



รายงานผลการวิจัยและพัฒนา

ออกแบบสาย New Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ

New Access OFC Cable Design without Metal Components

โดย

นายอนุรุต อุทัยรัตน์

คณะทำงาน

นายสมบัติ สุนทรบัณฑิตย์

นายนพพร พันธุ์ต่ำ

นายพิสันต์ พงษ์ไชยโสภณ

นายสรรเสริญ ทรงเผ่า

นายชินภาส มุขเจริญผล

นายสมพงษ์ น้อมนำทรัพย์

นายพิพัฒน์ จงรักวิทย์

นายกนกศักดิ์ อารงลักษณ์รัตน์

นายประเสริฐ ไวภิกติพงษ์

นายสุวินชัย เจริญนนท์วัฒน์

นายทวี จะเกร็ง

นายณฤทธิ์สมเจริญ สำเภาพล

หน่วยธุรกิจขายและบริการลูกค้านครหลวง

บริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน)



รายงานผลการวิจัยและพัฒนา

ออกแบบสาย New Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ New Access OFC Cable Design without Metal Components

ชนิดของรายงาน

ผลการศึกษา

ผลการวิจัย


ผลการสำรวจ

ชนิดของรายงาน

ลับ

เฉพาะ บมจ. ทีโอที

ทั่วไป


.....
(นายอนุรุต อุทัยรัตน์)

รองกรรมการผู้จัดการใหญ่หน่วยธุรกิจขายและบริการลูกค้านครหลวง

21 / ne. / 63

สรุปผู้บริหาร

เทคโนโลยีสื่อสารมีความต้องการสื่อสารด้วยเสียง (Voice) และข้อมูล (Data) ผ่านบริการ Broadband ด้วย IP Network ในปริมาณข้อมูลบนโครงข่ายที่เพิ่มขึ้น ตัวกลางส่งผ่านสัญญาณจึงต้องปรับเปลี่ยนจากเคเบิลทองแดง (Copper Cable) มาเป็นเคเบิลใยแก้วนำแสง (OFC: Optical Fiber Cable) ด้วยบริการ FTTx (Fiber to the x)

เคเบิลใยแก้วนำแสงบริการ FTTx อยู่ในกลุ่มบริการปลายทาง (Last Mile) ของโครงข่าย ODN (Optical Distribution Network) ความยาวเส้นใยแก้วนำแสงไม่เกิน 20 กิโลเมตร จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่มาจากชุมสายมีจำนวนมาก การติดตั้งกับเสาไฟฟ้าจะอยู่รูปของสาย OFC ก่อนแยกกระจายผ่านอุปกรณ์ Splitter Optic ไปยังผู้รับบริการแต่ละรายผ่านสาย Access OFC

ระเบียบการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ปี พ.ศ. 2563 ว่าด้วยหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารบนเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง ห้ามแขวนสายสื่อสารทุกชนิดที่มีสายสะพานรับแรงดึง (Messenger Wires) โลหะกับเสาของ กฟน. ส่งผลกระทบต่อโครงข่าย ODN (Optical Distribution Network) ของ บมจ.ทีโอที ที่ใช้สาย Access OFC ชนิด OFC Round Type ขนาด 1 และ 2 F โครงสร้างมีสายสะพานรับแรงดึงโลหะเป็นส่วนประกอบ

จากปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการให้บริการดังกล่าว บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ได้มีคำสั่ง บมจ.ทีโอที ที่ ต.5/2561 “คณะทำงานดำเนินการพิจารณาหลักเกณฑ์ เงื่อนไข ข้อบังคับ และระเบียบวิธีปฏิบัติต่าง ๆ ของการไฟฟ้านครหลวง” โดยมี นายอนุรุต อุทัยรัตน์ รจณ.น. (รองกรรมการผู้จัดการใหญ่ หน่วยธุรกิจขายและบริการลูกค้านครหลวง) เป็นหัวหน้าคณะทำงาน และได้เชิญสถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) ศึกษาวิจัยออกแบบสายกระจาย และ/หรือ หาแนวทางแก้ไขปัญหารองรับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารปี พ.ศ. 2563 ของ กฟน.

ทีมงานประกอบด้วยพนักงาน บมจ.ทีโอที ที่เกี่ยวข้อง คณาจารย์มหาวิทยาลัยมหานคร ธุรกิจเคมิกอลส์ เอสซีจี บริษัทไฟเบอร์ ออฟติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM) และบริษัท พี.ยู.บี. แอค เซสซอรีส์ จำกัด ร่วมวิจัยออกแบบสาย New Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ ใช้วัสดุ FRP (Fiber Reinforced Plastic) ทดแทนโลหะโครงสร้างคล้ายสาย ADSS FRP OFC (ADSS FRP Armoured Optical Fiber Cable) พร้อมกันนี้ทีมงานได้คัดเลือกและออกแบบอุปกรณ์จับยึดขึ้นมา เฉพาะ ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและทดลองติดตั้งใช้งานจริงในสนาม สามารถทดแทนสาย Access OFC ชนิด OFC Round Type ของโครงข่าย ODN ได้

ออกแบบสาย New Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ
New Access OFC Cable Design without Metal Components

นาย อนรุต อุทัยรัตน์¹ และคณะ

Anurut Uthairat and Team

บทคัดย่อ

ระเบียบการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ปี พ.ศ. 2563 กำหนดหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารกับเสาของ กฟน. ห้ามแขวนสายสื่อสารทุกชนิดที่มีสายสะพานรับแรงดึง (Messenger Wires) โลหะกับเสาของ กฟน. ส่งผลกระทบต่อโครงข่าย ODN (Optical Distribution Network) ของ บมจ.ทีโอที ที่ใช้สาย Access OFC ชนิด OFC Round Type ขนาด 1 และ 2 F โครงสร้างมีสายสะพานรับแรงดึงโลหะเป็นส่วนประกอบ จากปัญหาข้างต้นที่ทีมงานได้วิจัยออกแบบสาย New Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ ใช้วัสดุ FRP (Fiber Reinforced Plastic) ทดแทนโลหะโครงสร้างคล้ายสาย ADSS FRP OFC (ADSS FRP Armoured Optical Fiber Cable) พร้อมกันนี้ทีมงานได้คัดเลือกและออกแบบอุปกรณ์จับยึดขึ้นมาเฉพาะ ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและทดลองติดตั้งใช้งานจริงในสนาม สามารถทดแทนสาย Access OFC ชนิด OFC Round Type ของโครงข่าย ODN ได้

Abstract

The Metropolitan Electricity Authority's regulation (MEA), B.E. 2020, has defined the restriction regarding the suspension of all communication cable with metallic messenger wires on the MEA's pillars. This would affect the ODN (Optical Distribution Network) of TOT PLC. That used the Access OFC type OFC Round Type 1 and 2F in which the component of the messenger wire is metal. According to the mentioned issue, the team has researched and newly designed the structure of the New Access OFC cable without metal by using FRP (Fiber Reinforced Plastic) material to replace the metal component which is similar to the structure of ADSS FRP OFC cable (ADSS FRP Armored Optical Fiber Cable). The team also has developed the specific gripping devices for this new structure cable. The Laboratory results and actual installation in the field assured that the New Access OFC cable without metal component can be used as a replacement of the Access OFC type OFC Round Type in TOT ODN network.

Key Word: Optical Fiber Cable, ADSS FRP Armored Optical Fiber Cable, Rodent

E-mail: naritsos@tot.co.th

¹ หน่วยธุรกิจขายและบริการลูกค้านครหลวง บริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน)

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของงานวิจัยการออกแบบสาย New Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะนี้ สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือของพนักงานทั้งในระดับผู้บริหารและพนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่ในสนามของบริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) หรือ บมจ.ทีโอที ทั้งนครหลวงและภูมิภาคที่ให้ข้อมูลคำแนะนำและเป็นสนามทดลองในการเก็บข้อมูล และบริษัทที่ร่วมวิจัยผลิตต้นแบบเคเบิล อุปกรณ์จับยึด อุปกรณ์ติดตั้งใช้งานทั้งในประเทศและต่างประเทศ ที่สนับสนุนต้นแบบ ข้อมูลด้านวิชาการ ร่วมวิเคราะห์แนวทางในการแก้ไขปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยมหานคร บริษัทไฟเบอร์ ออปติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM) บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด (SCG Chemicals Co., Ltd.) และบริษัท อินเทอร์เน็ต คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (มหาชน) ให้คำปรึกษาและสนับสนุนการผลิตสายต้นแบบอย่างดียิ่ง และอาจมีอีกหลายส่วนงานที่มีได้กล่าวถึง คณะทำงานขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้และหวังว่าคงได้รับความร่วมมือจากทุกท่านในโอกาสต่อไป

ขอขอบพระคุณ

ที่ปรึกษาโครงการวิจัยฯ

รศ.ดร.อริศม ฤกษ์บุตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.ดร.สมมาตร แสงเงิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ผู้บริหาร บมจ.ทีโอที จำกัดมหาชน

นายมรกต เจริญมนตรี รักษาการกรรมการผู้จัดการใหญ่
นายนายสุรเชษฐ์ ศรีพลกรัง ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่สำนักสนับสนุนโครงสร้างพื้นฐาน

สังกัด สถาบันนวัตกรรม ทีโอที

นายรณยุทธ ประเสริฐประศาสน์	นายชัยฤทธิ์ ศรีดาวงษ์	นายทศไฉน เลานวัฒนา
นายศักดิ์สิทธิ์ จิระเสวี	นายทรงพล สงวนรัตน์	นายไพศาล แข่งเจริญ
นายกิตติโชค บุญชัยยะ	นายดิเรก เย็นนภา	นายดำริห์ ตรีจรรุญ
ว่าที่ร้อยตรีชัชวาล จันทกรกุล	นายประกิจ รักชีพ	นายกฤศ ศรีวิลาศ
นายวรวิทย์ อรชร	นายเมธี สุมานะนันท์	นายสันติภาพ แสงจันทร์
นางปิ่นณพร รักชีพ	นางสุภามาส แข่งเจริญ	นายสุชาติ เหมือนจีน
นายสุรัฐ เจียมเจริญ		

สังกัด ส่วนพัฒนาโทรศัพท์ประจำที่และบรอดแบนด์

นายเลอศักดิ์ พลธงชัยสวัสดิ์	นายพีรพงษ์ นิยมสินธุ์	นายรัตนะ มั่งมุล
นายพรหมเทพ ว่องวัฒนวิบูลย์		

สังกัด นครหลวง 1.

นายกำสดาล ไพโรจน์อนันต์	นายกมล ดั่งแดงโชติ	นายกฤษดา รุ่งวชิรา
นายสมเจตก์ จื่อทรงวง	นายประวิทย์ วงศ์บุญมี	นายพงษ์พันธ์ หมั่นใจ
นายกิตติศักดิ์ เชื้อเวียง	นายชัยวุฒิ เทิดทูลกุล	นายภาสกร ตุ่มธรรมรงค์

สังกัด นครหลวง 2.

นายชาลี บัวทอง	นายสมชาย เณรยอด	นายจำนงค์ จันทร์งาม
นายธนศักดิ์ ธรรมพงษ์	นายธีระวัฒน์ ล้ออวยพร	นายสุทิน ผลโพธิ์
นายศุภชัย รัตนะ	นายวสันต์ เจริญผล	นายพิทยา รักนาม
นายชวลิต ลาวัณ	นายวัลลภ สุกพันธ์ดี	นายสุนทร อารามรมณ์
นายวรพันธ์ ชันธมาลา	นายยุทธนา ชาวลิต	นายชนัญฐิติ ไตรสนธิ์
นายทองแท้ ทองทิพย์		

สังกัด นครหลวง 3.

นายนันทพงศ์ ลักษณะเจริญสิน	นายอนุกุล หลินแดง	นายปิยะ เหลืองถกลไทย
นายศักดิ์พร เป้าสุวรรณ	นายธวัชชัย ศิลงวงศ์	นายชาญวิศว์ มณีศรี
นายณรงค์ ชนาก	นายธรรมธร ชีวรังสรรค์	นายปิยะพงษ์ อภัยพรมมา
นายสุจินดา จันทร์พิม	นายสมชาย ทพย์สุมนชม	

หน่วยงานภายนอก บริษัท ทีไอที

บริษัทไฟเบอร์ ออปติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM)

นายสุรชัย เสรีวิริยะกุล	นางพิบูลย์ศรี สมบูรณ์	นายสิริชัย เสรีวิริยะกุล
นายเอกลักษณ์ บินยัง	นายจักรี จันทร์หอม	นางสาวอัมพรพรรณ จดจำ

บริษัท พี.ยู.บี. แอคเซสซอรี่ จำกัด (P.U.B.)

นางศิริวรรณ ภูประดิษฐ์	นายประสพสุข ภูประดิษฐ์	นายไพโรจน์ ศิริโยธา
------------------------	------------------------	---------------------

ธุรกิจเคมีคอลส์ เอสซีจี (SCG)

นายสุรชัย ภัคต์วิไลเกียรติ	นางสาวธนวรรณ คลังธนบูรณ์	นายณัฐวุฒิ วิวัฒน์เจริญชัย
นางสาวพิมพ์พา สุวรรณพุกษา	นายกิตติชิน ปลั่งพงษ์พันธ์	นางสาวเยาวมาลย์ อังกิจไพบูลย์
นางสาวพรทิพย์ ตั้งจาริตสกุล	นายวีรวัฒน์ ศรีประไพ	นายถวิวัฒน์ ก้อนคำ
นางสาววาริรมย์ พลรัตน์	นางสาวศุภานัน สมโลก	นายปิยะวัฒน์ ศุภศรีรุ่งเจริญ
นายธนากร รัชฤทธิ์	นายประกอบ จินตามณีพล	นายเชมชิต ทองไกรแสน
นายอติชาติ มโนหรรทัด		

บริษัท อินเทอร์เน็ต คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (มหาชน)

นายสมบัติ อนันตรัมพร	นายณัฐนัย อนันตรัมพร	นายประภาส ลิ้มกังวาฬมงคล
นายอภิชาติ พงศ์นา		

และอาจมีอีกหลายส่วนงานที่มีได้กล่าวถึง คณะทำงานขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้
และหวังว่าคงได้รับความร่วมมือจากทุกท่านในโอกาสต่อไป

คณะทำงาน

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและสภาพปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย	4
1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย	4
1.4 ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่ บมจ.ทีโอที จะได้รับ	5
บทที่ 2. ข้อมูลสาย Access OFC และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 โครงสร้างเคเบิลใยแก้วนำแสง	6
2.1.1 ใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)	6
2.1.2 โครงสร้างสายเคเบิลใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable)	9
2.1.3 การเดินทางของแสงในใยแก้วนำแสง	10
2.2 การลดทอนของสัญญาณในใยแก้วนำแสง (Fiber Loss)	11
2.2.1 การลดทอนสัญญาณ (Attenuation)	11
2.2.2 การผิดเพี้ยนในการเดินทางของสัญญาณแสงในใยแก้วนำแสง (Dispersion)	16
2.3 กระบวนการผลิตสายเคเบิลใยแก้วนำแสง	18
2.3.1 กระบวนการผลิตสายเคเบิลใยแก้วนำแสง	20
2.3.2 ระยะเวลาการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Induction Time, OIT)	23
2.3.3 การตรวจสอบคุณภาพสายเคเบิลใยแก้วนำแสง	24
2.3.3.1 ทดสอบคุณสมบัติทางกล (Mechanical Characteristics Test)	24
2.3.3.2 ทดสอบคุณสมบัติทางกล (Mechanical Characteristics Test)	25
2.3.3.3 ทดสอบคุณสมบัติทางกล (Mechanical Characteristics Test)	27
2.3.3.4 Flexing/Repeat Bending Test (การทดสอบการโค้งงอซ้ำ)	27
2.3.3.5 Water Penetration (การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ)	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3.6 Twisted Test (การทดสอบแรงบิด)	29
2.3.3.7 Bending Test (การทดสอบการโค้งงอ)	30
2.3.3.8 Temperature Cycling Test (การทดสอบวัฏจักรอุณหภูมิ)	30
2.4 บริการ FTTx	32
2.5 สาย Optical Fiber Drop Cable (OFC Round Type)	33
2.6 สาย Access OFC และวิธีการติดตั้งในต่างประเทศ	36
2.7 การรับแรงดึงสาย Access OFC	37
2.8 สรุป	41
บทที่ 3. ออกแบบสาย New Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ	42
3.1 คุณสมบัติและโครงสร้างสาย Access OFC ที่ใช้งานเดิม	42
3.2 ออกแบบสาย New Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ	45
3.2.1 วัสดุรับแรงดึงที่ไม่ใช่โลหะ	45
3.2.1.1 วัสดุรับแรงดึง FR	46
3.2.1.2 วัสดุรับแรงดึง GFRP	47
3.2.1.3 วัสดุรับแรงดึง AFRP or KFRP	47
3.2.1.4 วัสดุรับแรงดึง CFRP	48
3.2.1.5 วัสดุรับแรงดึง Nylon-12	49
3.3 ออกแบบสาย New Access OFC ที่ไม่มีโลหะ	50
3.3.1 ออกแบบสาย New Access OFC	50
3.3.1.1 ออกแบบสาย New Access OFC Version 1.	51
3.3.1.2 ออกแบบสาย New Access OFC Version 2.	51
3.3.1.3 ออกแบบสาย New Access OFC Version 3.	52
3.3.1.4 ออกแบบสาย New Access OFC Version 4.	60
3.4 อุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4.	67
3.4.1 อุปกรณ์จับยึดสาย Round Type OFC	67
3.4.2 อุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4.	69
3.4.3 ออกแบบอุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4.	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 สรุป	75
บทที่ 4. ทดลองติดตั้งภาคสนาม	78
บทที่ 5. สรุป	87
ภาคผนวก ผลทดสอบต้นแบบสาย New Access OFC Version 4.	
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพประกอบที่ 1.1	โครงข่ายบริการ FTTx	3
ภาพประกอบที่ 2.1	โครงสร้างเส้นใยแก้วนำแสง	10
ภาพประกอบที่ 2.2	การเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด (MM)	10
ภาพประกอบที่ 2.3	Index Profile ซ้ายมือแบบ Step Index ขวามือแบบ Graded Index	11
ภาพประกอบที่ 2.4	แสดง Index ของ Single Mode Optical Fiber	11
ภาพประกอบที่ 2.5	การกระจายการกระจายแสงแบบเรย์เลห์	13
ภาพประกอบที่ 2.6	แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแนวตรง	14
ภาพประกอบที่ 2.7	การลดทอนของสัญญาณเกิดจากการนำเส้นใยแก้วนำแสงไปใช้งาน	14
ภาพประกอบที่ 2.8	แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอ	15
ภาพประกอบที่ 2.9	การสูญเสียแสงที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง	16
ภาพประกอบที่ 2.10	ปรากฏการณ์ Chromatics Dispersion	17
ภาพประกอบที่ 2.11	ปรากฏการณ์ Polarization Mode Dispersion	17
ภาพประกอบที่ 2.12	ปรากฏการณ์ Impact of Dispersion on the System	17
ภาพประกอบที่ 2.13	กระบวนการ Glass Lathing Process	20
ภาพประกอบที่ 2.14	กระบวนการ Drawing Fiber Process	21
ภาพประกอบที่ 2.15	กระบวนการ Proof Test Process	21
ภาพประกอบที่ 2.16	กระบวนการ Coloring Process	21
ภาพประกอบที่ 2.17	กระบวนการ Loose Tube Process	22
ภาพประกอบที่ 2.18	กระบวนการ SZ Stranding Process	22
ภาพประกอบที่ 2.19	กระบวนการ Sheathing Process	23
ภาพประกอบที่ 2.20	ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบความทนทานต่อแรงดึง	25
ภาพประกอบที่ 2.21	แสดงตัวอย่างเครื่องมือทดสอบความทนทานต่อแรงดึง	25
ภาพประกอบที่ 2.22	ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก	26
ภาพประกอบที่ 2.23	แสดงตัวอย่างเครื่องมือทดสอบแรงกระแทก	26
ภาพประกอบที่ 2.24	ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบแรงอัดและเครื่องมือทดสอบแรงอัด	27
ภาพประกอบที่ 2.25	ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบการโค้งงอซ้ำและเครื่องมือทดสอบการโค้งงอซ้ำ	28
ภาพประกอบที่ 2.26	ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบการซึมผ่านของน้ำและเครื่องมือทดสอบฯ	29
ภาพประกอบที่ 2.27	ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบแรงบิดและเครื่องมือทดสอบแรงบิด	29
ภาพประกอบที่ 2.28	แสดงเครื่องมือทดสอบการโค้งงอ	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 2.29	แสดงช่วงเวลาการตั้งค่าอุณหภูมิของผู้ควบคุมอุณหภูมิ	31
ภาพประกอบที่ 2.30	แสดงเครื่องมือทดสอบวัฏจักรอุณหภูมิ (ผู้ควบคุมอุณหภูมิ)	31
ภาพประกอบที่ 2.31	ความยาวคลื่นแสงที่ให้บริการบนโครงข่าย FTTx	32
ภาพประกอบที่ 2.32	โครงข่าย ODN แบบรวมศูนย์กลาง (Centralized)	33
ภาพประกอบที่ 2.33	โครงข่าย ODN แบบกระจาย (Distributed)	33
ภาพประกอบที่ 2.34	โครงสร้างสาย Access OFC ชนิด OFC Flat Type	34
ภาพประกอบที่ 2.35	สาย Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1F (A) และ 2F (B)	35
ภาพประกอบที่ 2.36	สายชนิดป้องกันสัตว์กัดแทะ OFC Armoured Round Type 1F	35
ภาพประกอบที่ 2.37	อุปกรณ์ติดตั้งสาย Access OFC ที่มีโครงสร้างสายแบน	36
ภาพประกอบที่ 2.38	อุปกรณ์ติดตั้งสาย Access OFC ที่มีโครงสร้างสายกลม	36
ภาพประกอบที่ 2.39	วิธีการติดตั้งสาย Access OFC ที่มีสายสะพานรับแรงดึง	37
ภาพประกอบที่ 2.40	วิธีการติดตั้งสาย Access OFC ที่มีสายสะพานรับแรงดึง	37
ภาพประกอบที่ 2.41	ทิศทางการรับแรงและสัญลักษณ์ในการคำนวณการรับแรงแนวระดับ เดียวกัน	38
ภาพประกอบที่ 2.42	ทิศทางการรับแรงและสัญลักษณ์ในการคำนวณการรับแรงแนวระดับ เดียวกัน	39
ภาพประกอบที่ 3.1	โครงสร้างสาย Access OFC ที่มีสายสะพานรับแรงดึงผลิตจากเส้นลวด โลหะ	43
ภาพประกอบที่ 3.2	ทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสาย Round Type OFC	44
ภาพประกอบที่ 3.3	ตำแหน่ง Loop สาย New Access OFC ก่อนเข้าอาคารหรือตำแหน่ง เสาไฟฟ้า	46
ภาพประกอบที่ 3.4	วัสดุรับแรงดึง FRP	46
ภาพประกอบที่ 3.5	วัสดุรับแรงดึง GFRP	47
ภาพประกอบที่ 3.6	KFRP/AFRP รูปแบบแกนตันที่ใช้รับแรงดึงในสายเคเบิลสื่อสาร	48
ภาพประกอบที่ 3.7	เส้นใย CFRP ที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรม	48
ภาพประกอบที่ 3.8	เส้นใย Nylon12	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 3.9	ตัวอย่างสาย Access OFC ที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ	50
ภาพประกอบที่ 3.10	สายต้นแบบ Access OFC แบบไม่มีโลหะ Version 1.	51
ภาพประกอบที่ 3.11	ร่างสายต้นแบบ Access OFC แบบไม่มีโลหะ Version 2.	52
ภาพประกอบที่ 3.12	ร่างสายต้นแบบ Access OFC Version 3.	52
ภาพประกอบที่ 3.13	สายต้นแบบ New Access OFC Version 3.	53
ภาพประกอบที่ 3.14	ทดสอบค่า Attenuation สายต้นแบบ New Access OFC V.3 ด้วย เครื่อง OTDR	54
ภาพประกอบที่ 3.15	ทดสอบการรับแรงดึงสาย New Access OFC V.3	55
ภาพประกอบที่ 3.16	กราฟทดสอบการรับแรงดึงสาย New Access OFC V.3 ความเร็ว ทดสอบต่างกัน	56
ภาพประกอบที่ 3.17	วัดโครงสร้างสาย New Access OFC V.3	56
ภาพประกอบที่ 3.18	ทดสอบการป้องกันการลามไฟสาย New Access OFC V.3	57
ภาพประกอบที่ 3.19	ทดลองเชื่อมต่อสาย New Access OFC V. 3 กับเส้นใยแก้วแบบต่าง ๆ	58
ภาพประกอบที่ 3.20	ตำแหน่งการวางเส้นใยแก้วนำแสงและการจับยึดบนเครื่อง Fusion Splicer	59
ภาพประกอบที่ 3.21	วางเส้นใยแก้วนำแสงกับ Holder 3.50 <i>mm</i> และภาพจากเครื่อง Fusion Splicer	60
ภาพประกอบที่ 3.22	โครงสร้าง ADSS FRP OFC กับร่างสายต้นแบบ New Access OFC V.4	60
ภาพประกอบที่ 3.23	สายต้นแบบ New Access OFC V.4	61
ภาพประกอบที่ 3.24	วัดโครงสร้างสาย New Access OFC V.4	63
ภาพประกอบที่ 3.25	ทดสอบการโค้งงอสายต้นแบบ New Access OFC V.4 บนแกนรัศมี 10.00 <i>mm</i> และ 6.25 <i>mm</i>	64
ภาพประกอบที่ 3.26	กราฟเปรียบเทียบการรับแรงดึงแบบทำลายสาย Access OFC แต่ละ ชนิด	65
ภาพประกอบที่ 3.27	ทดลองเชื่อมต่อสายต้นแบบ New Access OFC V.4 กับสาย OFC ที่ เกี่ยวข้อง	66
ภาพประกอบที่ 3.28	อุปกรณ์ของ กฟน. สำหรับคล้องเกี่ยวอุปกรณ์จับยึดสาย Access OFC	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 3.29	ตัวอย่างอุปกรณ์จับยึดสาย Access OFC แนวตรง	68
ภาพประกอบที่ 3.30	อุปกรณ์จับยึดสายกลมแนวตรง	70
ภาพประกอบที่ 3.31	ทดสอบจับยึดอุปกรณ์ฯ รองรับสายกลมแนวตรงพร้อมวัดค่า Loss	70
ภาพประกอบที่ 3.32	กราฟค่าแรงดึงอุปกรณ์จับยึดสายกลมแนวตรง	71
ภาพประกอบที่ 3.33	ปรับปรุงห่วงคล้องอุปกรณ์จับยึดสายกลมแนวตรง	71
ภาพประกอบที่ 3.34	อุปกรณ์จับยึด Tangent (ซ้ายมือ) และ Deadends (ขวามือ)	72
ภาพประกอบที่ 3.35	ออกแบบอุปกรณ์จัดยึด Tangent (ซ้ายมือ) และ Deadends (ขวามือ)	72
ภาพประกอบที่ 3.36	ทดสอบแรงกระทำคงที่ต่อเนื่องอุปกรณ์จัดยึด Preformed และ Tangent	72
ภาพประกอบที่ 3.37	อุปกรณ์ Deadends จับยึดสาย New Access OFC Version 4.	74
ภาพประกอบที่ 3.38	กราฟเปรียบเทียบแรงดึงอุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4.	75
ภาพประกอบที่ 4.1	นำเสนอโครงการวิจัยฯ และตอบข้อซักถามทีมงาน บน.1.2	78
ภาพประกอบที่ 4.2	นำเสนอโครงการวิจัยฯ และตอบข้อซักถามทีมงาน บน.2.1	78
ภาพประกอบที่ 4.3	นำเสนอโครงการวิจัยฯ และตอบข้อซักถามทีมงาน บน.2.1	78
ภาพประกอบที่ 4.4	ส่งมอบสาย New Access OFC และอุปกรณ์จับยึด	79
ภาพประกอบที่ 4.5	พนักงานติดตั้งบริการ FTTx ทดลองปกอสาย New Access OFC	79
ภาพประกอบที่ 4.6	ทดลองฉนวนห่อหุ้มด้วยมือด้วยแรงดึงระดับหนึ่งฉนวนห่อหุ้มสาย New Access OFC ฉีกขาดรันทัวออก	80
ภาพประกอบที่ 4.7	พื้นที่ บน.2.1 ทดลองเชื่อมต่อสาย New Access OFC ด้วยเครื่อง Fusion Splicer กับสายที่ใช้ในโครงข่าย ODN	81
ภาพประกอบที่ 4.8	พื้นที่ บน.1.2 ทดลองเชื่อมต่อสาย New Access OFC ด้วยเครื่อง Fusion Splicer กับสายที่ใช้ในโครงข่าย ODN	81
ภาพประกอบที่ 4.9	พาดวางสาย New Access OFC ด้วยเครื่องคลี่สาย	82
ภาพประกอบที่ 4.10	สภาพสายสื่อสารที่ติดตั้งกับเสาไฟฟ้าของ กฟน.	82
ภาพประกอบที่ 4.11	อุปกรณ์จับยึด Deadends รับแรงดึงด้านเดียว	82
ภาพประกอบที่ 4.12	ติดตั้งอุปกรณ์จับยึด Deadends รับแรงดึงด้านเดียว	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 4.13	อุปกรณ์จับยึด Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้าน	83
ภาพประกอบที่ 4.14	อุปกรณ์จับยึด Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้าน	84
ภาพประกอบที่ 4.15	สาย New Access OFC ที่จับยึดด้วย Tangent	84
ภาพประกอบที่ 4.16	ติดตั้งสาย New Access OFC พื้นที่กระรอกชุกชุมทดลองการป้องกัน สัตว์กัดแทะ	85
ภาพประกอบที่ 4.17	ติดตั้งสาย New Access OFC ภายในอาคาร	85
ภาพประกอบที่ 4.18	บริการ FTTx ที่ใช้สาย New Access OFC ค่า Loss ได้ตามมาตรฐาน	86

