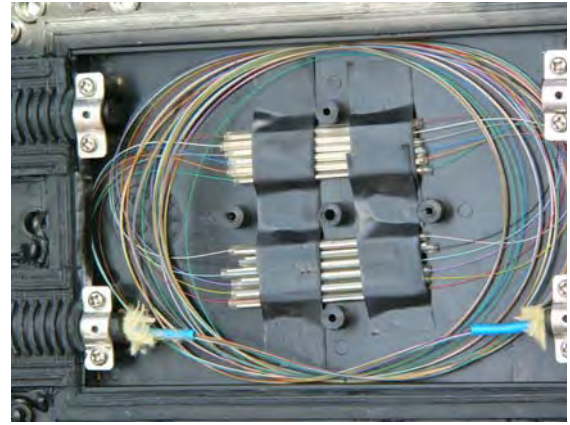
ภาพประกอบที่ 3 ปัญหาที่พบจากการเคลื่อนตัวของใยแก้ว

แนวทางการแก้ปัญหาและการติดตั้ง

1 กรณีที่ได้ติดตั้งสาย Dropwire Optic ไว้แล้ว

- 1.1 เปลี่ยนถาดใหม่^[1] ซึ่งออกแบบให้มีการเผื่อระยะให้เส้นใยแก้วสามารถเคลื่อนตัวเข้าหรือออกได้ในระดับหนึ่ง
- 1.2 ถ้ายังไม่มีถาดตามข้อ 1.1 แก้วเฉพาะหน้าโดยนำถาดเดิมออก และให้จัดเส้นใยแก้วให้อยู่ภายในหัวต่อโดยไม่ต้องใช้ถาด เพื่อให้เส้นใยแก้วมีอิสระในการเคลื่อนตัว ตามภาพประกอบที่4

[1] อยู่ระหว่างดำเนินการร่วมกับ หจก. SJP ในการออกแบบและผลิต

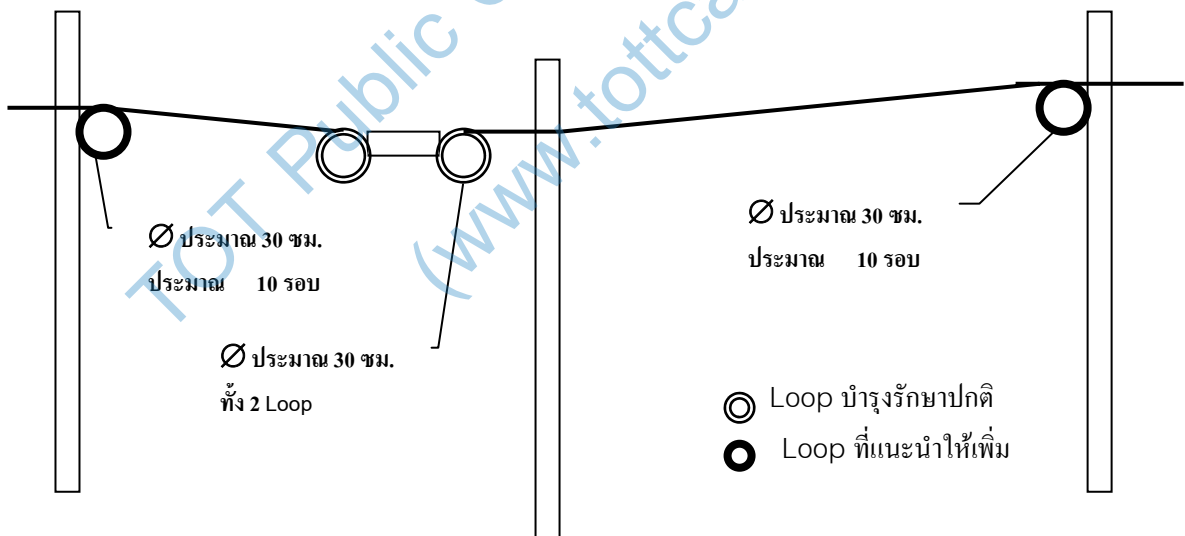


ภาพประกอบที่ 4 การจัดใยแก้วในหัวต่อโดยไม่ใช้ถาด

2 กรณีติดตั้งสาย Dropwire Optic

ใหม่

- 2.1 หลังจากติดตั้งสายแล้วให้เปิด Cab หัวทำยออก เพื่อให้เส้นใยแก้วเคลื่อนที่อย่างอิสระไม่น้อยกว่า 3 วัน ก่อนการตัดต่อ
- 2.2 เพิ่มการ Loop สาย \varnothing 30 ซม. ประมาณ 10 รอบ นอกเหนือจากการ Loop เพื่อนำหัวต่อขึ้นลงจากเสา (บำรุงรักษา) จะช่วยให้เส้นใยแก้วเคลื่อนตัวยากขึ้น ดังนั้นควรดำเนินการดังนี้
 - 2.2.1 Loop ระหว่างหัวต่อ 1 ช่วงเสา ตามภาพประกอบที่ 5



ภาพประกอบที่ 5 การเพิ่ม Loop เพื่อแก้ปัญหาใยแก้วเคลื่อนตัว

- 2.2.2 Loop ทุกระยะ 1,000 เมตร
- 2.3 การตัดต่อโดยใช้ถาดใหม่^[1] ซึ่งออกแบบให้มีการเผื่อระยะให้เส้นใยแก้วสามารถเคลื่อนตัวเข้าหรือออกได้ในระดับหนึ่ง

[1] อยู่ระหว่างดำเนินการร่วมกับ หจก. SJP ในการออกแบบและผลิต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Characteristics of a Single-Mode Fiber Optic and Cable International Telecommunication Union (ITU-T) Recommendation G.652 (03/2003) p 6 -11
- [2] Ericsson Network Technologies AB SWEDEN Fiber Optical Cable GRCLCV 4-192 Fibers Concentric Core Design, Loose Tube Self-Supporting. "Figure-8"
- [3] Hitachi Bangkok Cable Co., LTD. Specification for Single Mode Fiber Optic Aerial Cable 12 Core Specification No. SPO-05-007, January 21, 2005 (DE-F002/1-2)
- [4] Fiber Optic Installer's Field Manual Bob Chomycz. A Division of the McGraw-Hill Companies.
- [5] Fiber Optic Fundamentals Vol.17 ABC of the Telephone. Published by ABC Tleltraining, Inc.
- [6] TOT Corporation Public Company Limited outside Plant Engineering Standard Section "Single Mode Fiber Optic Cable Specification" No. OES-004-030-01 Issued: November 2004
- [7] 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
- [8] TOT Corporation Public Company Limited outside Plant Engineering Standard Section "Optical Fiber Cable for Access Service (Compact Optical Fiber Cable)" Specification No. OES-004-032-01 Issued: August, 2005
- [9] Optical Operation & Maintenance (โครงการ TNEP) แผนกวิชาสายต่อนอก ฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคล บริษัท ทศท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) หน้า 1-26, มีนาคม 2546