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	PON Technical Information	2
ตารางที่ 2.1	การชักตัวอย่างของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง	24
ตารางที่ 2.2	น้ำหนักสาย Access OFC ชนิดต่าง ๆ	40
ตารางที่ 3.1	ผลการทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสาย Round Type OFC แบบต่าง ๆ	44
ตารางที่ 3.2	วัสดุรับแรงดึงกลุ่มคอมโพสิต (Composites) ที่ไม่ใช่โลหะในท้องตลาด	45
ตารางที่ 3.3	ค่า Attenuation สายต้นแบบ New Access OFC Version 3.	53
ตารางที่ 3.4	ค่า Attenuation สายตัวอย่าง New Access OFC Version 3. ด้วยเครื่องมือวัด OTDR	54
ตารางที่ 3.5	ผลการทดสอบแรงดึงแบบทำลายสาย New Access OFC Version 3.	55
ตารางที่ 3.6	ค่า OD สายต้นแบบ New Access OFC Version 3.	57
ตารางที่ 3.7	ค่า Attenuation สายต้นแบบ New Access OFC Version 4.	62
ตารางที่ 3.8	ค่า Loss สายตัวอย่าง New Access OFC Version 4. ด้วยเครื่องมือวัด OTDR	62
ตารางที่ 3.9	ค่า OD สายต้นแบบ New Access OFC Version 4.	63
ตารางที่ 3.10	ผลการทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสาย Access OFC แต่ละชนิด	65
ตารางที่ 3.11	ค่ารับแรงดึงแนวนอนสาย Access OFC แต่ละชนิดที่ได้จากการคำนวณ	69
ตารางที่ 3.12	ผลการทดสอบแรงดึงอุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4. แต่ละชนิด	74

บทที่ 1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและสภาพปัญหา

การสื่อสารปรับเปลี่ยนจากการสื่อสารด้วยเสียง (Voice) เพียงอย่างเดียวมาเป็นการส่งผ่านข้อมูล (Data) ด้วยบริการ Broadband ผ่าน IP Network จากปริมาณข้อมูลบนโครงข่ายที่เพิ่มขึ้น ตัวกลางในการส่งผ่านสัญญาณมีการปรับเปลี่ยนจากคู่สายเคเบิลทองแดง (Copper Cable) มาเป็นเคเบิลใยแก้วนำแสง (OFC: Optical Fiber Cable) ด้วยบริการ FTTx

บริการ FTTx (Fiber to the x)¹ อยู่ในกลุ่มบริการปลายทาง (Last Mile) ของโครงข่ายสื่อสาร บริการ FTTx ส่งผ่านสัญญาณสื่อสารจากศูนย์กลางสื่อสารไปยังผู้ใช้บริการ (Subscriber) ด้วยเส้นใยแก้วนำแสง จุดเด่นของเส้นใยแก้วนำแสงสามารถรองรับการรับส่งข้อมูลจำนวนมากด้วยอัตราส่งผ่านความเร็วสูง บริการ FTTx ใช้เทคโนโลยี PON (Passive Optical Network) สื่อสารแบบกระจายจากศูนย์กลางหนึ่งจุดไปยังหลายๆ จุด (Point-to-Multipoint) ด้วยเส้นใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวจากศูนย์กลางก่อนกระจายออก ณ จุดปลายทางด้วยอุปกรณ์แยกสัญญาณ ช่วยประหยัดต้นทุนในการวางคู่สายเส้นใยแก้วนำแสง

เทคโนโลยี PON กำหนดมาตรฐานโดยหน่วยงานและสำนักงานมาตรฐานทางโทรคมนาคมระดับโลก 2 องค์กร คือ ITU (International Telecommunication Union) และ IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ทำให้มีมาตรฐาน PON ให้เลือกใช้ 2 มาตรฐาน

เบื้องต้นเพื่อศึกษาคัดเลือกมาตรฐาน PON ที่เหมาะสมกับประเทศไทย บมจ.ทีโอที ทดลองใช้ FTTx ตามมาตรฐาน PON ทั้ง 2 มาตรฐาน ทดลองติดตั้งใช้งานนำร่อง ณ จังหวัดภูเก็ต ความแตกต่างของมาตรฐาน PON มีรายละเอียดดังนี้

- 1) บริการ FTTx บนมาตรฐาน EPON (Ethernet PON) หรือ GEPON ตามข้อกำหนด IEEE 802.3ah ของสหรัฐอเมริกา รับส่งข้อมูลในรูปแบบของเฟรมข้อมูล Ethernet
- 2) บริการ FTTx บนมาตรฐาน GPON (Gigabit PON) ตามข้อกำหนด ITU-T G.983 กำหนดการรับส่งข้อมูลในระดับชั้นโพรโทคอลชั้นที่ 2 (OSI Layer 2 Protocol) รองรับ ATM, GPON Encapsulate Method (GEM) และ Ethernet

¹ FTTx: x หมายถึง H= Home, B= Building/Business, C= Curb/Cabinet, N= Node, etc.

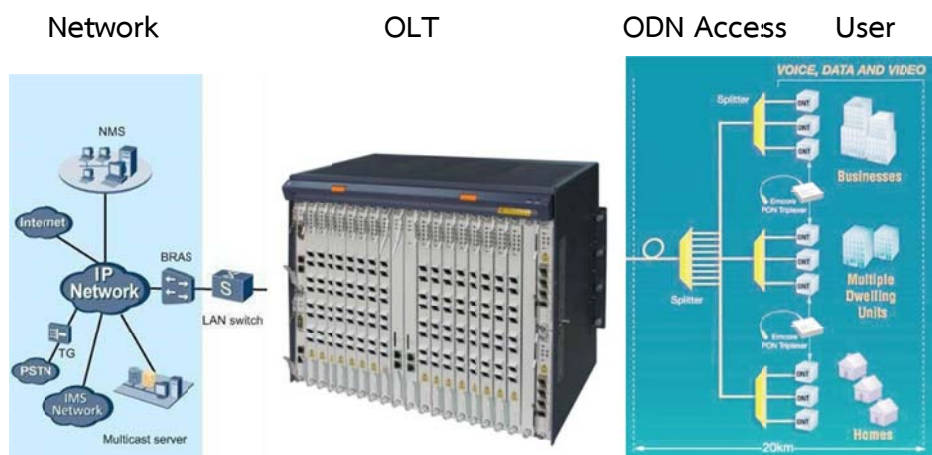
เทคโนโลยี PON ตามตารางที่ 1.1 ผลการทดลอง ณ จังหวัดภูเก็ต บมจ.ทีโอที เลือกใช้ FTTx มาตรฐาน GPON ด้วยเหตุผล GPON มีความยืดหยุ่นในการบริหารโครงข่าย มีผู้สนับสนุนอุปกรณ์ และโครงข่ายในท้องตลาดระดับโลกจำนวนมากแนวโน้มการลงทุนโครงข่ายต่ำลง

ตารางที่ 1.1 PON Technical Information

Description	EPON	GPON	XG-PON	NG-PON
Standard	IEEE 802.3 ah	ITU G.983	ITU G.987	ITU G.989
Down Stream Speed	1.25 Gbps	2.5 Gbps	10 Gbps	40 Gbps
Up Stream Speed	1.25 Gbps	1.25 Gbps	2.5 Gbps (Typical 10 Gbps)	40 Gbps (Typical 10 Gbps)
Down Stream Wave length	1,500 nm	1,490 nm	1,577 nm	WDM
Up Stream Wave length	1,310 nm	1,310 nm	1,270 nm	WDM
Layer2 Support	Ethernet	Ethernet over GEM and/or ATM	Ethernet/MPLS over Gem	Ethernet
Voice Support	TDM Packet	Ethernet over ATM/IP or Native TDM	VoIP	VoIP
Video Support	IP Video	RF Overlay (Over 1,550 nm) and/or IP Video	RF Overlay (Over 1,550 nm) and/or IP Video	RF Overlay (Over 1,550 nm) and/or IP Video
Maximum PON Splitter	16	64 (128)	Up to 254	Up to 254

โครงข่าย FTTx อยู่ในกลุ่มบริการปลายทางหรือ Last Mile ส่งผ่านสัญญาณสื่อสารบนโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสง บริการ FTTx เริ่มจากอุปกรณ์ OLT (Optical Line Terminal) เชื่อมต่อไป อุปกรณ์ ONU/ONT (Optical Network Unit/Optical Network Terminal) ปลายทางผ่านโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสง ODN (Optical Distribution Network) ตามภาพประกอบที่ 1.1

โครงข่าย ODN Access ของบริการ FTTx แบ่งเป็นแบบรวมศูนย์และแบบกระจายโครงข่าย ODN Access แบบรวมศูนย์กลาง (Centralized) เหมาะสำหรับชุมชนเมืองหนาแน่นอุปกรณ์ Splitter Optic จุดแรกจะติดตั้งในชุมสายบริการ FTTx หลังอุปกรณ์ OLT ก่อนกระจายผ่านสายเคเบิล OFC ออกรอบชุมสายฯ โครงข่าย ODN Access แบบรวมศูนย์กลางต้องใช้เส้นใยแก้วนำแสงจำนวนมาก จำเป็นต้องใช้สายเคเบิล OFC หลายเส้นหรือเส้นเดียวแต่มีขนาดโตส่งผ่านสัญญาณหลังอุปกรณ์ Splitter Optic ในชุมสายฯ ไปยังอุปกรณ์ Splitter Optic จุดที่สอง (ถ้ามี) ก่อนส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงของโครงข่าย Access OFC ไปยังผู้ใช้บริการ



ภาพประกอบที่ 1.1 โครงข่ายบริการ FTTx

โครงข่าย ODN Access แบบกระจาย (Distributed) เหมาะสำหรับชุมชนที่ไม่หนาแน่นหรือชุมชนที่กระจุกตัวห่างจากชุมสายฯ อุปกรณ์ Splitter Optic จุดแรกจะอยู่ในตำแหน่งระหว่างทางรัศมี 20 กิโลเมตร ซึ่งเป็นความยาวสูงสุดของเส้นใยแก้วนำแสงตามมาตรฐาน FTTx โครงข่าย ODN Access แบบกระจายใช้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงน้อยกว่า ดังนั้นขนาดสายเคเบิล OFC ที่พาดบนเสาไฟฟ้าจะมีขนาดเล็กกว่า (อ้างอิงที่จำนวนผู้ใช้บริการเท่ากัน) ก่อนกระจายสัญญาณหลังอุปกรณ์ Splitter Optic จุดที่สองผ่านสาย Access OFC ไปยังผู้ใช้บริการเหมือนกับกรณีแรก

ระเบียบการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ว่าด้วย หลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารบนเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง พ.ศ. 2557 ระบุในข้อ 4. สายสื่อสารหมายความว่าสายนำสัญญาณโทรคมนาคมชนิดสายเคเบิลใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Cable) หรือสายเคเบิลทองแดงเป็นสายสื่อสารหลักที่ต้องขออนุญาตติดตั้งบนเสาไฟฟ้า ในกรณีที่มีสายสะพาน (Messenger Wires) สายสะพานนั้นต้องไม่เป็นโลหะ (Non-Metallic Messenger Wires) สายกระจาย (Drop wire) เป็นสายตัวนำทองแดงต่อแยกสายสื่อสารหลักนำสัญญาณโทรศัพท์เข้าสถานที่ขอใช้บริการกรณีใช้สายสะพานเป็นโลหะอนุโลมให้ใช้ได้

จากหลักเกณฑ์ กฟน. ปี พ.ศ. 2557 โครงข่าย ODN ของ บมจ.ทีโอที ใช้สายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) [1] ที่โครงสร้างไม่มีโลหะ แต่สาย Access OFC ขนาด 1 และ 2 F ซึ่งอยู่ในกลุ่มสายกระจาย บมจ.ทีโอที ใช้สายชนิด Optical Fiber Drop Cable (Round Type) (Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F) [2] ที่มีสายสะพานโครงสร้างเป็นเส้นลวดโลหะรับแรงดึง

ล่าสุด กฟน. ได้ออกหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารปี พ.ศ. 2563 ที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างสาย Access OFC ระบุในข้อ 7.2 สายกระจาย (Drop Wire) มีหรือไม่มีสายสะพาน (Messenger Wires) ก็ได้ถ้ามีสายสะพานต้องไม่มีส่วนที่เป็นโลหะ ส่งผลกระทบต่อโครงข่าย ODN ของ บมจ.ทีโอที ในส่วนของสาย Access OFC ชนิด OFC Round Type ขนาด 1 และ 2 F ซึ่งอยู่ในกลุ่มสายกระจายที่ใช้งานอยู่ไม่สามารถติดตั้งใช้งานใหม่ได้ตามระเบียบ กฟน. ปี พ.ศ. 2563 ฉบับล่าสุดได้

บมจ.ทีโอที แต่งตั้งคณะกรรมการตามคำสั่ง บมจ.ทีโอที ที่ ต.5/2561 “คณะกรรมการดำเนินการพิจารณาหลักเกณฑ์ เงื่อนไข ข้อบังคับ และระเบียบวิธีปฏิบัติต่าง ๆ ของการไฟฟ้านครหลวง” โดยมี นายอนุรัตน์ ฤกษ์รัตน์ รจณ.น. (รองกรรมการผู้จัดการใหญ่หน่วยธุรกิจขายและบริการลูกค้านครหลวง) เป็นหัวหน้าคณะกรรมการ จากปัญหาข้างต้นคณะกรรมการที่ได้รับมอบหมายให้แก้ปัญหาเกี่ยวกับระเบียบปฏิบัติของ กฟน. ได้มอบหมายให้สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) ศึกษาวิจัยออกแบบสายกระจาย และ/หรือ หาแนวทางแก้ไขปัญหารองรับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารปี พ.ศ. 2563 ของ กฟน.

นฐ. ได้รับความอนุเคราะห์จากคณาจารย์มหาวิทยาลัยมหานคร ที่มีความโดดเด่นทางวิชาการสาขาไฟเบอร์ออปติก จากธุรกิจเคมิกอลส์ เอสซีจี ที่มีความโดดเด่นเกี่ยวกับวัตถุดิบต้นน้ำในการสายการผลิตสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable) โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณบริษัทไฟเบอร์ ออปติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM) ที่สนับสนุนการผลิตต้นแบบสาย New Access OFC และบริษัท พี.ยู.บี. แอคเซสซอรี จำกัด สนับสนุนออกแบบอุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

ศึกษาหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารปี พ.ศ. 2563 ของ กฟน. เกี่ยวกับสายกระจาย (Drop Wire) ที่ระบุมีหรือไม่มีสายสะพาน (Messenger Wires) ก็ได้แต่โครงสร้างสาย Access OFC ห้ามมีส่วนประกอบที่เป็นโลหะ อาจออกแบบสาย Access OFC ขนาด 1 และ 2 F ซึ่งอยู่ในกลุ่มสายกระจายที่โครงสร้างไม่มีส่วนประกอบของโลหะ ศึกษาวิธีการติดตั้งสาย Access OFC ใหม่ที่ออกแบบ (ถ้ามี) อาจใช้ผลิตภัณฑ์จับยึดสาย Access OFC ในตลาดหรือออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายฯ ขึ้นมาเฉพาะ หรือศึกษาแนวทางอื่น ๆ เช่น คัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมมาใช้งาน

1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

รวบรวมข้อมูลการติดตั้งใช้งานสาย Access OFC ชนิด OFC Round Type ที่ บมจ.ทีโอที ใช้งานและกลุ่มบริษัทที่ให้บริการโทรคมนาคมในประเทศไทยใช้งาน ศึกษาวิธีการติดตั้งและชนิดสาย Access OFC ที่ใช้งานในต่างประเทศว่ามีประเทศใดที่ใช้สาย Access OFC โครงสร้างไม่มีโลหะบ้าง สาย Access OFC ที่ไม่มีโลหะติดตั้งด้วยอุปกรณ์จับยึดชนิดใด ระยะห่างระหว่างจุดที่จับยึดสูงสุดกี่เมตร ออกแบบสาย Access OFC ขนาด 1 และ 2 F รองรับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารใหม่ ของ กฟน. ปี พ.ศ. 2563 พร้อมศึกษาอุปกรณ์จับยึดในตลาดหรือออกแบบอุปกรณ์จับยึดสาย Access OFC ขึ้นมาเฉพาะ หรือคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมมาใช้งาน

1.4 ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย

- 1) สำรองและเก็บข้อมูลปัญหาสาย OFC Round Type ของ บมจ.ทีโอที
- 2) สรุปผลวิเคราะห์ข้อมูล กำหนดแนวทางดำเนินการ
- 3) ออกแบบสาย Access OFC โครงสร้างไม่มีโลหะหรือคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม
- 4) ทดลองสาย Access OFC ต้นแบบหรือผลิตภัณฑ์ที่คัดเลือก (ถ้ามี) ในห้องปฏิบัติการ
- 5) ทดลองสาย Access OFC ต้นแบบหรือผลิตภัณฑ์ที่คัดเลือก (ถ้ามี) ภาคสนาม
- 6) สรุปผลจัดทำรายงานวิจัยนำเสนอผู้บริหารเพื่อพิจารณากำหนดมาตรฐาน บมจ.ทีโอที

1.5 ประโยชน์ที่ บมจ.ทีโอที จะได้รับ

- 1) รองรับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารปี พ.ศ. 2563 ของ กพน.
- 2) สร้างภาพลักษณ์องค์กรว่ามีหน่วยงานนวัตกรรมที่พร้อมออกแบบผลิตภัณฑ์รองรับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี “และ/หรือ” หลักเกณฑ์มาตรฐานที่หน่วยงานราชการกำหนด

บทที่ 2.

ข้อมูลสาย Access OFC และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักเกณฑ์ของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ปี พ.ศ. 2563 ระบุสายสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงทุกชนิดที่ติดตั้งบนเสาไฟฟ้าของ กฟน. ต้องไม่มีส่วนประกอบของโลหะ โครงข่าย ODN ของ บมจ.ทีโอทีใช้สายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS OFC โครงสร้างไม่มีโลหะสอดคล้องกับหลักเกณฑ์ของ กฟน. อยู่แล้ว แต่สาย Access OFC ขนาด 1 และ 2 F ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มสายกระจายเคเบิลใยแก้วนำแสง (Drop OFC) โยงจากตู้ SDP เข้าอาคารโครงสร้างมีสายสะพานรับแรงดึงผลิตจากเส้นลวดโลหะไม่สอดคล้องกับหลักเกณฑ์ของ กฟน.

สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) ได้รับมอบหมายจาก บมจ.ทีโอที ให้ศึกษาวิจัยออกแบบสายกระจาย และ/หรือ หาแนวทางแก้ไขปัญหาสาย Access OFC รองรับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารของ กฟน. ซึ่งในการออกแบบสาย Access OFC ขนาด 1 และ 2 F จำเป็นต้องศึกษาโครงสร้างและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของเส้นใยแก้วนำแสงว่ามีคุณสมบัติและข้อจำกัดอะไรบ้างเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย

2.1 โครงสร้างเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง

2.1.1 เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)

เส้นใยแก้วนำแสงโครงสร้างมีลักษณะเป็นท่อแก้วกลมตันประกอบด้วยเนื้อแก้ว 2 ชั้น ที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกัน ชั้นในแกนกลางเรียกว่าคอร์ (Core) จะมีดัชนีหักเหมากกว่าเนื้อแก้วชั้นนอกที่ห่อหุ้มรอบแกนเรียกว่าแคลดดิง (Cladding) การส่งผ่านสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงอาศัยหลักการแสงที่เดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำเข้าสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหมากกว่า พลังงานแสงส่วนใหญ่เดินทางอยู่ในแนวแกนกลางเนื้อแก้วตลอดเวลาไม่ว่าเส้นใยแก้วนำแสงจะโค้งงอ เรียกการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงนี้ว่า Fundamental Mode

เส้นใยแก้วนำแสงแบ่งตามเส้นทางการเดินทางของแสง (Propagation Mode) ได้ 2 ชนิดคือเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด (MM: Multimode Optical Fiber Core) และเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียว (SM: Single Mode Optical Fiber Core) เส้นใยแก้วนำแสงชนิด MM เหมาะสมกับการใช้งานระยะใกล้ ๆ ด้วยจุดเด่นที่อุปกรณ์โทรคมนาคม “ต้นทาง-ปลายทาง” มีราคาต่ำ ส่วนเส้นใย

แก้วนำแสงชนิด SM มีจุดเด่นที่สามารถส่งสัญญาณแสงได้ไกลกว่าแต่ราคาอุปกรณ์โทรคมนาคม “ต้นทุน-ปลายทาง” สูงกว่า

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตร่วมกับปริมาณการขยายตัวของโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงทั่วโลกเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SM และอุปกรณ์ประกอบได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นทำให้ต้นทุนโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SM มีแนวโน้มต่ำลง

คุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SM ความยาวคลื่น 1310 *nm* และ 1550 *nm* มีค่าการลดทอนสัญญาณ (Loss) ต่ำ และค่า Dispersion ต่ำ ดังนั้นในการติดต่อสื่อสารระยะทางไกล ๆ เช่น การสื่อสารระหว่างเมือง มาตรฐานสากลเลือกความยาวคลื่น 1310 *nm* และ 1550 *nm* มาใช้งาน

เทคโนโลยีสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงระยะทางไกล ๆ ต้องใช้เส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้น แบ่งเป็นเส้นแรกต้นทางจะทำหน้าที่ตัวส่งหรือขาส่ง (Tx: Transmitter) ไปยังตัวรับหรือขารับ (Rx: Receiver) ปลายทาง ขณะเดียวกันเส้นที่สองปลายทางจะส่งสัญญาณ Tx ส่งมายัง Rx ต้นทางแยกเส้นใยแก้วนำแสงออกคนละเส้น นิยมใช้ความยาวคลื่น 1550 *nm* เพราะมีค่า Loss ต่ำ

คุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสงความยาวคลื่น (λ) 1 *nm* มีความกว้างสเปกตรัม (Spectral Width) ประมาณ 100 *GHz* จากข้อจำกัดของเทคโนโลยีแต่ละคลื่นความถี่ส่งข้อมูลได้สูงสุด 10 *Gbps* (STM-64) ถ้าต้องการส่งข้อมูลมากกว่านี้ ซึ่งเทคโนโลยีสามารถประยุกต์นำแพลตฟอร์ม DWDM (Dense Wavelength-division Multiplexing) มาใช้งานเพื่อเพิ่มความจุของช่องสัญญาณ เทคโนโลยี SFP มีพัฒนาระบบ DWDM ส่งสัญญาณแต่ละความยาวคลื่นได้สูงกว่า 10 *Gbps* แพลตฟอร์ม DWDM ที่ใช้หลายย่านความยาวคลื่นเดินทางร่วมในเส้นใยแก้วนำแสงเดียวกันให้พิจารณาคุณสมบัติ Chromatic Dispersion ของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นประกอบด้วย

คุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SM (Single Mode) และชนิด MM (Multimode) กำหนดคุณสมบัติด้วย V-number หรือ Normalized Frequency จำนวนโหมดของเส้นใยแก้วนำแสงนั้น ๆ และค่าความยาวคลื่นตัด (Cut-off Wavelength) ซึ่งเป็นค่าความยาวคลื่นแสงต่ำสุดที่ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงยังมีคุณสมบัติเป็น SM Optical Fiber

Cut-off Wavelength (λ_c) เป็นระดับความยาวคลื่นต่ำสุดที่เส้นใยแก้วนำแสง SM นั้นยังมีคุณสมบัติเป็น SM อยู่ คุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสง SM ยินยอมให้ลำแสงส่งผ่านในเส้นใยแก้วนำแสงเพียงความยาวคลื่น (Mode) เดียวเท่านั้น ถ้าความยาวคลื่นต่ำกว่า λ_c จะเกิดปรากฏการณ์ลำแสงมากกว่าหนึ่ง Mode ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SM และเปลี่ยนคุณสมบัติการส่งผ่านจาก SM เป็นแบบ MM

Cut-off Wavelength (λ_c) สามารถคำนวณค่าได้จากสมการ 2.1

$$\lambda_c = \frac{2\pi a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{2.405} \quad (2.1)$$

$$\text{หรือ} \quad \lambda_c = 3.7 a n_1 \sqrt{\Delta} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } a &= \text{รัศมีของ Core} \\ n_1 &= \text{ดัชนีหักเหของแสงที่ Core} \\ \Delta &= \frac{n_1 - n_2}{n_1} \end{aligned}$$

เส้นใยแก้วชนิด SM กำหนดให้ n_1 ใกล้เคียงกับ n_2 มากๆ โดยต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.3 เช่น $n_1 = 1.448$, $n_2 = 1.444$ เป็นต้น

ความถี่นอร์มอลไลซ์ (Normalized Frequency) หรือ วี-นัมเบอร์ (V-number) เป็นค่าที่สำคัญในการจำแนกชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงในขณะใช้งานว่าเป็นชนิด SM หรือ MM จำนวนโหมดที่มากที่สุดที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง คำนวณได้จากสมการ 2.3

$$M = \frac{V^2}{2} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } M &= \text{จำนวนโหมดย่อยทั้งหมดของแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง} \\ V &= \text{ค่าความถี่นอร์มอลไลซ์ (Normalized Frequency)} \end{aligned}$$

สามารถหาค่า V-number ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V &= kaNA \quad (2.4) \\ k &= \frac{2\pi}{\lambda} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } k &= \text{Wave Number คลื่นแสงที่มีความยาวคลื่น } (\lambda) \text{ ในอากาศหรือ} \\ &\text{สุญญากาศ ที่ไม่มีการสูญเสียสัญญาณ (Lossless Medium) ค่าของ} \\ &\mathbf{k} \text{ จะเรียกว่า ค่าคงตัวการเคลื่อนที่ (Propagation Constant)} \\ a &= \text{รัศมีของ Core} \\ NA &= \text{Numerical Aperture} \end{aligned}$$

กรณีที่เป็นเส้นใยแก้วชนิด SM ค่า V-number จะต้องมีค่า $V \leq 2.405$ แทนค่าของ V ลงไปในสมการ

$$\begin{aligned} \frac{2\pi}{\lambda} aNA &\leq 2.405 \\ \text{จัดรูปสมการจะได้ } \lambda &\geq \frac{2\pi aNA}{2.405} \quad (2.5) \end{aligned}$$

2.1.2 โครงสร้างสายเคเบิลใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable)

สายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ใช้เป็นสื่อกลางส่งผ่านสัญญาณสื่อสาร (Transmitter) อาศัยหลักการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงด้วยอุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Light Source) LED หรือ Laser ฝั่งต้นทางส่งผ่านใยแก้วนำแสงไปยังปลายทาง ฝั่งปลายทางเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Photo Detector) PIN หรือ APD

สายเคเบิลใยแก้วนำแสงมีคุณสมบัติโดดเด่นเหนือกว่าตัวกลางสื่อสารทางสายอื่น ๆ หลายข้อ เช่น การลดทอนสัญญาณต่ำ สายเคเบิลมีขนาดเล็ก (เปรียบเทียบกับความจุเดียวกัน) ส่งข้อมูลที่มีความจุมากได้เป็นระยะทางไกล ๆ ไม่มีข้อจำกัดเรื่องเส้นขอบฟ้าเหมือนการส่งสัญญาณไมโครเวฟ น้ำหนักเบาสะดวกในการติดตั้ง ไม่เกิดการรบกวนสัญญาณหรือแทรกสอดจากแหล่งกำเนิดสัญญาณอื่น

ใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) ผลิตจาก Silica (SiO_2) เป็นส่วนใหญ่ มีใยแก้วนำแสงบางชนิดทำจากโพลีเมอร์หรือวัสดุสังเคราะห์อื่น ๆ ประยุกต์ใช้งานสำหรับระยะทางสั้น ๆ เช่น ในรถยนต์ ระบบเครื่องเสียง เครื่องมือทางการแพทย์หรือเครื่องจักรอุตสาหกรรม เป็นต้น เนื่องจากโพลีเมอร์มีค่า Loss สูงไม่เหมาะกับการใช้งานในระบบสื่อสารระยะทางไกล แต่ใยแก้วนำแสงโพลีเมอร์หรือวัสดุสังเคราะห์มีจุดเด่นเรื่องยืดหยุ่นตัว

โครงสร้างใยแก้วนำแสงประกอบด้วย

1) ใยแก้วหรือคอร์ (Core) ทำหน้าที่นำสัญญาณแสงไปตามแกนกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขึ้นกับชนิดของใยแก้วนำแสง เช่น ชนิด MM $62.5 \mu m$, $50 \mu m$ และชนิด SM $5-9 \mu m$

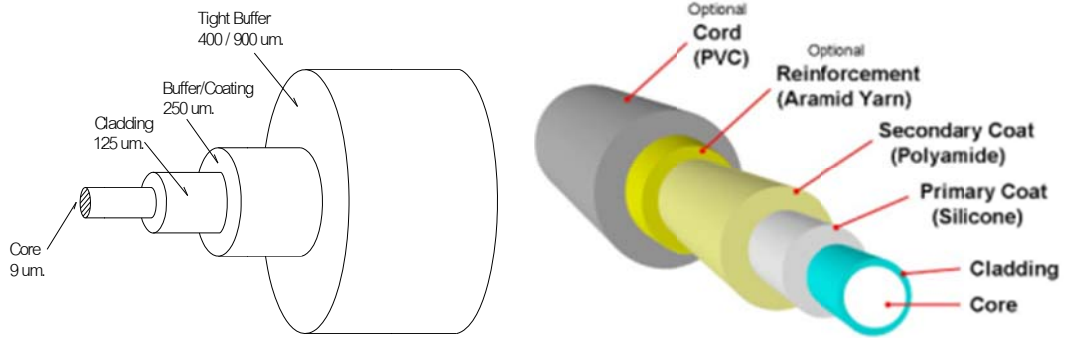
2) แคลดดิ้ง (Cladding) เนื้อแก้วที่เคลือบรอบ Core มีค่าดัชนีหักเหทางแสงน้อยกว่าเพื่อควบคุมให้ลำแสงวิ่งไปตาม Core ด้วยขบวนการสะท้อนกลับของแสง เส้นผ่านศูนย์กลางสายชนิด SM และ MM มีขนาดเท่ากันคือ $125 \mu m$

3) ฉนวนป้องกันหรือบัฟเฟอร์ (Coating or Buffer) ห่อหุ้มรอบ Cladding ในขบวนการผลิต ด้วยเหตุผลใยแก้วนำแสงแตกหักง่ายไม่สามารถโค้งงอได้ต้องห่อหุ้มใยแก้วนำแสงด้วยสารเคลือบ UV curable acrylate ที่มีคุณสมบัติแห้งเร็วเพื่อประคองให้ใยแก้วนำแสงให้โค้งงอจัดเก็บเข้าหีบห่อได้ มาตรฐานสายชนิด SM และ MM มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Coating เท่ากันคือ $250 \mu m$

4) Tight Buffer หรือท่อแน่นหุ้มชั้นฉนวนหุ้มเพิ่มความแข็งแรง หุ้มชั้นฉนวนเพิ่มสายชนิด Patch Cord (มี Connector 2 ด้าน) และสาย Pigtail (มี Connector ด้านเดียว) มาตรฐานกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก $600 \mu m$ และ $900 \mu m$

5) Loose Tube หรือ Fiber Buffer Tube (ท่อหลวม) มีลักษณะท่อกลมกลวงผลิตจาก PBT (Polybutylene Terephthalate) ภายในวางใยแก้วนำแสง 2 ถึง 12 Fiber ต่อ 1 Loose

Tube ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง (Bare Fiber) ภายใน Loose Tube มี Thixotropic Compound (Filling) ป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงเกิด Micro Bending โต้ตั้งจากแรงกระทำจากภายนอก เส้นใยแก้วนำแสงที่วางใน Loose Tube จะคล้ายตัวหนอนเมื่อเจอสภาพแวดล้อมจากการใช้งาน เช่น แรงดึง แรงกด เส้นใยแก้วนำแสงจะเคลื่อนตัวโดยมี Compound ปรับสภาพตามการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงเกิด Loss หรือชำรุดเสียหาย



ภาพประกอบที่ 2.1 โครงสร้างเส้นใยแก้วนำแสง

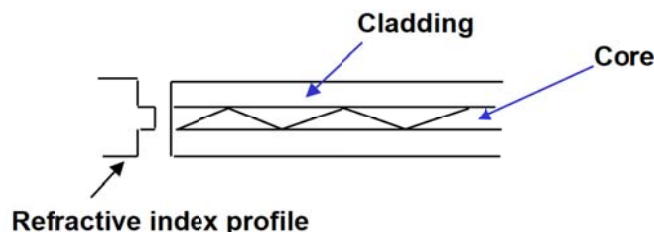
ตัวอย่างเช่น เคเบิลชนิด Single-mode ขนาด 9/125 μm หมายถึง เส้นใยแก้วนำแสงชนิด SM มีเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core 9 μm และเส้นผ่านศูนย์กลางของ Cladding 125 μm มีบัฟเฟอร์หุ้มรอบเส้นใยแก้วนำแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $245 \pm 5 \mu\text{m}$

2.1.3 การเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงแบ่งตามเส้นทางการเดินทางของแสง (Propagation Mode) ได้ 2 แบบ

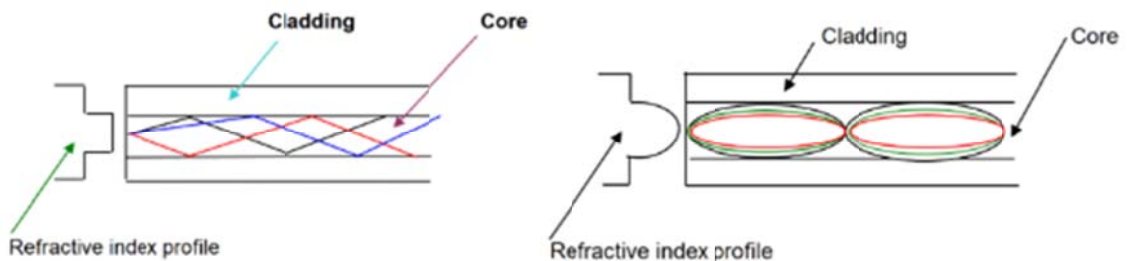
- 1) เส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด (MM: Multimode Optical Fiber Core)
- 2) เส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียว (SM: Single Mode Optical Fiber Core)

เส้นใยแก้วนำแสงชนิด MM (Multimode Optical Fiber Core) การส่งผ่านลำแสงในเส้นใยแก้ว ลำแสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้หลาย Mode เนื่องจาก Core ชนิด MM มีขนาดโตกว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SM



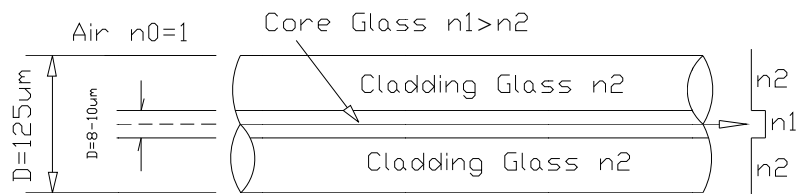
ภาพประกอบที่ 2.2 การเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแบบหลายโหมด (MM)

เส้นใยแก้วนำแสงแบบ MM ใช้ระยะทางสั้น ๆ ด้วยคุณสมบัติที่มีข้อดีในเรื่องความกว้างของแถบสัญญาณที่มากกว่าเส้นใยแก้วนำแสงแบบ SM สามารถส่งข้อมูลที่มีความจุมาก ราคาอุปกรณ์สื่อสารถูกกว่า ดังนั้นนิยมนำเส้นใยแก้วนำแสงแบบ MM มาใช้กับโครงข่าย Local Area Network



ภาพประกอบที่ 2.3 แสดง Index Profile ข้ามมือแบบ Step Index ขวามือแบบ Graded Index

เส้นใยแก้วนำแสงชนิด MM แบ่งย่อยออกตาม Refractive Index Profile ได้เป็น Step Index และ Graded Index แบบ Graded Index ได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากสามารถลดปัญหา Dispersion ลงได้ เส้นใยแก้วนำแสงแบบ MM จะเหมาะสำหรับการสื่อสารที่มี Transmission Speed ต่ำ ๆ



ภาพประกอบที่ 2.4 แสดง Index ของ Single Mode Optical Fiber

เส้นใยแก้วนำแสงชนิด SM: Single Mode Optical Fiber Core มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core 5-10 μm และ Cladding 125 μm ตามลำดับ ค่าดัชนีการหักเห (n) ของ Core และ Cladding มีค่าแตกต่างกัน เส้นใยแก้วนำแสงชนิด SM การเดินทางของลำแสงเป็นเส้นตรงการลดทอนต่ำ ค่า Dispersion น้อยมาก มีแบนด์วิดท์กว้าง ลดปัญหาความกว้างขึ้นของพัลส์ (Pulse Broadening) และไม่เกิด Transit Time Differences ในการส่งผ่านลำแสง

2.2 การลดทอนของสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Loss)

2.2.1 การลดทอนสัญญาณ (Attenuation)

การลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงเมื่อเปรียบเทียบกับ การลดทอนกับตัวกลางสื่อสารอื่น ๆ มีความเหนือกว่าทั้งในแง่ของระยะทางและความจุสัญญาณ เส้นใยแก้วนำแสงมีค่าการ

ลดทอนสัญญาณต่อระยะทางน้อย ค่าลดทอนสัญญาณมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) สามารถคำนวณได้ตามสมการ (2.6)

$$\text{Signal Attenuation} = 10 \log \frac{P_i}{P_o} \quad (2.6)$$

ทั้งนี้การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber loss) มีสาเหตุสำคัญจาก

- 1) Absorption loss
- 2) Scattering loss

1) Absorption losses คือ การสูญเสียแสงเนื่องจากการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบของการที่ใช้ในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสง การสูญเสียนี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเคมีและกระบวนการผลิต (Fabrication Process) เส้นใยแก้วนำแสง การส่งผ่านสัญญาณแสงในเส้นใยแก้วก่อให้เกิดการกระจายตัวของกำลังงานแสงที่ส่ง พลังงานแสงเปลี่ยนเป็นความร้อนภายในเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการสูญเสียพลังงานแสงเนื่องจากการดูดกลืนแสงปัจจัยที่เกิดแบ่งได้ 2 กรณี คือ

- **Intrinsic absorption** คือการดูดกลืนแสงเนื่องจากสารที่ใช้ทำเส้นใยแสง เนื่องจากแก้ว Silica บริสุทธิ์ที่ใช้ในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงจะมีการดูดกลืนแสง โดยจะดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเล็ตมากที่สุดที่ความยาวคลื่น $0.1 \mu m$ และมีการดูดกลืนแสงอินฟราเรดมากที่สุดที่ความยาวคลื่น $10 \mu m$
- **Extrinsic absorption** คือ การดูดกลืนแสงเนื่องจากสารที่เจือปนอยู่ในเส้นใยแก้วนำแสง เกิดขึ้นเนื่องจากการเจือปนของธาตุโลหะในเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการหลอมเหลวแก้ว สารที่เจือปนในเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดจากการหลอมเหลวนี้นี้เป็นสาเหตุสำคัญของการลดทอนสัญญาณแสงของอ็อกไซด์โลหะบางชนิด ในปริมาณ 1 ppb (Parts per Billion) เราสามารถลดการสูญเสียนี้ได้โดยใช้วัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์มาก

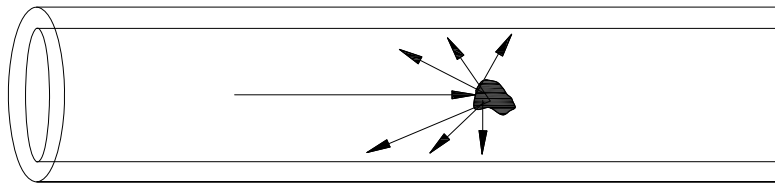
2) Scattering losses การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจายแสงเมื่อเกิดการกระจัดกระจายของแสงจะทำให้แสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการเปลี่ยน Mode ทำให้ลำแสงที่ส่งเกิดการเปลี่ยนไปสู่ Mode ลำแสงที่เดินทางใน Core แพร่กระจายออกไปนอก Core

การสูญเสียแบบ Scattering Losses ที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ แบบเรย์เลห์ (Rayleigh Scattering) และแบบมี (Mie Scattering) การสูญเสียทางแสงทั้ง 2 แบบสาเหตุมาจากคุณลักษณะทางกายภาพที่ไม่สมบูรณ์ของเส้นใยแก้วนำแสงจากกระบวนการผลิต ด้วยเทคโนโลยีการผลิตในปัจจุบันยังไม่สามารถกำจัดปัญหานี้ได้ รายละเอียดการสูญเสียแบบ Scattering Losses ทั้ง 2 แบบเป็นดังนี้

- **แบบเรย์เลห์ (Rayleigh Scattering)** เกิดจากแสงที่เดินทางไปตกกระทบกับวัตถุที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ทำให้แสงแตกกระจายออกไปในทิศทางต่างๆ ดังภาพประกอบที่ 2.5 วัตถุที่เจือปนอยู่ในเนื้อแก้วเกิดขึ้นในขั้นตอน ขบวนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงต้องใช้ความร้อนประมาณ $2,000^{\circ}C$ เพื่อให้แท่งแก้วพรีฟอร์มหลอมละลายก่อนดึงแท่งแก้วให้เป็นเส้นใยขนาดเล็กก่อนลดอุณหภูมิของเส้นใยแก้วนำแสงเหลือ $20^{\circ}C$ อย่างรวดเร็ว ขบวนการในการผลิตขั้นตอนนี้ก่อให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นของเนื้อแก้วเกิดวัตถุขนาดเล็ก ๆ ขึ้นในเนื้อแก้ว ค่าการสูญเสียเนื่องจากการกระจายแบบเรย์เลห์นี้จะเกิดกับแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) และอินฟราเรด (Infrared) โดยจะแปรผกผันกับความยาวคลื่นแสงตามสมการ (2.7)

$$\text{Rayleigh Scattering Loss} = \frac{1}{\lambda^4} \quad (2.7)$$

ค่าการสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจายแบบเรย์เลห์นี้มีค่าประมาณ 0.3 dBkm^{-1} ที่ความยาวคลื่น 1300 nm และ 0.18 dBkm^{-1} ที่ความยาวคลื่น 1550 nm ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 2.5 การกระจายแสงแบบเรย์เลห์

- **แบบมี (Mie Scattering)** หรือเรียกอีกอย่างว่า Uniformity Loss เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ทางโครงสร้างรูปทรงกระบอกของเส้นใยแก้วนำแสง สาเหตุมาจากความผิดปกติของรอยต่อระหว่าง Core กับ Cladding ทำให้ค่าดัชนีการหักเหระหว่าง Core กับ Cladding แต่ละช่วงความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงมีค่าการสูญเสียเกิดขึ้นและจากความผันแปรของเส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อให้ส่งผลกับแสงที่ตกกระทบเกิดการกระจายออก การสูญเสียแสงแบบมีนี้จะแปรผันโดยตรงกับความยาวคลื่นตามสมการ (2.8)

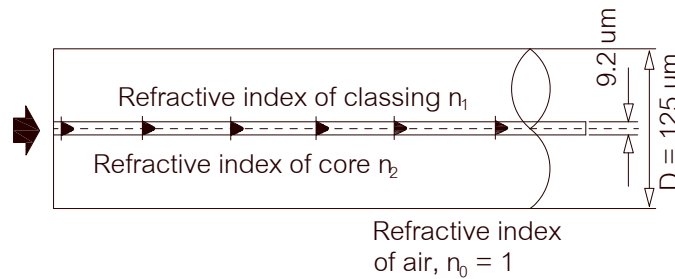
$$\text{Mie Scattering Loss} = \frac{\lambda}{10} \quad (2.8)$$

การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending Loss) ของเส้นใยแก้วนำแสงแบ่งได้

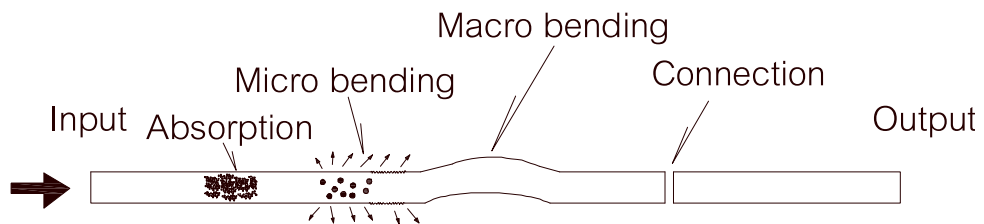
- 1) Micro Bend เกิดจากรัศมีของส่วนโค้งน้อยกว่า 10 mm
- 2) Macro Bend เกิดจากรัศมีของส่วนโค้งมากกว่า 10 mm

1) **Micro Bend** การสูญเสียแสงที่เกิดจากการโค้งงอเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Micro Bending เป็นการสูญเสียสัญญาณแสงที่เกิดจากการมีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอกระทำด้านข้างของเส้นใยแก้วนำแสง เส้นใยแก้วนำแสงเกิดการบิดงอไปเล็กน้อยรัศมีของส่วนโค้งน้อยกว่า 10 mm ทำให้แสงที่ตกกระทบบริเวณดังกล่าวเกิดการหักเหออกไปภายนอกเส้นใยแก้วนำแสงได้

2) **Macro Bend** การสูญเสียเนื่องจากรังสีของแสงตกกระทบตรงรอยต่อระหว่าง Core และ Cladding ที่มีค่าน้อยกว่ามุมวิกฤต แสงกระจายออกไปนอกเส้นใยแก้วนำแสงภาพประกอบที่ 2.6 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแนวตรง และภาพประกอบที่ 2.7 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอ



ภาพประกอบที่ 2.6 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแนวตรง

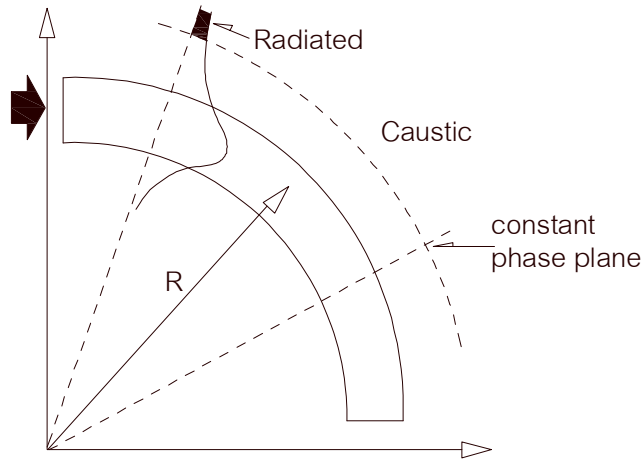


ภาพประกอบที่ 2.7 การลดทอนของสัญญาณเกิดจากการนำเส้นใยแก้วนำแสงไปใช้งาน

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

$$R_c = \frac{a}{NA^2} \quad (2.9)$$

- เมื่อ R = รัศมีของการโค้งงอ
- a = รัศมีของแกนใยแก้วนำแสง
- NA = Numerical Aperture



ภาพประกอบที่ 2.8 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอ

จาก Index Profile สามารถหาสัญญาณสูญเสียจาก Macro Bend (p_{loss}) ซึ่งเกิดจากการโค้งงอได้จากสมการ 2.10

$$p_{loss} = -10 \text{Log}_{10} \left[1 - \left(\frac{\alpha + 2}{2\alpha\Delta} \right) \left\{ \frac{d}{R} + \left(\frac{3\lambda}{4\pi n_2 R} \right)^{\frac{2}{3}} \right\} \right] \text{ dB} \quad (2.10)$$

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

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

เมื่อ p_{loss} = กำลังงานที่สูญเสียจากการโค้งงอ (dB)

n_1 = ดัชนีการหักเหของแสงใน Core

n_2 = ดัชนีการหักเหของแสงใน Cladding

NA = Numerical Aperture

Δ = ค่าความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีหักเหของ Core กับ Cladding

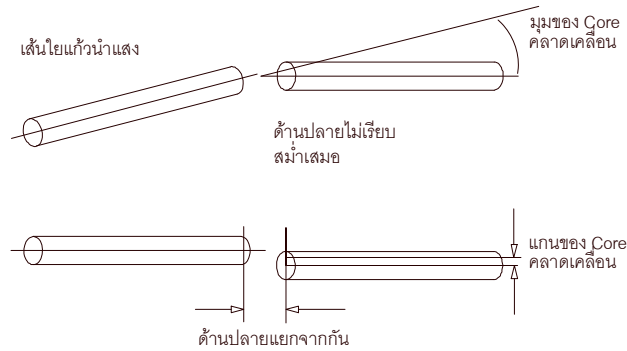
d = เส้นผ่านศูนย์กลางของ Core (μm)

a = รัศมีของ Core (μm)

λ = ความยาวคลื่น (m)

R = รัศมีการโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสง (m)

Connection loss การสูญเสียแสงที่เกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Connection Loss) จะเกิดขึ้นเนื่องจากการเชื่อมต่อที่ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้บริเวณรอยเชื่อมต่ออาจเกิดช่องว่างขนาดเล็กซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียแสงจากการสะท้อนกลับเรียกว่า "Fresnel Reflection" ทำให้เกิดการสูญเสียที่เรียกว่า "Fresnel Loss" โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.11)



ภาพประกอบที่ 2.9 การสูญเสียแสงที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง

$$\text{Fresnel loss} = -10 \log(1 - r) \quad (2.11)$$

เมื่อ

$$r = \left[\frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right]^2$$

r = ขนาดของ Fresnel Reflection

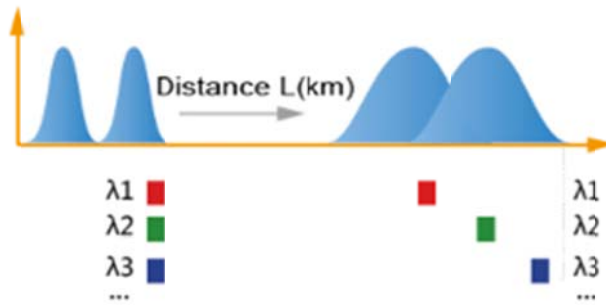
n_1 = ดัชนีการหักเหของ Core

n = ดัชนีการหักเหของตัวกลางที่อยู่ระหว่าง

2.2.2 การผิดเพี้ยนในการเดินทางของสัญญาณแสงในเส้นใยแก้วนำแสง (Dispersion)¹

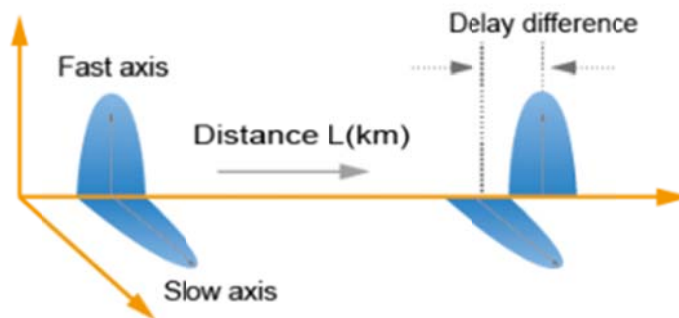
Dispersion เป็นปรากฏการณ์หนึ่งที่เราพบได้ในการเดินทางของแสงภายใน Core ของเส้นใยแก้วนำแสง กล่าวคือรูปของสัญญาณที่ปลายทางเกิดผิดเพี้ยนจากสัญญาณที่ต้นทางโดยจะมีลักษณะกว้างออก Dispersion ที่เกิดกับเส้นใยแก้วนำแสงมีอยู่ 2 ชนิด คือ CD (Chromatics Dispersion) และ PMD (Polarization Mode Dispersion)

¹ Huawei Technologies Co., Ltd. (<https://info.support.huawei.com/onlinetoolweb/...>)



ภาพประกอบที่ 2.10 ปรากฏการณ์ Chromatics Dispersion

Chromatics Dispersion เป็นปรากฏการณ์ในการเดินทางของสัญญาณแสงรูปแบบพัลส์แสง (Optical Pulses) จากต้นทางเมื่อถึงปลายทางสัญญาณแสงรูปแบบของพัลส์แสงกระจายออกเนื่องจากความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ถูกส่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกันในเส้นใยแสงและระยะเวลาสำหรับความยาวคลื่นที่แตกต่างกันในระยะทางเดียวกันตามภาพประกอบที่ 2.10



ภาพประกอบที่ 2.11 ปรากฏการณ์ Polarization Mode Dispersion

Polarization Mode Dispersion เป็นปรากฏการณ์ในการเดินทางของสัญญาณแสงรูปแบบพัลส์แสง (Optical Pulses) กระจายเนื่องจากสัญญาณแสงในสถานะเฟส (Phase) ที่แตกต่างกัน จะถูกส่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน หรือปรากฏการณ์ Random Birefringence of Optical Fibers ตามภาพประกอบที่ 2.11



ภาพประกอบที่ 2.12 ปรากฏการณ์ Impact of Dispersion on the System

Impact of Dispersion on the System เป็นปรากฏการณ์แพร่กระจายของพัลส์แสง (Optical Pulses) ในโดเมนเวลาที่เกิดจาก CD และ PMD จะนำไปสู่การบิดเบือนของสัญญาณและ Crosstalk ระหว่างโค้ดทำให้เกิดข้อผิดพลาดบิต การเบี่ยงเบนสัญญาณของพัลส์แสงกระจายตัวสะสมเมื่อระยะทางในการส่งข้อมูลนานขึ้นและผลกระทบของการกระจายตัวบนระบบก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน เป็นผลให้ระยะการส่งมีจำกัดตามภาพประกอบที่ 2.12

$$CD (ps / nm) = \text{Transmission Distance (km)} \times CD \text{ Coefficient (ps / nm.km)}$$

$$PMD (ps) = \sqrt{\text{Transmission Distance(km)}} \times PMD \text{ Coefficient (ps / } \sqrt{\text{km}})$$

เมื่อความเร็วในการส่งสัญญาณแสงเพิ่มขึ้น ความกว้างของพัลส์แสงจะลดลงผลกระทบของการกระจายตัวบนระบบจะรุนแรงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการส่งสัญญาณแสงที่ 100 G ต้องเลือกใช้ชนิดเส้นใยแก้วนำแสง เลือกใช้เทคโนโลยีการประมวลผลสัญญาณแสงที่เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบจาก CD และ PMD

2.3 กระบวนการผลิตสายเคเบิลใยแก้วนำแสง²

กระบวนการผลิตสายเคเบิลใยแก้วนำแสง (OFC: Optical Fiber Cable) เริ่มจากการพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมที่นำสายเคเบิล OFC ไปใช้งาน สายเคเบิล OFC แขนงอากาศต้องคำนึงถึงสถานะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเร็วลม วัสดุรับแรงดึง สายเคเบิล OFC ร้อยท่อต้องคำนึงถึงความเค้นจากการโค้งงอสายเคเบิล OFC วางใต้น้ำหรือฝังดินโดยตรงต้องคำนึงถึงแรงกด เป็นต้น เพื่อนำข้อมูลในสภาวะแวดล้อมนั้น ๆ มาออกแบบสายเคเบิล OFC ให้เส้นใยแก้วนำแสงที่ห่อหุ้มภายในมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

เมื่อมีการโค้งงอสายเคเบิล OFC เส้นใยแก้วนำแสงภายในจะเกิดการยึดที่ผิวด้านหนึ่งและถูกกดที่ผิวอีกด้านหนึ่ง ดังนั้นในขณะโค้งงอสายเคเบิล OFC ต้องคำนึงถึงรัศมีของการโค้งไม่ให้สั้นเกินไปโดยไม่น้อยกว่า 20 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเคเบิลขณะติดตั้งและไม่น้อยกว่า 15 เท่า เมื่อติดตั้งและจับยึดเคเบิลเรียบร้อยแล้ว (รัศมีการโค้งงออาจเปลี่ยนแปลงตามชนิดสายเคเบิล OFC)

หัวข้อพิจารณาที่ต้องให้ความสำคัญในการออกแบบโครงสร้างสายเคเบิล OFC ที่สำคัญอีกหัวข้อหนึ่งคือคุณสมบัติการยึดตัวจากแรงดึงหัวข้อ Fiber Strain เนื่องจากแรงดึง แรงบิด การโค้งงอระหว่างการผลิต ติดตั้งและการใช้งานส่งผลกระทบต่อ การสูญเสียสัญญาณแสง (Loss) ของเส้นใยแก้วนำแสงของสายเคเบิล OFC

ผลความเครียดที่เกิดและสะสมอยู่ในเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Strain) อาจเป็นสาเหตุให้เส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหายในอนาคต การออกแบบจึงจำเป็นต้องรู้ค่าความเค้นต่ำสุดที่ทำให้เส้นใย

² ข้อมูลสนับสนุนจาก บริษัท เอชบีซี เทเลคอม จำกัด (HBC TELECOM CO.,LTD.)

แก้วนำแสงยังคงใช้งานได้ ดังนั้นในการผลิตจึงต้องทดสอบ Proof Test Stress (0.7 Gpa at 1.0% Strain) เพื่อให้มั่นใจว่าเส้นใยแก้วนำแสงที่ผ่านกระบวนการผลิตยังคงมีคุณสมบัติที่จะนำไปใช้งานได้

การป้องกันความชื้นจากปัญหาการออกแบบโครงสร้างที่ไม่ดีพอหรือเปลือกหุ้มสายเคเบิล OFC ภายนอกชำรุดเสียหาย ความชื้นหรือน้ำจากภายนอกไหลเข้าไปซึ่งภายในสายเคเบิล OFC อาจส่งผลให้เส้นใยแก้วนำแสงที่สัมผัสความชื้นหรือแช่น้ำมีความแข็งแรงลดลงเส้นใยแก้วนำแสงแตกหักได้ง่าย

ความชื้นหรือน้ำเมื่อทำปฏิกิริยากับโครงสร้างสายเคเบิล OFC ที่เป็นโลหะจะทำปฏิกิริยากับโลหะก่อให้เกิดอนุมูล OH^- อนุมูลนี้จะทำปฏิกิริยากับ SiO_2 เป็นสาเหตุให้เนื้อแก้วเปราะ แก้วไขโดยการใส่แผ่นอลูมิเนียมห่อรอบแกนสายพนักด้วยแผ่นพลาสติกกันน้ำให้แน่นหนา อาจเสริมด้วยเทปป้องกันน้ำ (Water Blocking Tape) เพื่อป้องกันความเสียหายจากความชื้นหรือน้ำได้ระดับหนึ่ง

ความชื้นหรือน้ำก่อให้เกิดจากปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ระหว่างโลหะสองชนิดที่ต่างกันเกิดก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen) ที่ปะปนอยู่ในอากาศอัดอยู่ภายในสายเคเบิล OFC ก่อให้เกิดสนิมของโลหะ ก๊าซไฮโดรเจนยังทำปฏิกิริยากับเส้นใยแก้วนำแสงก่อให้เกิดการลดทอนสัญญาณ โดยเฉพาะที่ความยาวคลื่น $1,300\text{ nm}$ ขึ้นไป ดังนั้นในการออกแบบจึงจำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุที่ก่อให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณน้อยที่สุดที่จะไม่ทำให้การลดทอนสัญญาณสูงในช่วงระยะเวลาการใช้งาน (Cable Shelf Life) หรือผลิตสายเคเบิล OFC ที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะในโครงสร้างเคเบิลเลย

ผลกระทบการโค้งงอในขบวนการผลิต การโค้งมหภาค (Macro Bending) เกิดจากการที่เส้นใยแก้วนำแสงโค้งอันเนื่องมาจากการตีเกลียวในขบวนการผลิตหรือการติดตั้งใช้งานเคเบิล ส่งผลให้เส้นใยแก้วนำแสงโค้งโดยมีรัศมีความโค้งน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนด เกิดการลดทอนสัญญาณสูงเนื่องจากแสงหักเหออกภายนอกได้ ดังนั้นขบวนการผลิตและติดตั้งต้องกำหนดรัศมีความโค้งขณะตีเกลียวและติดตั้งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลดทอนสัญญาณ

การโค้งจุลภาค (Micro Bending) การโค้งจุลภาคของเส้นใยแก้วนำแสงมีสาเหตุมาจากแรงกระทำด้านข้างตลอดแนวความยาวที่เกิดขึ้นในขณะผลิตและการติดตั้งเคเบิล เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้วัสดุที่ผลิตมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป การโค้งจุลภาคก่อให้เกิดความแตกต่างระหว่าง ดัชนีหักเหแสงของชั้น Core และชั้น Cladding (เส้นผ่านศูนย์กลางเปลี่ยนแปลงไป) ส่งผลทำให้การลดทอนสัญญาณสูง

เพื่อลดการโค้งจุลภาคจึงต้องออกแบบโครงสร้างเพื่อป้องกันการเกิดแรงกระทำด้านข้าง (Lateral Force) โดยเลือกใช้วัสดุที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแล้วจะไม่ทำให้เกิด การโค้งกับเส้นใยแก้วนำแสงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเปลือกนอกและวัสดุรับแรงดึง การโค้งจุลภาคอาจเกิดขึ้นได้กับเคเบิลแขวนอากาศเนื่องจากการยึดตัวที่มากเกินไป

การกระทบ (Impact) แรงกระทบจะก่อให้เกิดความเครียดในเส้นใยแก้วนำแสง ถ้าแรงกระทบมากเกินไปก็กัดเส้นใยแก้วนำแสงจะแตกหัก เพื่อป้องกันแรงกระทบซึ่งทำให้เกิดแรงกระทำ

ด้านข้างกับเส้นใยแก้วนำแสงท่อหลวม (Loose Tube) จึงถูกนำมาใช้บรรจุเส้นใยแก้วนำแสง หรือใช้เทป หรือวัสดุบางประเภทเป็นเกราะกำบังขณะตีเกลียวหรือการหุ้มเปลือกนอกเพื่อป้องกันได้ เคเบิลที่ฝังดิน โดยตรงอาจหุ้มเทปเหล็กป้องกันการกระแทก

2.3.1 กระบวนการผลิตสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง

กระบวนการผลิตสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

- 1) ขั้นตอนดึงแก้วเพื่อให้ได้เส้นใยแก้วนำแสง (Drawing Fiber Process)
- 2) ขั้นตอนการเคลือบสีเส้นใยแก้ว (Coloring Process)
- 3) ขั้นตอนการทำท่อหลวม (Loose Tube Process)
- 4) ขั้นตอนการตีเกลียว (SZ Stranding Process)
- 5) ขั้นตอนการหุ้มเปลือกนอก (Sheathing Process)



ภาพประกอบที่ 2.13 กระบวนการ Glass Lathing Process

Glass Lathing Process เป็นกระบวนการแรกที่น่าแท่งแก้ว (Preform) มาเชื่อมติดกับ Dummy Preform Tube ซึ่งจะใช้เป็นตัวยึดติดกับปากจับของเครื่องดึงแก้วเพื่อไม่ให้แท่งแก้วมีรอยชำรุดและเชื่อมติดกับ Dummy Preform Rod ซึ่งจะใช้เป็นตั้มน้ำหนักเพื่อดึงให้เป็นเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยแรงโน้มถ่วงในขณะที่แท่งแก้วหลอมตัวอยู่ในเตาเผาที่อุณหภูมิ $2,000^{\circ}\text{C}$

1) ขั้นตอนดึงแก้วเพื่อให้ได้เส้นใยแก้วนำแสง (Drawing Fiber Process) เป็นกระบวนการดึงแท่งแก้วในแนวตั้งในห้องที่ควบคุมความสะอาด เพื่อป้องกันไม่ให้มีฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกปะปนในเส้นใยแก้วนำแสง เส้นใยแก้วนำแสงที่ปราศจากสิ่งเจือปนจะมีคุณภาพสูงแตกหักยาก เส้นใยแก้วนำแสงจากขบวนการผลิตนี้ได้ชั้น Core ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $9.2\ \mu\text{m}$ มีชั้น Cladding เส้นผ่านศูนย์กลาง $125\ \mu\text{m}$ และมีสภาพเปราะง่ายจึงต้องเคลือบด้วย UV acrylate resin 2 ชั้นเพื่อให้เส้นใยแก้วนำแสงมีความแข็งแรงและโค้งงอได้โดยไม่เปราะ เส้นใยแก้วนำแสงที่เคลือบด้วย Resin แล้วจะมีขนาด $245\ \mu\text{m}$



ภาพประกอบที่ 2.14 กระบวนการ Drawing Fiber Process



ภาพประกอบที่ 2.15 กระบวนการ Proof Test Process

Proof Test Process เป็นกระบวนการทดสอบความแข็งแรงของเส้นใยแก้วนำแสงโดยนำมากรอภายใต้แรงกระทำเพื่อประกันว่าเส้นใยแก้วนำแสงที่ได้ทนทานที่ความเค้น 0.7 Gpa (Strain 1.0%) เพื่อคัดแยกเส้นใยแก้วนำแสงที่ไม่เหมาะสมในการผลิตออก



ภาพประกอบที่ 2.16 กระบวนการ Coloring Process

2) ขั้นตอนการเคลือบสีเส้นใยแก้ว (Coloring Process) เป็นกระบวนการเคลือบสีเส้นใยแก้วนำแสงตามมาตรฐาน เพื่อใช้แยกแยะในขั้นตอนการ Splice สารที่เคลือบคือ UV Ink ประเภท Acrylate Resin Coloring Fiber ที่ได้จะมีขนาด $250 \mu m$



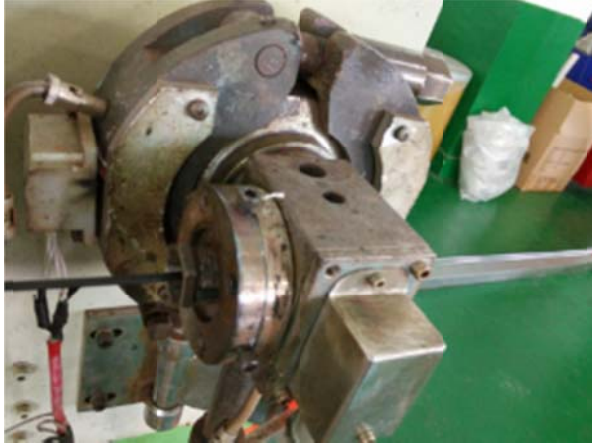
ภาพประกอบที่ 2.17 กระบวนการ Loose Tube Process

3) ขั้นตอนการทำท่อหลวม (Loose Tube Process) ขั้นตอนนี้เราจะนำ Coloring Fiber มาบรรจุในท่อหลวมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการชำรุดเสียหายจากแรงกระทำภายนอกและในขั้นตอนนี้จะบรรจุ Gel ประเภท Thixotropic เพื่อป้องกันน้ำและแรงกระทำภายนอกอันจะทำให้ Coloring Fiber แตกหักหรือมีค่าการบั่นทอนสัญญาณสูง



ภาพประกอบที่ 2.18 กระบวนการ SZ Stranding Process

4) ขั้นตอนการตีเกลียว (SZ Stranding Process) เป็นกระบวนการตีเกลียวท่อหลวม ลักษณะ SZ โดยมีแกนรับแรงดึงอยู่ตรงกลางเพื่อใช้เป็นตัวรับแรงดึงแทนเส้นใยแก้วนำแสงในการติดตั้ง จากนั้นจะพันด้วยด้ายเหนียวมีการหดตัวน้อย (Binder Yarn) ก่อนห่อด้วยโพลีเอสเตอร์เพื่อป้องกันการขีดข่วนหรือการเสียดสีอันจะเป็นอันตรายต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่อยู่ในท่อหลวม โครงสร้างบางประเภทได้รับการออกแบบให้มีการตีเกลียวด้วยรับแรงดึงรอบนอกเพิ่มเติมจากแกนรับแรงดึงตรงกลางเพื่อให้เคเบิลมีขนาดเล็กลง เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าเคเบิลจะมีการใส่ Filling Compound ประเภทเยลลี่หรือบางโครงสร้างเป็นประเภท Dry Core จะใช้เทปกั้นน้ำแทน



ภาพประกอบที่ 2.19 กระบวนการ Sheathing Process

5) ขั้นตอนการหุ้มเปลือกนอก (Sheathing Process) เป็นกระบวนการหุ้มเปลือกนอกชนิดโพลีเอทิลีนสีดำที่มีส่วนผสมของ Carbon Black ป้องกันการเสื่อมสภาพจากแสงแดด ก่อนหุ้มเปลือกนอกจะต้องห่อลুমินิยมเทปรอบแกนสายเพื่อไม่ให้ความชื้นเล็ดลอดเข้าภายในได้เมื่อเปลือกชำรุดเสียหาย ถ้าเป็นเคเบิลที่ติดตั้งแขวนอากาศจะต้องหุ้มลวดเหล็กที่เกลียวไปพร้อมกันด้วยเพื่อใช้รับแรงดึงแทนเคเบิลเมื่อแขวนบนเสาไฟฟ้า ถ้าเป็นเคเบิลประเภทฝังดินจะต้องห่อเทปเหล็กก่อนหุ้มเปลือกนอกเพื่อป้องกันแรงกระแทกหรือแรงกดจากยานพาหนะบนผิวดิน

ขบวนการภายในโรงงานผลิตสาย OFC มีขบวนการควบคุมคุณภาพ (QC: Quality Control) เพื่อควบคุมคุณภาพ ควบคุมผลิตภัณฑ์ระหว่างขบวนการผลิตทุกขั้นตอนให้เป็นไปตามมาตรฐาน ก่อนส่งมอบผู้ซื้อหรือลูกค้าจะมีการตรวจสอบคุณภาพสาย OFC สำเร็จรูปอีกครั้งก่อนการส่งมอบ

2.3.2 ระยะเวลาการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Induction Time, OIT)

เปลือกหุ้มภายนอก (Sheath) ใช้วัสดุกลุ่มพอลิเมอร์สามารถเกิดการเสื่อมสภาพได้ในบรรยากาศจากหลายสาเหตุด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น การได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ต การอยู่ในสถานะที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำมาก ๆ และการได้รับความชื้น ทำให้เกิดผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีและสมบัติทางฟิสิกส์ของโพลิเมอร์ อาทิ เกิดการเปราะหรือแตกหักเนื่องจากการเสื่อมทางเชิงกล การเปลี่ยนสี และการเสื่อมคุณสมบัติทางไฟฟ้า เป็นต้น

ทั้งนี้ค่า Oxidation Induction Time (OIT) เป็นค่าทดสอบที่สามารถใช้ประเมินเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของวัสดุ ที่สามารถทำการทดสอบได้จากเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ตามมาตรฐาน ASTM D3895, ASTM D6186, EN 728 และ ISO 11357-6 โดยการทดสอบจะเริ่มจากการเพิ่มความร้อนให้กับตัวอย่างด้วยอัตราเร็ว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสลายตัวก่อน สำหรับวัสดุโพลีเอทิลีนจะทดสอบในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย (ก๊าซไนโตรเจน, N₂) ที่

อุณหภูมิห้อง และเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็วสูงไปที่ 200-210 °C และเมื่อถึงอุณหภูมิ 200-210 °C จะเปลี่ยนเป็นบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน (O₂) แล้วทิ้งตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมินี้จนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ผลที่ได้จะทำให้ทราบว่าวัสดุตัวอย่างเกิดออกซิไดซ์เมื่อเวลาผ่านไปเท่าไร ค่าระยะเวลาการเกิดออกซิเดชัน (OIT) ที่นานแสดงว่าวัสดุมีเสถียรภาพที่ดี ซึ่งโดยทั่วไปค่า OIT จะสัมพันธ์กับปริมาณของสารเติมแต่งในระบบ

โพลีเอทิลีนที่ใช้ในการผลิตเป็นเปลือกนอกของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งในช่วงระหว่างการขึ้นรูปและเมื่อทำการขึ้นรูปแล้วใช้งานไปเป็นเวลานานๆ ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปอาจจะทำให้สายเคเบิลสูญเสียสมบัติทางกลได้ นอกจากนี้กระบวนการรีไซเคิลโพลีเอทิลีนเรซินอาจลดความสามารถของวัสดุในการทนต่อการเกิดออกซิเดชัน ดังนั้นเพื่อเป็นการประเมินเสถียรภาพของโพลีเอทิลีนที่เลือกใช้ มักจะทำการทดสอบ OIT มาทำการทดสอบวัสดุก่อนและหลังการผลิตสายเคเบิล โดยวัสดุที่ใช้ผลิตเป็นเปลือกนอกของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ดีควรมีค่า OIT ที่อุณหภูมิ 200 °C > 60 นาที

2.3.3 การตรวจสอบคุณภาพสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

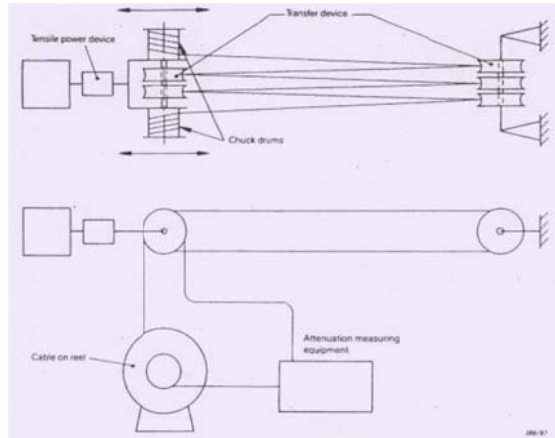
การตรวจสอบคุณภาพสายเคเบิล OFC ตามข้อกำหนดของ บมจ.ทีโอที มีขบวนการชักตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนของสายเคเบิล OFC ทั้งหมด จำนวนตัวอย่างที่สุ่มชักตัวอย่างทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 2.1 สำหรับจำนวน Cores ที่ใช้ทดสอบ กำหนดอย่างน้อย 12 Cores ยกเว้นสายกระจายใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Drop Wire) แบบกลม (Round Type) ขนาด 2 Cores จำนวน Cores ที่ใช้ทดสอบ 2 Cores

ตารางที่ 2.1 การชักตัวอย่างของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

Lot Size/Drums	1-5	6-10	11-15	16-21	22-27	28-33	34-39	40-47	48-55	> 55
Lot Size/Drums	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2.3.3.1 ทดสอบคุณสมบัติทางกล (Mechanical Characteristics Test)

Tensile Loading Test (การทดสอบแรงดึง) อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60794-1-2-E1 เป็นการทดสอบความทนทานต่อแรงดึงของเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยพิจารณาค่าความเครียดของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Strain) และค่าเปลี่ยนแปลงการลดทอนของสัญญาณ (Attenuation Change) และความเสียหายทางกายภาพ ภายใต้แรงกระทำที่กำหนด



ภาพประกอบที่ 2.20 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

วิธีการทดสอบ

- 1) ดึงสายเคเบิลออกจากระวางความยาวประมาณ 100 เมตร
- 2) นำสายเคเบิลขึ้นพันรอบรอกทั้งสองข้างพร้อมยึดสายเคเบิลให้แน่น
- 3) ทำการต่อเส้นใยแก้วนำแสงทั้งต้นทางและปลายทางเข้าเครื่อง Strain Measurement System
- 4) กำหนดแรงดึงให้ตรงตามประเภทสายเคเบิล (สายเคเบิล 1 ชั่วโมง สายขนาดเล็ก 5 นาที่)
- 5) กำหนดความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดสอบคือ 1550 nm
- 6) รายงานผลการทดสอบค่าการเปลี่ยนแปลง ระหว่างดึง ขณะดึง หลังดึง ไม่เกิน 0.1 dB ด้วยเครื่อง Strain Measurement System



ภาพประกอบที่ 2.21 แสดงตัวอย่างเครื่องมือทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

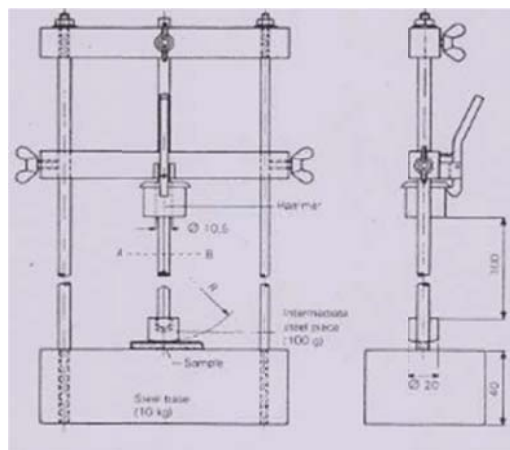
2.3.3.2 Impact Resistance Test (การทดสอบความทนต่อแรงกระแทก)

การทดสอบความทนต่อแรงกระแทก อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60794-1-2-E4 เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความสามารถในการทนต่อแรงกระแทกของเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยพิจารณาว่า

เปลี่ยนแปลงการลดทอนของสัญญาณ (Attenuation Change) และความเสียหายทางกายภาพภายใต้แรงกระแทกที่กำหนด

วิธีการทดสอบ

- 1) ดึงสายเคเบิลออกจากระวางความยาวประมาณ 20 เมตร
- 2) วางสายเคเบิลไว้ตำแหน่งที่เครื่องทดสอบแรงกระแทก
- 3) ทำการต่อเส้นใยแก้วนำแสงทั้งต้นทางและปลายทางเข้าเครื่อง Strain Measurement System
- 4) ตั้งจำนวนกระแทก 20 ครั้ง
- 5) กำหนดความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดสอบคือ 1550 nm
- 6) รายงานผลการทดสอบ ค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่าง ขณะกระแทก หลังกระแทก ไม่เกิน 0.1 dB ด้วยเครื่อง Strain Measurement System



ภาพประกอบที่ 2.22 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก



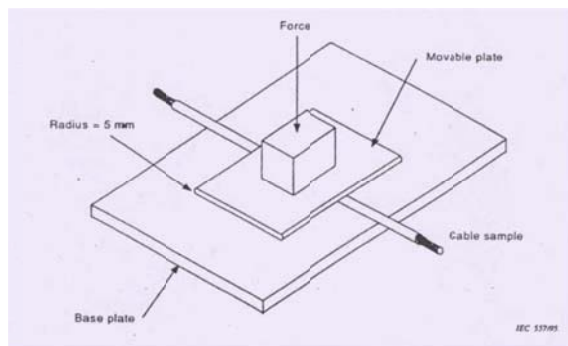
ภาพประกอบที่ 2.23 แสดงตัวอย่างเครื่องมือทดสอบแรงกระแทก

2.3.3.3 Compression /Crush Test (การทดสอบแรงอัด)

การทดสอบแรงอัด อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60794-1-2-E3 เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความสามารถในการทนต่อการบีบอัด หรือการกดของเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยพิจารณาค่าเปลี่ยนแปลงการลดทอนของสัญญาณ (attenuation change) และความเสียหายทางกายภาพ ภายใต้แรงกระทำที่กำหนด

วิธีการทดสอบ

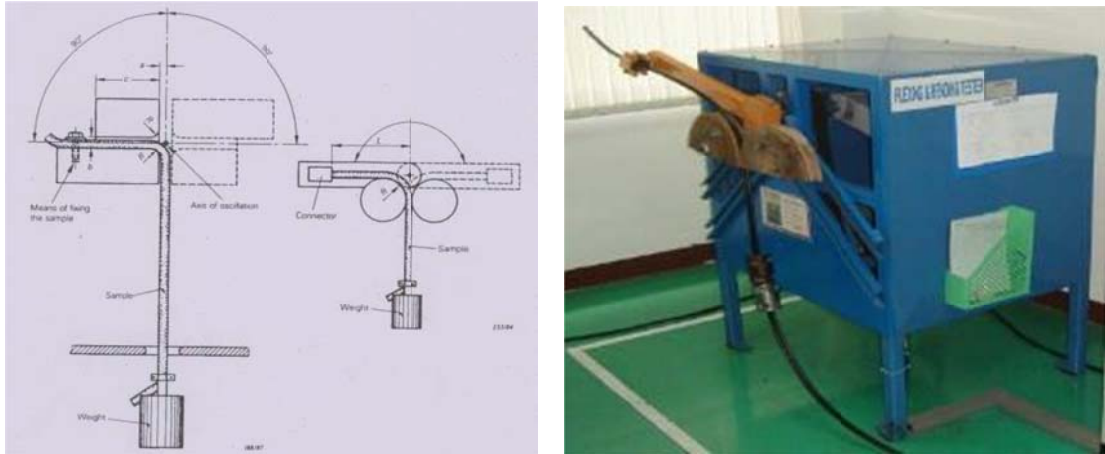
- 1) ดึงสายเคเบิลออกจากกระวังความยาวประมาณ 20 เมตร
- 2) วางสายเคเบิลไว้ตำแหน่งที่เครื่องอัด
- 3) ทำการต่อเส้นใยแก้วนำแสงทั้งต้นทางและปลายทางเข้าเครื่อง Strain Measurement System
- 4) กำหนดแรงอัดให้ตรงตามประเภทสายเคเบิล
- 5) กำหนดความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดสอบคือ 1550 nm
- 6) กำหนดเวลาในการทดสอบแรงอัด 10 นาที (1 จุด)
- 7) วัดค่าลดทอนสัญญาณก่อนและหลังใช้เครื่องอัด
- 8) รายงานผลการทดสอบ ค่าการเปลี่ยนแปลง ระหว่าง ขณะอัด หลังอัด ไม่เกิน 0.1 dB ด้วยเครื่อง Strain Measurement System



ภาพประกอบที่ 2.24 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบแรงอัดและเครื่องมือทดสอบแรงอัด

2.3.3.4 Flexing/Repeat Bending Test (การทดสอบการโค้งงอซ้ำ)

การทดสอบการโค้งงอซ้ำ อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60794-1-2-E6 เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความสามารถในการทนต่อความโค้งงอซ้ำของเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยพิจารณาค่าเปลี่ยนแปลงการลดทอนของสัญญาณ (attenuation change) และความเสียหายทางกายภาพ ภายใต้แรงกระทำที่กำหนด



ภาพประกอบที่ 2.25 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบการโค้งงอซ้ำและเครื่องมือทดสอบการโค้งงอซ้ำ

วิธีการทดสอบ

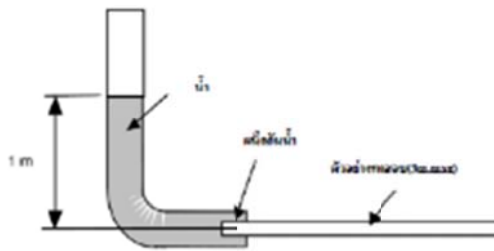
- 1) ดึงสายเคเบิลออกจากกระดิ่งความยาวประมาณ 20 เมตร
- 2) ติดตั้งสายเคเบิลในตำแหน่งเครื่องโค้งงอพร้อมยึดให้แน่น
- 3) ใส่ตุ้มน้ำหนักถ่วงตามมาตรฐานที่กำหนด
- 4) ทำการต่อเส้นใยแก้วนำแสงทั้งต้นทางและปลายทางเข้าเครื่อง Strain Measurement System
- 5) กำหนดจำนวนรอบที่จะทดสอบ (25 รอบ) โดย 1 รอบการทดสอบหมายถึงการโค้งงอของสายเคเบิลไปทางด้านซ้ายและขวาข้างละ 90 องศา
- 6) กำหนดความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดสอบคือ $1,550 \text{ nm}$
- 7) รายงานผลการทดสอบ ค่าการเปลี่ยนแปลง ระหว่าง ขณะโค้งงอ หลังโค้งงอไม่เกิน 0.1 dB ด้วยเครื่อง Strain Measurement System

2.3.3.5 Water Penetration (การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ)

การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60794-1-2F5 เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำเข้าเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยพิจารณาจากระยะการซึมผ่านของน้ำ ภายใต้เงื่อนไขของการทดสอบ

วิธีทดสอบ

- 1) นำสายตัวอย่างยาว 3 เมตร ปลอกเปลือกที่ปกคลุมสายเคเบิลประมาณ 10 เซนติเมตร
- 2) สอดปลายสายเคเบิลด้านที่ปกเข้ากับเครื่องปล่อยน้ำ ควบคุมแรงดันโดยระดับน้ำสูง 1 เมตร
- 3) เปิดวาล์วน้ำทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง โดยรักษาแรงดันระดับน้ำที่ความสูง 1 เมตร ตลอดเวลา
- 4) ตรวจสอบปลายอีกด้านต้องไม่มีน้ำซึมผ่าน



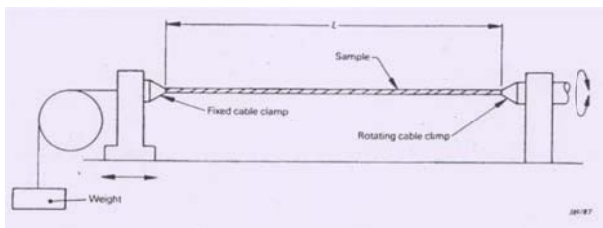
ภาพประกอบที่ 2.26 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบการซึมผ่านของน้ำและเครื่องมือทดสอบฯ

2.3.3.6 Twisted Test (การทดสอบแรงบิด)

การทดสอบแรงบิด อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60794-1-2-E7 เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความสามารถในการทนต่อแรงบิดของเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยพิจารณาค่าเปลี่ยนแปลงการลดทอนของสัญญาณ (Attenuation Change) และความเสียหายทางกายภาพ ภายใต้แรงกระทำที่กำหนด

วิธีการทดสอบ

- 1) ดึงสายเคเบิลออกจากกระดิ่งความยาวประมาณ 20 เมตร
- 2) ติดตั้งสายเคเบิลในตำแหน่งเครื่องโค้งงอพร้อมยึดให้แน่น
- 3) ใส่ตุ้มน้ำหนักถ่วงตามมาตรฐานที่กำหนด
- 4) ทำการต่อเส้นใยแก้วนำแสงทั้งต้นทางและปลายทางเข้าเครื่อง Strain Measurement System
- 5) กำหนดองศาทดสอบที่ 180 องศา
- 6) กำหนดจำนวนรอบที่จะทดสอบ (10 รอบ) โดย 1 รอบการทดสอบหมายถึงการบิดของสายเคเบิลเริ่มจากตำแหน่งซ้ายและขวาข้างละ 180 องศา
- 7) กำหนดความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดสอบคือ 1550 nm
- 8) รายงานผลการทดสอบ ค่าการเปลี่ยนแปลง ระหว่าง ขณะบิด หลังบิดไม่เกิน 0.1 dB ด้วยเครื่อง Strain Measurement System



ภาพประกอบที่ 2.27 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบแรงบิดและเครื่องมือทดสอบแรงบิด

2.3.3.7 Bending Test (การทดสอบการโค้งงอ)

การทดสอบการโค้งงอ อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60794-1-2-E11B เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความสามารถในการทนต่อความโค้งงอของเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยพิจารณาค่าเปลี่ยนแปลงการลดทอนของสัญญาณ (Attenuation Change) และความเสียหายทางกายภาพ ภายใต้แรงกระทำที่กำหนด

วิธีการทดสอบ

- 1) ดึงสายเคเบิลออกจากกระวังความยาวประมาณ 20 เมตร
- 2) ติดตั้งสายเคเบิลในตำแหน่งเครื่องโค้งงอพร้อมยึดให้แน่น
- 3) ใส่ตุ้มน้ำหนักถ่วงตามมาตรฐานที่กำหนด
- 4) ทำการต่อเส้นใยแก้วนำแสงทั้งต้นทางและปลายทางเข้าเครื่อง Strain Measurement System
- 5) กำหนดองศาทดสอบที่ 180 องศา
- 6) กำหนดจำนวนรอบที่จะทดสอบ (10 รอบ) โดย 1 รอบการทดสอบหมายถึงการบิดของสายเคเบิลเริ่มจากตำแหน่งซ้ายและขวาข้างละ 180 องศา
- 7) กำหนดความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดสอบคือ 1550 nm
- 8) รายงานผลการทดสอบ ค่าการเปลี่ยนแปลง ระหว่าง ขณะโค้งงอ หลังโค้งงอไม่เกิน 0.1 dB ด้วยเครื่อง Strain Measurement System



ภาพประกอบที่ 2.28 แสดงเครื่องมือทดสอบการโค้งงอ

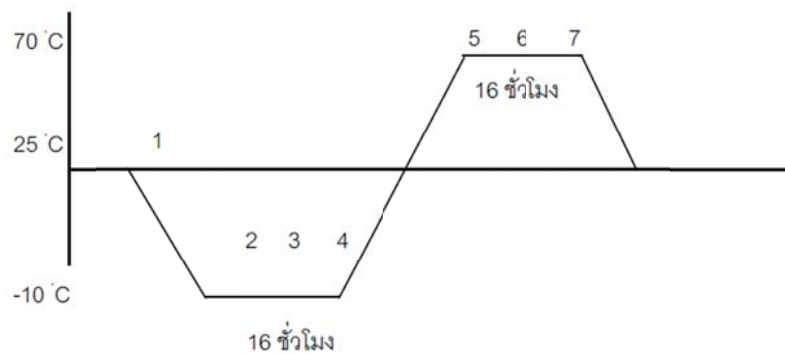
2.3.3.8 Temperature Cycling Test (การทดสอบวัฏจักรอุณหภูมิ)

การทดสอบวัฏจักรอุณหภูมิ อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60794-1-2F1 เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความสามารถในการทนต่อวัฏจักรอุณหภูมิ ของเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยพิจารณาค่า

เปลี่ยนแปลงการลดทอนของสัญญาณ (Attenuation Change) และความเสียหายทางกายภาพ ภายใต้เงื่อนไขสภาวะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่กำหนด

วิธีการทดสอบ

- 1) นำระวิงสายเคเบิลใส่เข้าตู้ควบคุมอุณหภูมิ และนำปลายสายลอดออกมาทางนอกตู้เพื่อนำเครื่องมือวัดต่อเข้ากับปลายสายที่ทำการวัด
- 2) กำหนดความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดสอบคือ 1550 nm
- 3) ตั้งค่าควบคุมอุณหภูมิของตู้และช่วงเวลาตามที่กำหนด คือ
- 4) อุณหภูมิ ที่ 25°C ต่อเนื่อง 4 ชั่วโมง
 - อุณหภูมิ ที่ -10°C ต่อเนื่อง 16 ชั่วโมง
 - อุณหภูมิ ที่ 70°C ต่อเนื่อง 16 ชั่วโมง
- 5) บันทึกค่า การลดทอนสัญญาณ ณ ช่วงอุณหภูมิตามระยะเวลา
- 6) รายงานผลการทดสอบค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้าย ไม่เกิน 0.1 dB



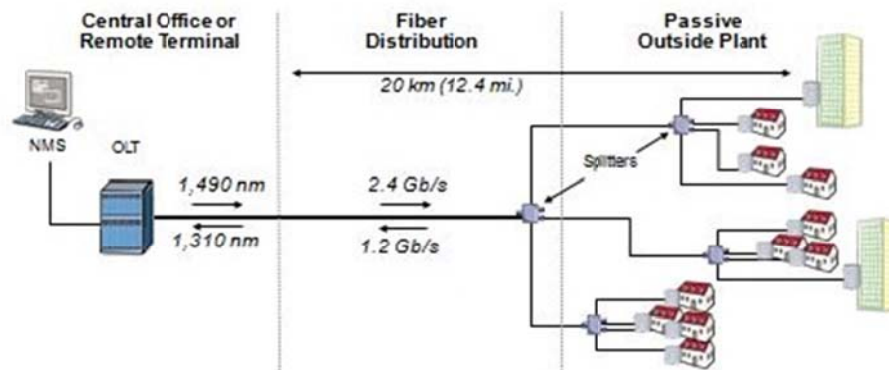
ภาพประกอบที่ 2.29 แสดงช่วงเวลาการตั้งค่าอุณหภูมิของตู้ควบคุมอุณหภูมิ



ภาพประกอบที่ 2.30 แสดงเครื่องมือทดสอบวัฏจักรอุณหภูมิ (ตู้ควบคุมอุณหภูมิ)

2.4 บริการ FTTx

บริการ FTTx ออกแบบรับส่งสัญญาณจากต้นทาง (OLT) ไปยังผู้ใช้บริการปลายทาง (ONU/ONT) ริงบนเส้นใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียวโดยหลักการ รับ-ส่ง คนละความยาวคลื่น แตกต่างจากการติดต่อสื่อสารระหว่างเมืองที่ต้องเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้น



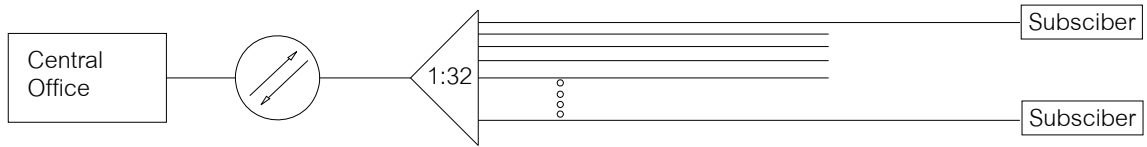
ภาพประกอบที่ 2.31 ความยาวคลื่นแสงที่ให้บริการบนโครงข่าย FTTx

ผู้รับบริการ FTTx ด้วยเทคโนโลยี GPON ฝั่งปลายทางจะรับข้อมูล (Downstream) Voice & Data จากชุมสาย (OLT) ผ่านความยาวคลื่น 1490 nm และความยาวคลื่น 1550 nm สำหรับสัญญาณ Video เมื่อต้องการส่งข้อมูล Voice & Data กลับมายังชุมสาย (OLT) (Upstream) ผ่านความยาวคลื่น 1310 nm

บริการ FTTx เริ่มจาก OLT ส่งสัญญาณแสงผ่านสายเคเบิล OFC (Optical Fiber Cable) ไปยังอุปกรณ์ Fiber Optic Splitter [3] ที่ติดตั้งภายในตู้ SDP/ODP (Splitter Distribution Point) หรือตู้ OFCCC (Outdoor Fiber Cross Connecting Cabinet) ขึ้นกับการออกแบบโครงข่าย ODN นั้น ๆ เพื่อแยกกระจายสัญญาณแสงด้วยอุปกรณ์ Fiber Optic Splitter สัญญาณแสงด้านเข้า (Input) กระจายด้านออก (Output) หลายสัญญาณตามเทคโนโลยี FTTx เพื่อเชื่อมต่อผ่านสาย Access OFC มาตรฐาน ITU-T G.657(A2/B2) [4] ไปยัง ONU/ONT ณ ตำแหน่งปลายทาง

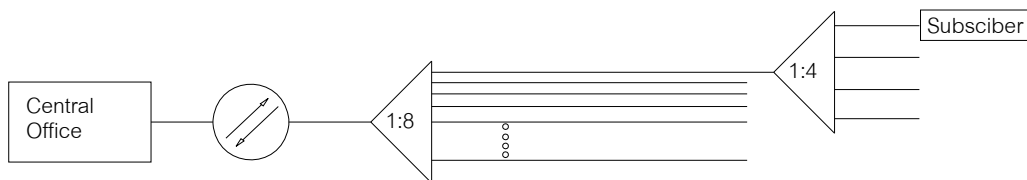
บริการ GPON FTTx โครงข่าย ODN ระยะทางไม่เกิน 20 กิโลเมตร แบ่งได้ 2 รูปแบบ คือ

1) โครงข่าย ODN แบบรวมศูนย์กลาง (Centralized) เหมาะสำหรับชุมชนเมืองหนาแน่นอุปกรณ์ Splitter Optic จุดแรกจะติดตั้งในชุมสายบริการ FTTx หลังอุปกรณ์ OLT (Optical Line Terminal) ก่อนกระจายผ่านสายเคเบิล OFC ออกรอบชุมชนฯ ต้องใช้คู่สายเคเบิล OFC มากก่อนกระจายสัญญาณหลังอุปกรณ์ Splitter Optic จุดที่สองผ่านสาย Access OFC ไปยังผู้ใช้บริการ



ภาพประกอบที่ 2.32 โครงข่าย ODN แบบรวมศูนย์กลาง (Centralized)

2) โครงข่าย ODN แบบกระจาย (Distributed) เหมาะสำหรับชุมชนที่ไม่หนาแน่นหรือชุมชนกระจุกตัวห่างจากชุมสายฯ อุปกรณ์ Splitter Optic จุดแรกจะอยู่ตำแหน่งระหว่างทางในรัศมี 20 km โครงข่ายลักษณะนี้ใช้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงน้อยกว่า ดังนั้นขนาดสายเคเบิล OFC ที่พาดบนเสาไฟฟ้าจะมีขนาดเล็กกว่า (อ้างอิงที่จำนวนผู้ใช้บริการเท่ากัน) ก่อนกระจายสัญญาณหลังอุปกรณ์ Splitter Optic จุดที่สองผ่านสาย Access OFC ไปยังผู้ใช้บริการเหมือนกับกรณีแรก



ภาพประกอบที่ 2.33 โครงข่าย ODN แบบกระจาย (Distributed)

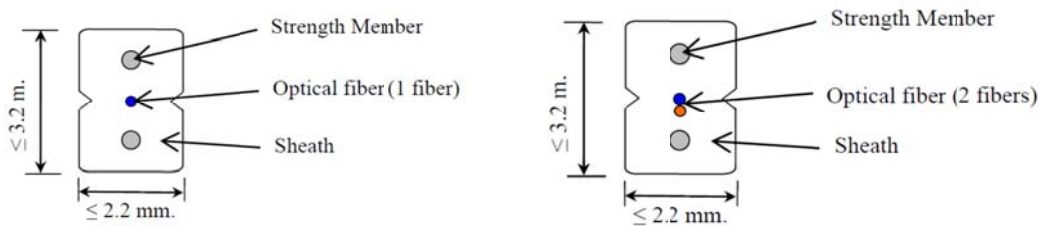
หลังอุปกรณ์ Splitter Optic จะเชื่อมต่อด้วยสาย Access OFC ขนาด 1 หรือ 2 F เข้าอาคารที่พักอาศัยเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ ONU/ONT ต้นปี พ.ศ.2563 กฟน. ออกหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารใหม่กำหนดสาย Access OFC ที่จะติดตั้งกับเสาไฟฟ้าของ กฟน. มีหรือไม่มีสายสะพานก็ได้ ถ้ามีสายสะพานต้องไม่มีส่วนที่เป็นโลหะ เป็นเหตุให้สาย Access OFC ชนิด OFC Round Type ตามมาตรฐานของ บมจ.ทีโอที ไม่สามารถติดตั้งกับเสาของ กฟน. ได้ จำเป็นต้องจัดทำโครงการออกแบบสาย Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ

2.5 สาย Optical Fiber Drop Cable (OFC Round Type)

สาย Optical Fiber Drop Cable (OFC Round Type) ที่ต่อเชื่อมโยงเข้าอาคารสำหรับบริการ FTTx แบ่งหลักๆ ได้ 2 ชนิดคือ Access OFC ชนิด OFC Flat Type โครงสร้างแบนเส้นใยแก้วนำแสงฝังตรงที่เปลือกเคเบิลเหมาะสมกับระยะทางสายไม่ยาวมากและ Access OFC ชนิด OFC Round Type โครงสร้างกลมเส้นใยแก้วนำแสงอยู่แกนกลางแยกจากเปลือกเคเบิล เส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัวได้เล็กน้อยเหมาะสมกับระยะทางสายที่ยาวและสภาพการใช้งานในพื้นที่ที่มีผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมสูง

บมจ.ทีโอที เริ่มทดลองเปิดให้บริการ FTTx นำร่องจังหวัดภูเก็ต นำร่องด้วยเทคโนโลยี GPON และ EPON ก่อนสรุปคัดเลือกระบบ GPON และเลือกใช้สาย Access OFC ชนิด OFC Flat Type [5] ตามมาตรฐาน บมจ.ทีโอที

หลังจากติดตั้งใช้งานสาย Access OFC ชนิด OFC Flat Type ไปได้ระยะหนึ่ง บางพื้นที่เจอปัญหาผู้ใช้บริการแจ้งเหตุเสียเข้ามา เมื่อพนักงานไปตรวจสอบเจอปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหายจากเปลือกหุ้มไม่ยึดหยุ่น เมื่อสายชนิด OFC Flat Type แกว่งตามแรงลมเส้นใยแก้วฝั่งโดยตรงกับเปลือกเคเบิลชำรุดเสียหาย



ภาพประกอบที่ 2.34 โครงสร้างสาย Access OFC ชนิด OFC Flat Type

หน่วยงานที่เกี่ยวข้องร่วมวิเคราะห์ปัญหาพบว่าเหตุเสียจะผกผันกับคุณภาพสายชนิด OFC Flat Type ที่เปลือกเคเบิลไม่ยึดหยุ่น ปัญหาลักษณะนี้เกิดกับสายจัดซื้อพร้อมกันในล็อตนั้น ๆ ประกอบกับผู้เชี่ยวชาญจากประเทศญี่ปุ่นให้คำแนะนำสาย Access OFC ชนิด OFC Flat Type ออกแบบให้ติดตั้งระยะสั้นไม่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของ บมจ.ทีโอที ที่ระยะสายยาวถึง 300 เมตร

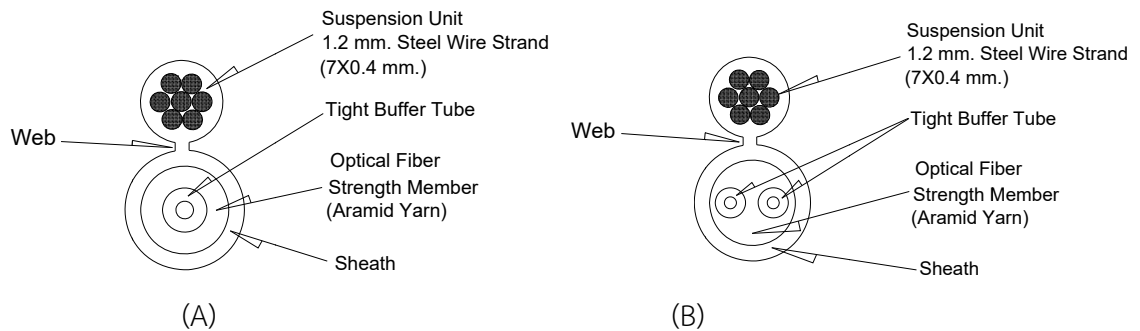
จากปัญหาที่เกิดขึ้น บมจ.ทีโอที ได้ออกแบบสาย Access OFC เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นและรองรับระยะสายที่ยาวภายใต้ชื่อสาย Optical Fiber Drop Cable (Round Type) (Optic Drop Wire for FTTx (Round Type (1-2 F) เรียกสั้น ๆ ว่า OFC Round Type โครงสร้างมีสายสะพานผลิตจากลวดเหล็ก (Steel Wire Strand) เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 mm จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นรองแยกออกจากเคเบิลเส้นหลัก

สาย OFC Round Type ไม่มี Loose Tube แต่จะใช้เส้นใยแก้วนำแสงใช้ชนิดท่อแน่น (Tight-Buffered Fiber) พันด้วย Aramid Yarn ช่วยในการรับแรงและป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงเสียหาย มาตรฐานการติดตั้งใช้งานแขวนระยะห่างเสา 40 เมตร รับแรงดึงใช้งาน 1000 N (101.9 Kgf) ติดตั้งด้วยอุปกรณ์ Drop Wire Clamp

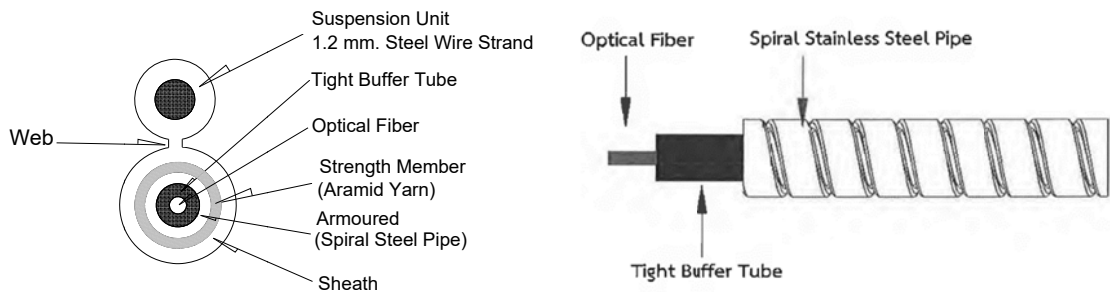
สาย OFC Round Type มี 2 ชนิด คือชนิดธรรมดากับชนิดป้องกันสัตว์กัดแทะ โครงสร้างภายในของสาย OFC Round Type ทั้งสองชนิดเหมือนกัน แบ่งโครงสร้างออกได้ 2 แบบ คือ

- 1) เส้นใยแก้วนำแสง 1F ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยแก้วนำแสงหลังหุ้มด้วย Tight-Buffered Fiber โต้ $900 \mu\text{m}$ ตามภาพประกอบที่ 2.35 (A)

2) แบบเส้นใยแก้วนำแสง 2F ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยแก้วนำแสงหลังห่อหุ้มด้วย Tight-Buffered Fiber แต่ละเส้นโต $600\ \mu\text{m}$ ตามภาพประกอบที่ 2.35 (B)



ภาพประกอบที่ 2.35 สาย Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1F (A) และ 2F (B)



ภาพประกอบที่ 2.36 สายชนิดป้องกันสัตว์กัดแทะ OFC Armoured Round Type 1F

สาย OFC Round Type ชนิดป้องกันสัตว์กัดแทะโครงสร้างเพิ่มโลหะห่อหุ้ม (Spiral Steel Pipe) ผลิตจาก Stainless Steel เกรด SUS304 สายสะพานรับแรงดึง (Suspension) เปลี่ยนจากเส้นลวดตีเกลียว $7\times 0.4\ \text{mm}$ เป็นเส้นลวดเดี่ยว $1\times 1.2\ \text{mm}$ ฉนวนใช้วัสดุ LSZH (Low Smoke Zero Halogen) ตามภาพประกอบที่ 2.36 ชื่อ “Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type))”

สายเคเบิล OFC Round Type ที่ บมจ.ทีโอทีใช้ทั้งมี 2 ชนิด มีโครงสร้างธรรมดาสายสะพานรับแรงดึงเป็นเป็นลวดโลหะและสายเคเบิล OFC Round Type ชนิดป้องกันสัตว์กัดแทะโครงสร้างสายสะพานรับแรงดึงเป็นเป็นลวดโลหะส่วนที่ป้องกันสัตว์กัดแทะเป็นโลหะ Stainless Steel สายเคเบิล OFC Round Type ทั้ง 2 ชนิดไม่ตรงกับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารของ กพท. ปี พ.ศ. 2563

2.6 สาย Access OFC และวิธีการติดตั้งในต่างประเทศ

บริการ FTTx ในแต่ละประเทศใช้สาย Access OFC แบ่งออกได้ 2 โครงสร้างหลัก ๆ คือ โครงสร้างที่มีและไม่มีโลหะ อุปกรณ์และวิธีการติดตั้งใกล้เคียงกันกล่าวคือสาย Access OFC ที่มีโครงสร้างโลหะมีสายสะพานรับแรงดึง วิธีการติดตั้งจะใช้อุปกรณ์ในกลุ่ม Dropwire Clamp คล้ายกับ ผู้ให้บริการในประเทศไทย



ภาพประกอบที่ 2.37 อุปกรณ์ติดตั้งสาย Access OFC ที่มีโครงสร้างสายแบน



ภาพประกอบที่ 2.38 อุปกรณ์ติดตั้งสาย Access OFC ที่มีโครงสร้างสายกลม

สาย Access OFC ที่มีสายสะพานรับแรงดึงผลิตจากเส้นลวดโลหะที่ผลิตจากเส้นลวดตีเกลียว $7 \times 0.4 \text{ mm}$ และเส้นลวดเดี่ยว $1 \times 1.2 \text{ mm}$ เส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 2 ชนิดมีขนาด 1.2 mm เท่ากันแต่คุณสมบัติความเป็นสปริงของสายสะพานต่างกัน สายสะพานรับแรงดึงเส้นลวดเดี่ยวเมื่อนำมาโค้งงอเข้ากับอุปกรณ์จับยึด คุณสมบัติของเส้นลวดจะมีแรงสปริงตัวกลับช่วยให้ยึดแน่นกับอุปกรณ์จับยึด

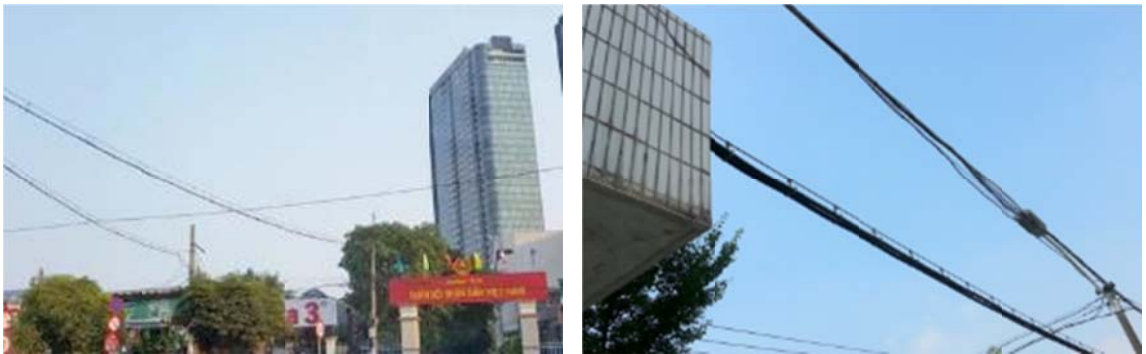
สาย Access OFC ที่มีสายสะพานรับแรงดึงผลิตจากเส้นลวดโลหะตีเกลียว $7 \times 0.4 \text{ mm}$ คุณสมบัติความเป็นสปริงของสายสะพานน้อย จากคุณสมบัติของลวดตีเกลียวสายสะพานรับแรงดึงเส้นลวดเดี่ยวเมื่อนำมาโค้งงอเข้ากับอุปกรณ์จับยึดจะไม่มีแรงสปริงตัวกลับ ใช้งานผ่านไประยะหนึ่งสาย Access OFC อาจคลายตัวหลุดออกจากอุปกรณ์จับยึดได้ ดังนั้นการคัดเลือกอุปกรณ์จับยึดสาย Access OFC ต้องพิจารณาชนิดของสายสะพานรับแรงดึงประกอบด้วย



ภาพประกอบที่ 2.39 วิธีการติดตั้งสาย Access OFC ที่มีสายสะพานรับแรงดึง

ต่างประเทศใช้สาย Access OFC ทั้งโครงสร้างที่มีและไม่มีโลหะ สาย Access OFC ที่มีสายสะพานรับแรงดึงผลิตจากเส้นลวดจะรับแรงดึงระหว่างจุดติดตั้งได้มากวิธีการติดตั้งตามภาพประกอบที่ 2.39

สาย Access OFC โครงสร้างที่ไม่มีสายสะพานรับแรงดึง วิธีการติดตั้งจะดึงสายสะพานรับแรงดึงระหว่างจุดติดตั้งก่อนเพื่อรับน้ำหนัก จากนั้นนำสาย Access OFC สอดเข้าห้วงเพื่อประกอบสาย Access OFC ไปตามแนวสายสะพานรับแรงดึงตามภาพประกอบที่ 2.40



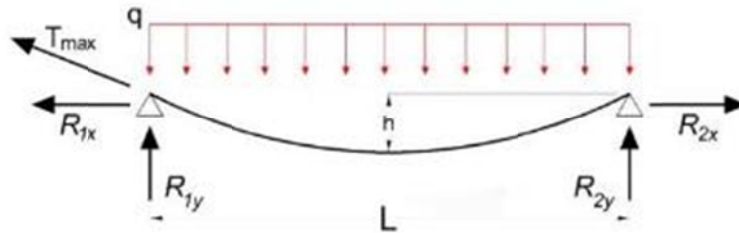
ภาพประกอบที่ 2.40 วิธีการติดตั้งสาย Access OFC กับห้วงรับน้ำหนักของสายสะพาน

หลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารใหม่กับเสาไฟฟ้าของ กปน. ที่ห้ามมีโครงสร้างโลหะนับเป็น ใจทย์ที่ท้าทายในการออกแบบสาย Access OFC และแนวทางการติดตั้ง บมจ.ทีโอที ต้องออกแบบสาย Access OFC ใหม่พร้อมวิธีการติดตั้ง ซึ่งอาจต้องออกแบบอุปกรณ์การติดตั้งใหม่ด้วย

2.7 การรับแรงดึงสาย Access OFC

การออกแบบสาย Access OFC ใหม่ที่ต้องปรับเปลี่ยนวัสดุรับแรงดึงจากเส้นลวดโลหะเป็น วัสดุที่ไม่มีโลหะ เพื่อรองรับการออกแบบได้ศึกษาการรับแรงดึง Access OFC ชนิด OFC Round Type

เดิมที่ บมจ.ทีโอทีใช้งานและสาย Access OFC อื่น ๆ ทั้งแบบโครงสร้างที่มีหรือไม่มีโลหะ ไม่ว่าสาย Access OFC นั้น ๆ ใช้งานภายในหรือภายนอกอาคาร เพื่อนำข้อมูลมาออกแบบสาย Access OFC ใหม่ การติดตั้งสาย Access OFC มาตรฐานใช้งานระหว่างเสา (Span) 40 เมตร คำนวณหาค่าแรงดึงแนวนอนระหว่างช่วงเสาได้ตามสมการ (2.12) ถึง (2.14) ทิศทางการรับแรงตามภาพประกอบที่ 2.41



ภาพประกอบที่ 2.41 ทิศทางการรับแรงและสัญลักษณ์ในการคำนวณการรับแรงแนวนอนระดับเดียวกัน

สูตรคำนวณหาค่าแรงดึงแนวนอน

$$R_{1x} = R_{2x} = R_x = \frac{qL^2}{8h} \quad (2.12)$$

สูตรคำนวณหามวลและน้ำหนักในแนวตั้ง

$$R_{1y} = R_{2y} = R_y = \frac{qL}{2} \quad (2.13)$$

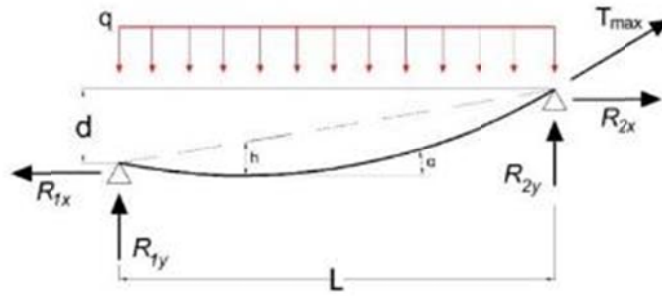
สูตรคำนวณหาผลรวมของแรงดึงและน้ำหนักสายที่กระทำ ณ อุปกรณ์จับยึด

$$T_{\max} = (R_x^2 + R_y^2)^{0.5} \quad (2.14)$$

สูตรคำนวณหาความยาวสายระหว่างจุดจับยึด

$$S = L + \left(\frac{8h^2}{3L} \right) \quad (2.15)$$

เมื่อ	$R_{1x} = R_{2x} = R_x =$	แรงดึงแนวนอน (N)
	$R_{1y} = R_{2y} = R_y =$	น้ำหนักในแนวตั้ง (N)
	$T_{\max} =$	ผลรวมแรงกระทำตำแหน่งอุปกรณ์จับยึด (N)
	$S =$	ความยาวสาย (เมตร)
	$q =$	น้ำหนักสาย (N / m)
	$L =$	ระยะห่างระหว่างเสา (เมตร)
	$h =$	ระยะท้องช้าง (เมตร)



ภาพประกอบที่ 2.42 ทิศทางการรับแรงและสัญลักษณ์ในการคำนวณการรับแรงต่างระดับ

กรณีตำแหน่งติดตั้งสาย Access OFC จุดจับยึด 2 ด้าน มีระดับไม่เท่ากันตามภาพประกอบที่ 2.42 สามารถคำนวณหาค่าแรงดึงแนวนอนต่างระดับได้ตามสมการ (2.16) ถึง (2.18) ดังนี้

สูตรคำนวณหาค่าแรงดึงแนวนอนต่างระดับ

$$R_{1x} = R_{2x} = R_x = \frac{qL^2}{8h} \quad (2.16)$$

สูตรคำนวณหามวลและน้ำหนักในแนวตั้งต่างระดับ

$$R_{1y} = R_{2y} = R_y = \frac{R_x d}{L} + \frac{qL}{2} \quad (2.17)$$

สูตรคำนวณหาผลรวมของแรงดึงและน้ำหนักสายที่ระดับสูงกว่ากระทำ ณ อุปกรณ์จับยึด

$$T_{\max} = (R_x^2 + R_y^2)^{0.5} \quad (2.18)$$

เมื่อ	$R_{1x} = R_{2x} = R_x =$	แรงดึงแนวนอน (N)
	$R_{1y} = R_{2y} = R_y =$	น้ำหนักในแนวตั้ง (N)
	$T_{\max} =$	ผลรวมแรงกระทำตำแหน่งอุปกรณ์จับยึด (N)
	$q =$	น้ำหนักสาย (N/m)
	$L =$	ระยะห่างระหว่างเสา (เมตร)
	$h =$	ระยะท้องช้าง (เมตร)
	$d =$	ระยะความแตกต่างระหว่างจุดจับยึด (เมตร)

สาย Access OFC ชนิด OFC Round Type ค่ารับแรงดึงระหว่างช่วงมาตรฐานการติดตั้ง บมจ. ทีโอที กำหนดให้สายเคเบิล OFC Round Type ระยะตกท้องช้างร้อยละ 0.5

จากสูตรคำนวณค่ารับแรงดึงแนวนอน (R_x) สูตรหามวลและน้ำหนักในแนวตั้ง (R_y) และ สูตรคำนวณหาความยาวสายระหว่างจุดจับยึด (S) ค่าตัวแปรที่สำคัญคือน้ำหนักสายตัวอย่าง ได้สุ่ม ตัวอย่างสาย Access OFC ชนิด OFC Round Type ที่มีสายสะพานโลหะรับแรงดึงทั้งแบบธรรมดาและ แบบมีเกราะ ซึ่งหาน้ำหนักตัวอย่างสาย Access OFC ชนิดต่าง ๆ รายละเอียดตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 น้ำหนักสาย Access OFC ชนิดต่าง ๆ

Sample.	Cable type							
	OFC Round Type 1F		OFC Round Type Armoured 1F		OFC Round Type Armoured 2F		OFC Indoor Non-Metallic	
1	33.97	0.33	24.42	0.24	29.66	0.29	8.99	0.09
2	33.20	0.33	24.00	0.24	30.01	0.29	8.99	0.09
3	32.93	0.32	24.34	0.24	29.85	0.29	9.99	0.10
Avg.	33.37	0.33	24.25	0.24	29.84	0.29	9.32	0.09
Unit	<i>g/m</i>	<i>N/m</i>	<i>g/m</i>	<i>N/m</i>	<i>g/m</i>	<i>N/m</i>	<i>g/m</i>	<i>N/m</i>

จากน้ำหนักสาย Access OFC ชนิดต่าง ๆ ตามตารางที่ 2.2 จะแสดงตัวอย่างการ คำนวณหาค่ารับแรงดึงจากหาค่าแรงดึงแนวนอน (R_x) สาย Access OFC ชนิด OFC Round Type 1F ที่ระยะห่างเสา (L) 40 เมตร ระยะตกท้องข้างร้อยละ 0.5 (h) แทนค่าในสมการที่ (2.12) ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{0.33 \times 40^2}{8 \times \left(\frac{40 \times 0.5}{100}\right)} \\
 &= 330.00 \quad N \\
 &= 33.65 \quad kgf
 \end{aligned}$$

ผลการคำนวณหาค่าแรงดึงแนวนอน (R_x) ของสาย Access OFC ชนิดต่าง ๆ ที่ระยะเสา ห่าง 40 เมตร ด้วยสมการที่ (2.12) ผลการคำนวณหาค่าแรงดึงแนวนอนดังนี้

Cable type	R_x	R_x
1) OFC Round Type 1F (มีสายสะพานโลหะรับแรง)	330.00 <i>N</i>	33.65 <i>kgf</i>
2) OFC Round Type Armoured 1F (มีสายสะพานโลหะรับแรง)	240.00 <i>N</i>	24.00 <i>kgf</i>
3) OFC Round Type Armoured 2F (มีสายสะพานโลหะรับแรง)	290.00 <i>N</i>	29.57 <i>kgf</i>
4) OFC Indoor Non-Metallic (ไม่มีสายสะพานโลหะ)	90.00 <i>N</i>	9.18 <i>kgf</i>

คำนวณหาความยาวสายระหว่างช่วงเสา (S) ที่ระยะห่างเสา (L) 40 m ระยะตักท้องข้าง ร้อยละ 0.5 ของระยะห่างเสา ($h=0.20$ เมตร) ตามสมการที่ (2.15) ได้ความยาวสายจริง 40.003 เมตร\

$$S = 40 + \left(\frac{8 \left(\frac{40 \times 0.5}{100} \right)^2}{3 \times 40} \right)$$

จากการคำนวณสายเคเบิล OFC Round Type ที่มีสายสะพานโลหะรับแรงดึงทั้งแบบ ธรรมดาและแบบมีเกราะกันสัตว์กัดแทะ ค่าแรงดึงแนวนอนอยู่ระหว่าง 240 N ถึง 330 N เฉลี่ย 287 N สายเคเบิล OFC Indoor Non-Metallic ที่ไม่มีสายสะพานโลหะรับแรงดึงค่าแรงดึง 90 N

ผลสรุปโครงการวิจัยนี้ออกแบบสาย OFC Round Type ชนิดไม่มีโลหะมาทดแทนสายที่ใช้ งานเดิม ค่ารับแรงดึงต้องไม่ด้อยลงกว่าเดิม ดังนั้นจะใช้ค่าแรงดึงแนวนอนสายเดิมที่คำนวณจากน้ำหนัก สาย 300 N (ปัดขึ้นจาก 287 N) ที่ระยะห่างเสา 40 เมตรอ้างอิงในการออกแบบ

2.8 สรุป

โดยสรุปเส้นใยแก้วนำแสงแบ่งตามการเดินทางของแสง (Propagation Mode) ได้ 2 ชนิด คือแบบหลายโหมด (MM: Multimode Optical Fiber Core) และแบบโหมดเดียว (SM: Single Mode Optical Fiber Core) เส้นใยแก้วนำแสงชนิด MM เหมาะสมกับการใช้งานระยะใกล้ ๆ ส่วนเส้นใยแก้ว นำแสงชนิด SM ใช้งานระยะทางไกล โครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงแบ่งกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลักและสาย เคเบิลเส้นรอง สายเคเบิล OFC มีหลายชนิดโครงสร้างมีและไม่มีส่วนประกอบของโลหะ

จากหลักเกณฑ์ล่าสุดการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ปี พ.ศ. 2563 ระบุสายสื่อสารเส้นใยแก้ว นำแสงทุกชนิดที่ติดตั้งบนเสาไฟฟ้าของ กฟน. ต้องไม่มีส่วนประกอบของโลหะ สาย Access OFC ขนาด 1 และ 2 F ที่ บมจ.ทีโอที ใช้งานมีสายสะพานรับแรงดึงผลิตจากเส้นลวดโลหะขัดกับหลักเกณฑ์ของ กฟน. จากปัญหาข้างต้นสถาบันนวัตกรรม ทีโอที ได้รับมอบหมายให้แก้ไขปัญหาลักษณะนี้ ออกแบบสาย Access OFC ขนาด 1 และ 2 F โครงสร้างไม่มีโลหะหรือวิธีการอื่นใดให้สอดคล้องกับหลักเกณฑ์ของ กฟน.

ข้อมูลประกอบการออกแบบสาย Access OFC ขนาด 1 และ 2 F โครงสร้างไม่มีโลหะ คณะทำงานได้ศึกษาขบวนการออกแบบและขั้นตอนการผลิตสายเคเบิล OFC แต่ละชนิดขึ้นกับสภาวะ แวดล้อม ตำแหน่งติดตั้งใช้งานอ้างอิงระยะห่างเสา 40 เมตร

โครงการวิจัยนี้ออกแบบสาย OFC Round Type ชนิดไม่มีโลหะมาทดแทนสายที่ใช้งานเดิม สามารถรับแรงดึงได้ไม่น้อยกว่าชนิดเดิมที่ใช้งาน ดังนั้นจะใช้ค่าแรงดึงแนวนอนสายเดิมที่คำนวณจาก น้ำหนักสาย 300 N (ปัดขึ้นจาก 287 N) ที่ระยะห่างเสา 40 เมตรอ้างอิงในการออกแบบ

บทที่ 3.

ออกแบบสาย New Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ

3.1 คุณสมบัติและโครงสร้างสาย Access OFC ที่ใช้งานเดิม

โครงการวิจัยออกแบบสาย Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะรองรับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ปี พ.ศ. 2563 ขั้นตอนวิจัยจะอ้างอิงสาย Access OFC เดิมที่ บมจ.ทีโอที ใช้งาน โดยเฉพาะค่าแรงดึงใช้งานเดิมที่มีสายสะพานรับแรงดึงผลิตจากเส้นลวดโลหะมาตรฐานใช้งานระยะห่างเสา 40 เมตร รับแรงดึงใช้งาน $1000 N$ ($101.97 Kgf$) และศึกษาสายฯ กลุ่มเดียวกันในตลาด เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบสาย Access OFC ที่ไม่มีโลหะ

สาย Access OFC ที่ไม่มีโลหะโครงการวิจัยนี้ กำหนดชื่อโครงการ New Access OFC กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (OD: Outside Diameter) $3.50 mm$ เพื่อรองรับอุปกรณ์ต่อเนื่องของโครงข่าย ODN ที่ บมจ.ทีโอที ใช้งานอยู่ เช่น หัวต่อเคเบิล OFC ตู SDP/ODP ตู OFCCC และอุปกรณ์ OFTK (Optical Fiber Termination Kit) [6] ได้ ผลจากการคำนวณบทที่ 2. กำหนดค่ารับแรงดึงแนวนอนสาย OFC Round Type เดิมที่คำนวณจากน้ำหนักสาย $\geq 300 N$ ($30.59 Kgf$) อ้างอิงในการออกแบบ

การออกแบบสาย New Access OFC ค่ารับแรงดึงติดตั้งระหว่างช่วงเสาไฟฟ้า (Tensile Loading) และค่าความเครียดเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Strain) มีความสำคัญยิ่งต่อการใช้งานระยะสั้น (แรงดึงขณะติดตั้ง) และใช้งานระยะยาว (แรงดึงใช้งานปกติ)

นิยามค่าความเครียด (Strain) ในแง่วัสดุศาสตร์คือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงกระทำจากภายนอกมากทำให้เกิดความเค้น วัสดุมีการเปลี่ยนรูปร่างจากแรงกระทำแนวเส้นตรงหรือแนวเฉือนรายละเอียดดังนี้

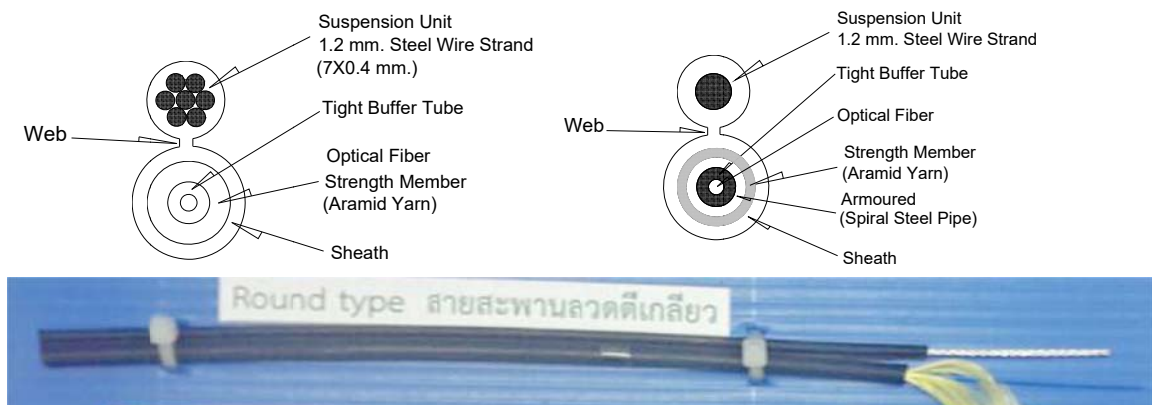
1) แรงกระทำแนวเส้นตรง ความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่าความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) แรงที่มากระทำอาจเป็นแรงดึงหรือแรงกดก็ได้ ค่าของความเครียดคำนวณได้จากความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าความยาวเดิม

2) แรงกระทำแนวเฉือน ค่าความเครียดเฉือน (Shear Strain) แรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงเฉือน ค่าของความเครียดคำนวณได้จากระยะที่เคลื่อนที่ไปต่อระยะห่างระหว่างระนาบ

สาย Access OFC ที่ใช้งานเดิม (พ.ศ. 2563) ในประเทศไทยแบ่งได้ 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือสาย Flat Type OFC [5] คุณสมบัติการรับแรงดึงทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60794-1-2E1 ทดสอบด้วยแรงดึง $\geq 70 N$ ค้างไว้ 5 นาที ตลอดจนการทดสอบป้อนสัญญาณแสงความยาวคลื่น $1550 \pm 10 nm$

ค่า Loss เปลี่ยนแปลง $< 0.1 \text{ dB}$ ค่าความเครียดของเส้นใยแก้วนำแสง (Fibre Strain) กำหนดที่ 1% (1% Proof-Tested Fibres) ภายใต้สภาวะแรงดึง (TL) $< 33\%$ ของค่าความเครียดพิสูจน์เส้นใย (Fiber Proof Strain เท่ากับ 0.33% ของค่าความเครียดสมบูรณ์)

กลุ่มที่สองสาย Round Type OFC ที่ บมจ.ทีโอที ใช้งาน ระบุรัศมีการโค้งงอสาย > 20 เท่าของ OD สาย รับแรงดึงใช้งานตามมาตรฐาน IEC 60794-1-2E1 ทดสอบด้วยแรงดึงต่อเนื่อง $\geq 800 \text{ N}$ ค้างไว้ 5 นาที ที่ความยาวคลื่น $1550 \pm 10 \text{ nm}$ อัตราสูญเสียทางแสง $< 0.1 \text{ dB}$ สาย Round Type OFC มีค่าความเครียดของเส้นใยแก้วนำแสงที่ 1% ต้องมีค่าความเครียด $< 40\%$



ภาพประกอบที่ 3.1 โครงสร้างสาย Access OFC ที่มีสายสะพานรับแรงดึงผลิตจากเส้นลวดโลหะ

สายสะพานรับแรงดึงของสาย Round Type OFC มี 2 โครงสร้าง

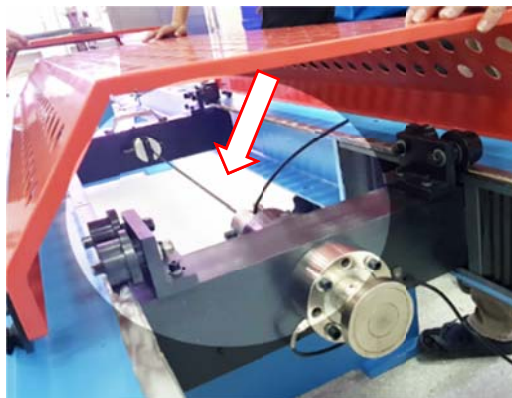
โครงสร้างแรกผลิตจากเส้นลวดเดี่ยวเกรด SWGF-5 เคลือบสังกะสี (Zinc Coated) ตามมาตรฐาน JIS G 3548-1994 มี OD $1.2 \pm 0.04 \text{ mm}$ โครงสร้างที่สองสายสะพานรับแรงดึงผลิตจากเส้นลวดตีเกลียวมี OD $7/0.4 \pm 0.03 \text{ mm}$ สายสะพานรับแรงดึงทั้ง 2 โครงสร้างมีคุณสมบัติทางกลเหมือนกัน [2] กล่าวคือแรงดึงใช้งาน $> 1000 \text{ N}$ ($\approx 101.97 \text{ kgf}$) ค่าการยืดตัว (Elongation) $> 2\%$

มาตรฐานสาย Round Type OFC มีโครงสร้างสายสะพานรับแรงดึงเส้นลวดโลหะขัดกับหลักเกณฑ์ของ กพน. ปี พ.ศ. 2563 ที่ระบุสายสื่อสารที่จะติดตั้งกับเสาไฟฟ้าของ กพน. ต้องไม่มีโครงสร้างโลหะ เพื่อให้สอดคล้องกับหลักเกณฑ์ที่ กพน. ประกาศใช้ บมจ.ทีโอที ได้มอบหมายให้สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) ออกแบบสาย Round Type OFC ที่ไม่มีโครงสร้างโลหะรองรับหลักเกณฑ์ข้างต้น

การรับแรงดึงสาย Round Type OFC

สาย Round Type OFC ที่มีโครงสร้างสายสะพานรับแรงดึงผลิตจากเส้นลวดเดี่ยวและเส้นลวดตีเกลียวตามข้อกำหนด บมจ.ทีโอที กำหนดค่ารับแรงดึงระยะสั้นซึ่งเกิดขึ้นครั้งแรกตอนติดตั้ง และค่ารับแรงดึงระยะยาวใช้งานที่เป็นค่าแรงดึงมาตรฐานใช้งานปกติต่อเนื่อง แต่ไม่มีการกำหนดค่ารับแรงดึงแบบทำลายในมาตรฐานใด ๆ ก่อนออกแบบสาย Round Type OFC ที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะเลย

จำเป็นต้องทราบค่ารับแรงดึงต่าง ๆ เช่น แรงดึงติดตั้ง (ระยะสั้น) แรงดึงใช้งาน (ระยะยาว) และแรงดึงทำลาย (วิกฤต) เพื่อความสมบูรณ์ในการออกแบบจึงทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสาย Round Type OFC ที่ใช้งานเพื่ออ้างอิงในการออกแบบ



ภาพประกอบที่ 3.2 ทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสาย Round Type OFC

ทดสอบการรับแรงดึงสายตัวอย่าง Round Type OFC 1F, Round Type OFC Armoured 1F และ 2F แบบทำลายด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแนวนอนตามภาพประกอบที่ 3.2 ผลการทดสอบตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสาย Round Type OFC แบบต่าง ๆ

Sample.	Cable Type					
	Round Type OFC 1F		Round Type OFC Armoured 1F		Round Type OFC Armoured 2F	
1	1699.00	173.24	1745.00	177.93	1750.00	178.44
2	1725.00	175.89	1701.00	173.45	1768.00	180.28
3	1702.00	173.55	1746.00	178.04	1773.00	180.79
Avg.	1708.67	174.23	1730.67	176.47	1763.67	179.84
Unit	<i>N</i>	<i>kgf</i>	<i>N</i>	<i>kgf</i>	<i>N</i>	<i>kgf</i>

ค่าแรงดึงติดตั้งใช้งานที่ได้จากการคำนวณสาย Round Type OFC เฉลี่ย $286.66 N$ ($\approx 300.00 N$) [บทที่ 2. ข้อ 2.7] ผลการทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายของสาย Round Type OFC ตามตารางที่ 3.1 สายแบบธรรมดา 1F และสาย Armoured 1F, 2F แบบมีเกราะ ค่าแรงดึงแบบทำลาย $1708.67 N$ ถึง $1763.84 N$ เฉลี่ย $1737.44 N$ (แรงดึงใช้งาน $> 1000 N$)

สรุปค่ารับแรงดึงสาย Round Type OFC ที่ระยะห่างเสา 40 เมตร จากการคำนวณจากบทที่ 2. $\geq 300 N$ และผลการทดสอบแบบทำลายเฉลี่ย $1737 N$ ดังนั้นในการออกแบบสายชนิดใหม่ที่ไม่

ส่วนประกอบของโลหะภายใต้ข้อสาย New Access OFC กำหนดเป้าหมายรับแรงดึงแบบทำลายอ้างอิง $1737 N$ (ค่าจากการทดสอบ) ค่ารับแรงดึงใช้งานไม่น้อยกว่า $300 N$ (ค่าจากการคำนวณ) อ้างอิงในการออกแบบ

3.2 ออกแบบสาย New Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ

ออกแบบสาย New Access OFC โครงสร้างไม่มีสายสะพานรับแรงดึงเพื่อใช้งานในโครงข่าย ODN ของบริการ FTTH ทดแทนสาย Round Type OFC เดิม ตามโครงการวิจัยนี้กำหนดเป้าหมายสาย New Access OFC ต้องรับน้ำหนักและแรงดึงด้วยตัวเอง (Self-support) ที่ระยะห่างจุดติดตั้ง ≥ 40 เมตร วัสดุรับแรงดึงเลือกใช้องค์ความรู้ของวิศวกรรมพลาสติก เช่น ผลิตภัณฑ์กลุ่มไฟเบอร์พลาสติกเสริมแรง-วัสดุคอมโพสิต (Composites) ประเภท Polymer Matrix Composites หรือ FRP (Fiber Reinforced Plastic) เป็นต้น

3.2.1 วัสดุรับแรงดึงที่ไม่ใช่โลหะ

วัสดุรับแรงดึงคอมโพสิตประเภท Polymer Matrix Composites หรือ FRP ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดมีหลากหลายรูปแบบเช่นในรูปของกลุ่มเส้นใยหรือรูปแบบแกนตัน วัสดุรูปแบบเส้นใยแรงดึงสูง (High Tensile Strength Fiber) ในตลาดมีให้เลือกใช้หลายชนิด เช่น Carbon Fiber, Glass Fiber หรือ Aramid Fiber แต่ละชนิดมีจุดเด่นเรื่องการยืดหยุ่นตัว การโค้งงอและราคาแตกต่างกัน

กรณีใช้งานในรูปแบบแกนตันรับแรงต้องผสมวัสดุประสานยึดเกาะ (Polymer Matrix) กับเส้นใยรับแรงดึง วัสดุประสานยึดเกาะมีให้เลือกหลายชนิด เช่น Epoxy Resin, Vinyl Ester Resin หรือ Polyester Resin ตามความเหมาะสมของคุณสมบัติเชิงกลหรือความต้องการใช้งาน รูปแบบแกนตันรับแรงนี้มีจุดเด่นแตกต่างจากรูปแบบเส้นใยคือคงรูปรับแรงดึงได้สูงขึ้น แต่คุณสมบัติการโค้งงอลดลง กลุ่มวัสดุรับแรงดึงกลุ่มคอมโพสิตรายละเอียดตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วัสดุรับแรงดึงกลุ่มคอมโพสิต (Composites) ที่ไม่ใช่โลหะในท้องตลาด

Material name	Description	Detail
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymer	Glass Fiber
AFRP or KFRP	Aramid/Kevlar Fiber Reinforced Polymer	Aramid/Kevlar Yarn
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer	Carbon Fiber
Nylon12	Nylon12	Nylon12
Other	Other	Other

แนวทางออกแบบสาย New Access OFC เลือกใช้วัสดุรับแรงดึงกลุ่มไฟเบอร์พลาสติกเสริมแรงคอมโพสิต รับแรงดึงในการติดตั้งระยะช่วงเสา ≥ 40 เมตร รองรับการโค้งงอได้ใกล้เคียงสาย

Round Type OFC เดิม รองรับการติดตั้งสาย New Access OFC ที่จำเป็นต้องลูป (Loop) สายสำรอง สำหรับงานซ่อมบำรุง (Service) ณ ตำแหน่งที่เสาไฟฟ้าหรือก่อนเข้าอาคารตามภาพประกอบที่ 3.3



ภาพประกอบที่ 3.3 ตำแหน่ง Loop สาย New Access OFC ก่อนเข้าอาคารหรือตำแหน่งเสาไฟฟ้า

3.2.1.1 วัสดุรับแรงดึง FRP

วัสดุรับแรงดึง FRP (Fiber Reinforced Polymer) เป็นพลาสติกเสริมแรงดึงกลุ่มไฟเบอร์พลาสติกผสมคอมโพสิต มีคุณสมบัติเด่นเรื่องน้ำหนักเบากว่าเหล็ก 75% เบากว่าอลูมิเนียม 30% (Gravity 1.4-1.7) ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถผ่านได้ ไม่นำพาความร้อนและทนทานต่อสภาพอากาศ ใช้ในธุรกิจสื่อสารโทรคมนาคม ธุรกิจพลังงานและงานด้านตกแต่งด้านสถาปัตยกรรม

FRP เป็นวัสดุผสมระหว่างเส้นใย (Fiber) และเรซิน (Resin) มีหลายเกรดตามคุณสมบัติที่ต้องการใช้งาน ประยุกต์ใช้งานหลากหลาย เช่น สายสะพานรับแรงดึงสายเคเบิลสื่อสาร (Central Strength Member Cable) ผลิตภัณฑ์ฝาปิดไฟเบอร์กลาส (FRP Cover) ตะแกรงไฟเบอร์กลาส (FRP Grating) เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 3.4 วัสดุรับแรงดึง FRP

3.2.1.2 วัสดุรับแรงดึง GFRP

วัสดุรับแรงดึง GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) มีใช้ในหลายอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมโทรคมนาคมนำมาผลิตเป็นแกนต้นสายสะพานรับแรงดึงสายเคเบิลสื่อสาร เส้นใยรับแรงดึงที่มีผสมกับเส้นใยแก้วนำแสง ส่วนประกอบของโครงสร้างอาคารในแถบยุโรปและรัสเซีย โดยนำองค์ความรู้จากวัสดุ GFRP มาทดแทนเหล็กเส้นในงานหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก



ภาพประกอบที่ 3.5 วัสดุรับแรงดึง GFRP

คุณสมบัติของ GFRP รองรับแรงดึงสูงกว่าเหล็ก 2-3 เท่าตัว มีน้ำหนักเบากว่าเหล็ก 9 เท่า สามารถม้วนเป็นวงโค้งขนาดเล็กได้ตึงจึงไม่มีรอยต่อ ตัดได้ง่ายกว่าเหล็ก มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ทนต่อการกัดกร่อนไม่เป็นสนิมทนน้ำทะเลได้ดี ผู้ผลิตบางรายรับประกันการใช้งาน > 80 ปี

3.2.1.3 วัสดุรับแรงดึง AFRP or KFRP

วัสดุรับแรงดึง AFRP or KFRP (Aramid/Kevlar Fiber Reinforced Polymer) รู้จักกันแพร่หลายภายใต้ชื่อเส้นใยอะรามิด AF (Aramid Fiber) มีชื่อทางการค้าว่าเคพลาร์ (Kevlar) เส้นใย AF เป็นผลงานการประดิษฐ์ใหม่ที่มีความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับเส้นใยประดิษฐ์ก่อนหน้านี้ เส้นใยพาราอะรามิด (Para Aramid) มีชื่อทางการค้าหลากหลายตามบริษัทผู้ผลิต เช่น ผลิตภัณฑ์เคพลาร์ (Kevlar) ที่ผลิตโดยบริษัทดูปองท์ (Dupont) ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลิตภัณฑ์เทคนอรา (Tecnora) ผลิตโดยบริษัทเทจิน (Teijin) ประเทศญี่ปุ่น และผลิตภัณฑ์ทวารอน (Twaron) ผลิตโดยบริษัทอักโซ (Akzo) ประเทศฮอลแลนด์

เส้นใย Aramid มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง น้ำหนักเบาความหนาแน่นต่ำ คุณสมบัติทางกลด้านความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กถึง 7 เท่าตัว อัตราส่วนของความแข็งแรงและโมดูลัสนั้นสูงกว่าลวดเหล็กและ GFRP ป้องกันการกัดกร่อน ปราศจากการรบกวนจากแม่เหล็กไฟฟ้า ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายผลการพัฒนาการผลิตเส้นใยให้มีสมรรถนะสูงสามารถประยุกต์ใช้ในงานด้านชิ้นส่วนรถยนต์ งานกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์ เสื้อเกราะกันกระสุน ถุงมือนิรภัย โครงสร้างรับแรงในสายเคเบิลสื่อสารและงานด้านอวกาศ

วัสดุ Kevlar ในท้องตลาดมี 2 แบบคือ Kevlar29 คุณสมบัติมีความหนาแน่นต่ำความแข็งแรงสูงออกแบบสำหรับผลิตภัณฑ์ป้องกันกระสุน แกนรับแรงดึงสายเคเบิลและ Kevlar49 คุณสมบัติมีความหนาแน่นต่ำความแข็งแรงและค่ามอดูลัสสูง ออกแบบสำหรับเสริมแรงพลาสติกในวงการสร้างเครื่องบิน เรือ รถยนต์



ภาพประกอบที่ 3.6 KFRP/AFRP รูปแบบแกนตันที่ใช้รับแรงดึงในสายเคเบิลสื่อสาร

พลาสติกอะรามิดไฟเบอร์เสริมแรง (KFRP/AFRP) ที่ใช้รับแรงดึงในสายเคเบิลสื่อสาร โครงสร้างผสมเรซินเอสเทอร์เรซินเป็นพื้นฐานรวมกับความแข็งแรงของ Aramid Fiber ด้วยเทคโนโลยี Pultrusion เป็นวัสดุคอมโพสิตโลหะประสิทธิภาพสูงชนิดใหม่ น้ำหนักเบา รับแรงดึงสูง สายโค้งงอได้มาก เหมาะสำหรับเป็นแกนกลางรับแรงดึงหรืออุปกรณ์ต่อพ่วง (Peripheral) ของสาย OFC

3.2.1.4 วัสดุรับแรงดึง CFRP

วัสดุ CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) ประวัติของคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) มีประวัติศาสตร์อันยาวนานเริ่มรู้จักกันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1879 ที่โทมัสเอ็ดิสันทดลองกับเส้นใยคาร์บอนที่ทำจากเส้นด้ายฝ้ายและไม้ไผ่มาผลิตไส้หลอดไฟด้วยการให้ความร้อนเส้นใยคาร์บอน

การผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ 90% ผลิตจาก PAN (Polyacrylonitrile) $(C_3H_3N)_n$ ซึ่งเป็นโพลิเมอร์อินทรีย์กึ่งสังเคราะห์ผลึก อีก 10% สารปิโตรเลียมกลุ่มยางมะตอย รวมเรียกว่า PAN Precursor เส้นใยที่ทำจาก PAN มีความแข็งแรงและน้ำหนักเบา เส้นใยเหล่านี้ถูกห่อหุ้มด้วย Thermoset หรือ Thermoplastic เช่น Polyester, Vinyl Ester หรือ Nylon เพื่อทำพลาสติกเสริมคาร์บอนไฟเบอร์หรือคาร์บอนไฟเบอร์



ภาพประกอบที่ 3.7 เส้นใย CFRP ที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรม

วัสดุ CFRP เป็นวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย มีอัตราส่วนกำลังรับแรงต่อน้ำหนักสูง ทนทานต่อการกัดกร่อนไม่เป็นสนิม รับแรงดึงมากกว่าเหล็กประมาณ 10 เท่าตัว นิยมใช้งานในคอนกรีตและเหล็กเสริมในงานซ่อมแซม ไม่นิยมนำมาผลิตเป็นแกนกลางรับแรงดึงหรืออุปกรณ์ต่อพ่วงของสาย OFC ด้วยข้อจำกัดเรื่องการโค้งงอ อีกทั้งมีราคาค่อนข้างสูงจึงนิยมใช้งานด้านยานอวกาศ เครื่องบิน มีค่า Tensile Strength 2.34-3.17 *Gpa* และ Modulus of Elasticity 193.00-413.00 *Gpa* และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น

3.2.1.5 วัสดุรับแรงดึง Nylon-12

เส้นใยไนลอน (Nylon) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่าเส้นใย PA (Polyamide) คิดค้นและพัฒนาขึ้นโดยนักเคมีจากมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด (Harvard University) เป้าหมายในการพัฒนาเส้นใย Nylon เพื่อทดแทนเส้นใยจากธรรมชาติ ในตอนแรกเรียกเส้นใยไนลอนที่เตรียมได้นี้ว่าเส้นใย 66 (Fiber 66) เลข 66 มาจากจำนวนคาร์บอนจากสารตั้งต้น ปัจจุบันก็ได้มีการพัฒนาเส้นใยไนลอนที่นอกเหนือจาก Nylon 66 ขึ้นหลากหลายชนิด เช่น Nylon 6 ที่สังเคราะห์จาก Caprolactam หรือ Nylon6, Nylon10, Nylon11 และ Nylon12 เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 3.8 เส้นใย Nylon12

จากคุณสมบัติเด่นของ PA ที่มีความแข็งแรง เส้นใยมีความเหนียว ต้านทานแรงดึงและแรงฉีกขาดได้ดี ขยายตัวได้มาก ทนต่อการกัดกร่อนและการเสียดสี ทนต่อความร้อนสูงได้ $120^{\circ}C$ จุดหลอมเหลว $180-200^{\circ}C$ ไม่เสียรูปทรงง่ายเหมาะสำหรับงานรับแรง เส้นใยยืดหยุ่นได้ดี (Flexible) มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ทนการบิดพับงอ

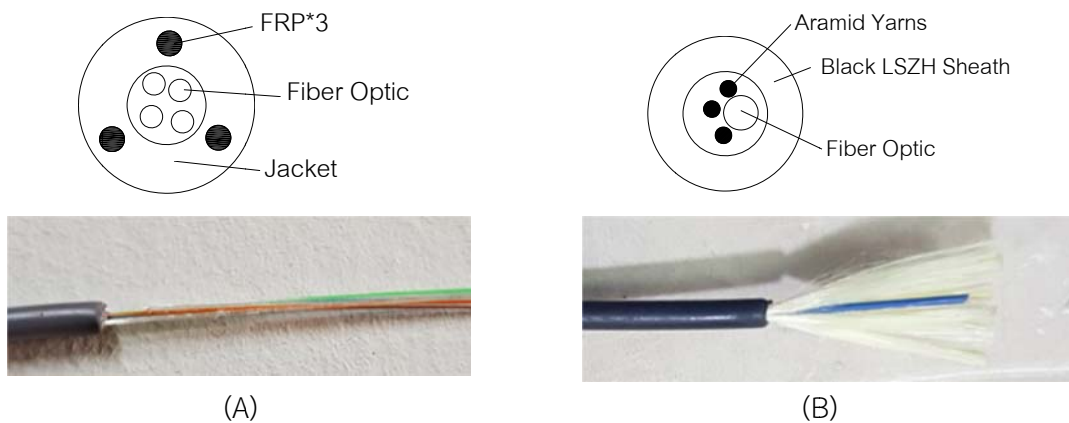
สรุปผลศึกษาวัสดุทดแทนสายสะพานรับแรงดึงแบบไม่มีโลหะทดแทนเส้นลวดโลหะ เน้นผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด (Commercial) เพื่อลดต้นทุน โดยคัดเลือกวัสดุกลุ่ม GFRP, AFRP/KFRP, CFRP และ Nylon12 ร่วมกับหรือโรงงานผู้ผลิตสาย New Access OFC ต้นแบบเบื้องต้นคัดเลือกวัสดุ FRP, GFRP และ AFRP/KFR จากคุณสมบัติที่สามารถโค้งงอได้ดีรับแรงดึงได้สูง น้ำหนักเบา มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าในการออกแบบ

3.3 ออกแบบสาย New Access OFC ที่ไม่มีโลหะ

สาย New Access OFC ที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจาก Website มีผลิตภัณฑ์หลากหลายรูปแบบ ที่ทีมงานประสานงานผู้ผลิตสายเคเบิลใยแก้วนำแสง OFC ทั้งในและต่างประเทศ ภาพรวมในตลาดมีสาย Access OFC ที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะดังนี้

1) สาย Access OFC ที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ OFC Indoor Non-metallic Anti-bending ใช้สายสะพานรับแรงดึง FRP แกนตันคล้ายเส้นลวดตามภาพประกอบที่ 3.9 (A) ติดตั้งใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคาร วิธีการติดตั้งภายในอาคารติดตั้งด้วยวิธีร้อยท่อหรือวางบนฝ้าเพดาน วิธีการติดตั้งภายนอกอาคารติดตั้งกับสายสะพานที่ซึ่งรับแรงดึงระหว่างจุดติดตั้งก่อนนำสาย Access OFC คล้องกับห่วงเพื่อประคองสาย Access OFC เป็นระยะ ๆ

2) สาย Access OFC ที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะแบบใช้เส้นใย (Yarn) เช่น Aramid Yarn หรือ Glass Yarn เป็นเส้นใยรับแรงดึงตามภาพประกอบที่ 3.9 (B) ใช้งานภายนอกและภายในอาคารคล้ายแบบแรก



ภาพประกอบที่ 3.9 ตัวอย่างสาย Access OFC ที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ

ทดสอบการรับแรงดึงสาย OFC Indoor Non-metallic Anti-bending แบบทำลายด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแนวนอน ค่าแรงดึงแบบทำลายจำนวน 3 ตัวอย่างเฉลี่ย 194.00 N

3.3.1 ออกแบบสาย New Access OFC

แนวทางการออกแบบสาย New Access OFC เริ่มจากพิจารณาสาย Access OFC ที่มีสายสะพานรับแรงดึงเป็นเส้นลวดโลหะทั้ง Round Type OFC และ Flat Type OFC โครงสร้างเดิม เน้นศึกษาวิเคราะห์เฉพาะส่วนของสายรับแรงดึงจากโลหะเป็นอโลหะ

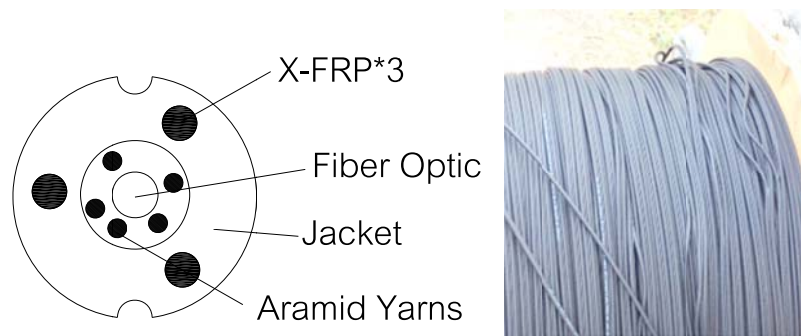
แนวทางแรกอ้างอิงโครงสร้างเดิมทุกอย่าง เปลี่ยนเฉพาะสายรับแรงดึงจากเส้นลวดโลหะเป็นวัสดุรับแรงดึง FRP มาทดแทนลวดโลหะรูปเลข 8 ด้านบนสาย Round Type OFC โดยติดตั้งด้วยอุปกรณ์ Dropwire Clamp ที่ใช้งาน

แนวทางแรกโรงงานผู้ผลิตแนะนำใช้วัสดุรูปแบบเส้นใยรับแรง GFRP หรือ AFRP/KFRP เพื่อให้สามารถโค้งงอติดตั้งกับอุปกรณ์ Dropwire Clamp ได้ แต่ต้องใช้ปริมาณเส้นใยมากกว่าการออกแบบการรับแรงแบบแกนตันกลมผสมเรซินส่งผลกระทบต่อต้นทุนที่สูงขึ้นหลายเท่าตัว

โรงงานผู้ผลิตแนะนำให้ปรับเปลี่ยนรูปแบบสาย New Access OFC ใหม่ จากโครงสร้างสายสะพานรับแรงดิ่งรูปเลข 8 ด้านบนเป็นหน้าตัดกลม วัสดุรับแรงดิ่งฝังในเปลือกห่อหุ้มทำให้ค่า OD รวมลดลง ช่วยลดค่าเช่าพาดสายลงได้อีกทางหนึ่งแต่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์จับยึดแนวตรงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดหรืออาจออกแบบอุปกรณ์จับยึดขึ้นมาเฉพาะก็ได้

3.3.1.1 ออกแบบสาย New Access OFC Version 1.

ทดลองร่างสายต้นแบบ New Access OFC Version 1. ใช้วัสดุรับแรงดิ่ง (Strength Member) กลุ่ม X-FRP ห่อหุ้มภายในเปลือกตามสาย OFC Indoor Non-metallic Anti-bending ประเภทใต้หวั่น กำหนดค่า OD 3.50 mm เซาะร่องสองร่องตรงข้ามกันเพื่อความสะดวกในการลอกเปลือกตามภาพประกอบที่ 3.10



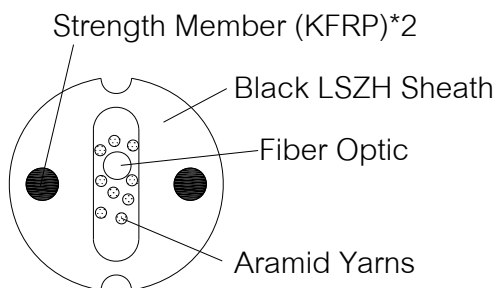
ภาพประกอบที่ 3.10 สายต้นแบบ Access OFC แบบไม่มีโลหะ Version 1.

โรงงานทดลองผลิตสายต้นแบบ New Access OFC Version 1. ด้วยวัสดุรับแรงดิ่ง GFRP ความยาว 1000 เมตร ผลการทดสอบการรับแรงทางกลแรงดิ่ง 300 N ต่อเนื่อง 5 นาที คุณสมบัติทางแสงไม่ผ่านมาตรฐาน ด้วยข้อจำกัดเรื่องค่า OD ต้องไม่เกิน 3.50 mm เลือกลงใช้แกนรับแรงดิ่ง GFRP ขนาดเล็กสุดที่รับแรงดิ่งตามข้อกำหนด สายต้นแบบบางช่วงวัสดุรับแรงดิ่ง GFRP โผล่ออกมาภายนอกเปลือกหุ้มขบวนการผลิตไม่เสถียร จากข้อจำกัดเรื่องค่า OD ดังนั้นสายต้นแบบ New Access OFC Version 1. มีปัญหาในขบวนการผลิตไม่เหมาะในการใช้งาน

3.3.1.2 ออกแบบสาย New Access OFC Version 2.

ร่างสายต้นแบบ New Access OFC Version 2. ลดแกน GFRP รับแรงดิ่งเหลือเพียง 2 เส้นแต่เพิ่มขนาดโตขึ้น ออกแบบช่องว่างตรงกลางเป็นท่อกลวงรูปวงรีเพื่อเพิ่มความหนาเปลือกตำแหน่ง

แกนรับแรงดึงให้สามารถเพิ่มสายรับแรงดึงที่ขนาดโตขึ้น เซาะร่องเยื้องตรงข้ามกัน 2 ร่องที่ผิวภายนอกของเปลือกหุ้มสายเพื่อเพิ่มแรงเฉือนให้ลอกเปลือกได้สะดวกตามภาพประกอบที่ 3.11

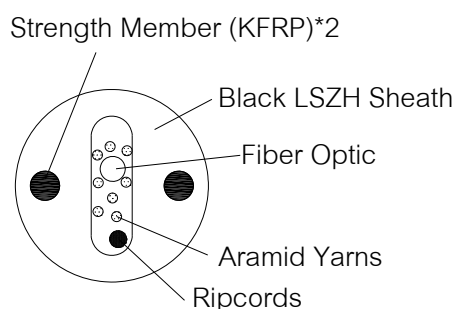


ภาพประกอบที่ 3.11 ร่างสายต้นแบบ Access OFC แบบไม่มีโลหะ Version 2.

ก่อนที่โรงงานจะผลิตต้นแบบ New Access OFC Version 2. ทราบข้อมูลผู้ให้บริการ FTTx ที่ใช้งานสาย Flat Type OFC ที่มีร่องคล้ายกันนี้ เจอปัญหาแมลงวางไข่ในร่องที่เซาะเมื่อแมลงโตขึ้นได้ซ่อนไข่เปลือกเป็นเหตุให้โครงสร้างสายชำรุดเสียหาย ดังนั้นสายต้นแบบ New Access OFC Version 2. ที่เซาะร่อง 2 ร่อง ไม่เหมาะในการใช้งานตั้งแต่ขบวนการออกแบบ

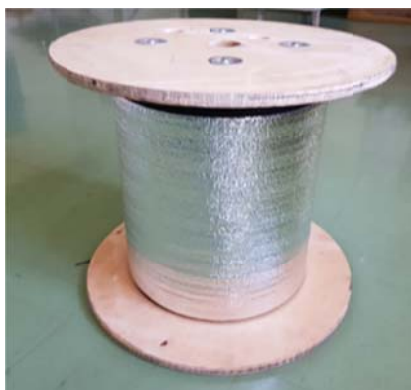
3.3.1.3 ออกแบบสาย New Access OFC Version 3.

ร่างต้นแบบ New Access OFC Version 3. ปรับเปลี่ยนจาก Version 2. เพียงตัดร่องที่เซาะออกและเพิ่มสาย Ripcords ในทอวงรีภายในเพื่อความสะดวกในการลอกเปลือกตามภาพประกอบที่ 3.12



ภาพประกอบที่ 3.12 ร่างสายต้นแบบ Access OFC Version 3.

สั่งผลิตสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. ค่า OD 3.50 mm วัสดุรับแรงดึงผลิตจาก AFRP/KFRP จำนวน 2 เส้น (OD 2.00 mm) รับแรงดึงใช้งาน $\geq 270 N$ เส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐาน ITU-G657A จำนวน 1 ระวัง ยาว 1000 เมตร ตามภาพประกอบที่ 3.13



ภาพประกอบที่ 3.13 สายต้นแบบ New Access OFC Version 3.

โรงงานผู้ผลิตทดสอบสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. เบื้องต้น ณ โรงงาน อ้างอิงตามมาตรฐานสาย Round Type OFC ของทีโอที จากนั้นทดสอบซ้ำ ณ ห้องปฏิบัติการทดสอบ สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) เพื่อทวนสอบและทดสอบหัวข้อที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่ คาดว่าจะเกิดจากการติดตั้งใช้งาน

ทดสอบสายต้นแบบ New Access OFC Version 3.

ทดสอบสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. ณ โรงงานผู้ผลิต ศึกษาค่า Attenuation สายต้นแบบกำหนดรับแรงดึงใช้งาน $\geq 270 N$ Fiber Strain $\leq 0.40\%$ อ้างอิงค่ารับแรง ดึงของ AFRP/KFRP ที่นำมาผลิตสายต้นแบบ เปรียบเทียบกับมาตรฐานสาย Round Type OFC เดิมที่ ใช้สายสะพานรับแรงดึงเส้นลวดโลหะกำหนดค่ารับแรงดึงใช้งาน $\geq 800 N$ ค่า Fiber Strain $\leq 40\%$ ผล การทดสอบ ณ โรงงานผู้ผลิตผ่านมาตรฐานที่กำหนดทุกหัวข้อทดสอบรายละเอียดตามตารางที่ 3.3

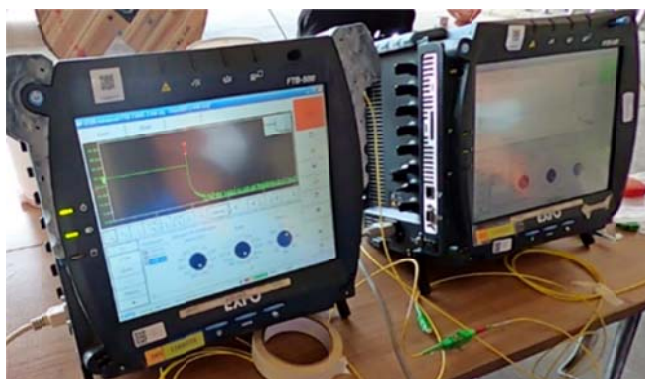
ตารางที่ 3.3 ค่า Attenuation สายต้นแบบ New Access OFC Version 3.

Item	Specification		Test Result
	New Access OFC V.3	TOT (OES-004-055-02)	
Attenuation with Macro Bending (10 Turns 15 mm radius)	$\leq 0.25 \text{ dB at } 1550 \text{ nm}$		0.030 dB
Tensile Loading (Change of Attenuation $< 0.1 \text{ dB at } 1550 \text{ nm}$)	$\geq 270 N$ (5 minute)	$\geq 800 N$ (5 minute)	0.001 dB
Fiber Strain (%)	≤ 0.400		0.381 %

ทดสอบคุณสมบัติทางแสง (Fiber Characteristics)

ทดสอบคุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Characteristics) สายต้นแบบ New Access OFC Version 3. หัวข้อการสูญเสียทางแสง (Attenuation) ทุกความยาวคลื่นแสงที่สำคัญด้วยเครื่องมือ

วัด OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) ณ ห้องปฏิบัติการทดสอบสถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) ตามภาพประกอบที่ 3.14 ผลการทดสอบตามตารางที่ 3.4



ภาพประกอบที่ 3.14 ทดสอบค่า Attenuation สายต้นแบบ New Access OFC V.3 ด้วยเครื่อง OTDR

ตารางที่ 3.4 ค่า Attenuation สายตัวอย่าง New Access OFC Version 3. ด้วยเครื่องมือวัด OTDR

Wavelength (nm)	Specification Maximum Attenuation		Test Result New Access OFC V.3
	TOT (OES-004-055-02)	New Access OFC V.3	
1310	0.38	0.38	0.341 (0.344)
1383	0.35	0.35	0.303 (0.300)
1490	0.30	0.30	0.228 (0.231)
1550	0.28	0.26	0.203 (0.211)
1625	0.30	0.29	0.226 (0.225)
$\leq ** \text{ dB / km}$			dB / km

** หมายเหตุ Test Result New Access OFC Version 3. ค่าแรกเป็นค่าจากโรงงานผู้ผลิต ค่าในวงเล็บเป็นผลทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการทดสอบสถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.)

ผลการทดสอบคุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสงที่เกี่ยวข้องของสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. ณ โรงงานผู้ผลิต เช่น Mode Field Diameter, Cladding Diameter, Zero Dispersion, Chromatic Dispersion, Polarization Mode Dispersion และผลการทดสอบทางกลที่สำคัญผ่านมาตรฐานที่กำหนด

ทดสอบคุณสมบัติทางกล

มาตรฐานการทดสอบค่าแรงดึง (Tensile) และการยืดตัว (Elongation) ความเร็ว (Speed) ที่ใช้ในการทดสอบวัสดุสาย OFC มี 2 ความเร็ว คือ สายสะพานรับแรงดึงที่เป็นลวดโลหะ

ทดสอบที่ความเร็ว 100 mm / min (มิลลิเมตร/นาที) เปลือกห่อหุ้มผลิตจากวัสดุกลุ่มโพลีเอทิลีน (PE: Polyethylene) ทดสอบที่ความเร็ว 50 mm / min

การทดสอบแรงดึงแบบทำลายสาย New Access OFC Version 3. ยังไม่มีมาตรฐานความเร็วในการทดสอบสากลอ้างอิง เพื่อหาค่าความเร็วที่เหมาะสมในการทดสอบและใช้อ้างอิงต่อไป ได้ทำการทดสอบแรงดึงแบบทำลายสองความเร็วคือ 50 mm / min และ 100 mm / min



ภาพประกอบที่ 3.15 ทดสอบการรับแรงดึงสาย New Access OFC V.3

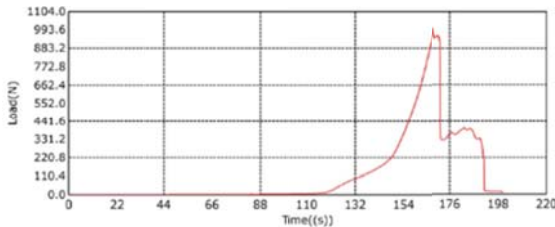
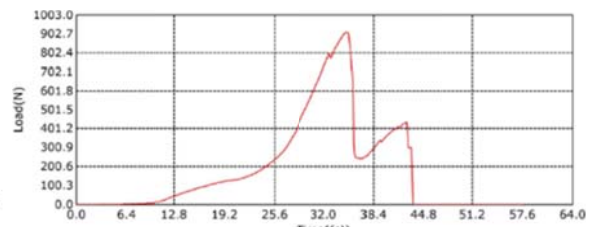
ทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสาย New Access OFC Version 3. ที่ไม่มีโลหะด้วยเครื่องมือทดสอบแรงดึงแนวนอน ณ ห้องปฏิบัติการ นฐ. ที่ความเร็วทดสอบ 50 mm / min และ 100 mm / min ตามลำดับผลการทดสอบตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบแรงดึงแบบทำลายสาย New Access OFC Version 3.

Sample.	Access OFC (Non-Metallic)			
	New Access OFC V.3 Speed 50 mm / min		New Access OFC V.3 Speed 100 mm / min	
1	932.40	95.07	902.70	92.05
2	993.60	101.32	954.00	97.28
3	980.10	99.94	937.30	95.57
Avg.	968.70	98.78	931.33	94.97
Unit	<i>N</i>	<i>kgf</i>	<i>N</i>	<i>kgf</i>

ผลการทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสายต้นแบบ New Access OFC Version 3 วัสดุรับแรงดึง AFRP/KFRP ความเร็วทดสอบ 50 mm / min จำนวน 3 ตัวอย่าง ค่ารับแรงดึงแบบทำลายเฉลี่ย 968.70 N (98.78 kgf) และที่ความเร็วทดสอบ 100 mm / min จำนวน 3 ตัวอย่าง ค่ารับแรงดึงแบบทำลายเฉลี่ย 931.33 N (94.97 kgf) ตามลำดับ

เปรียบเทียบผลการทดสอบแบบทำลายที่ความเร็วทดสอบ 50 mm/min และ 100 mm/min ค่ารับแรงดึงแบบทำลายแตกต่างกัน 37.37 N (3.81 kgf) แรงกระทำแต่ละช่วงเวลาตามภาพประกอบที่ 3.16 กราฟซ้ายมือทดสอบด้วยความเร็ว 50 mm/min (ทดสอบยาง พลาสติก PE FRPE) กราฟขวามือทดสอบด้วยความเร็ว 100 mm/min (ทดสอบเส้นลวดโลหะ)

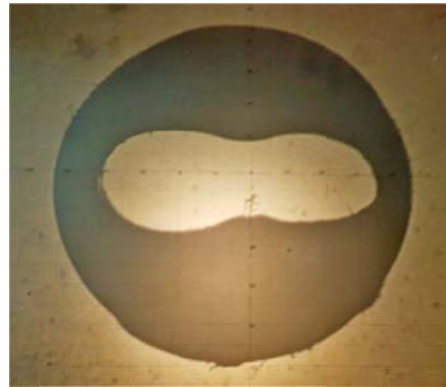
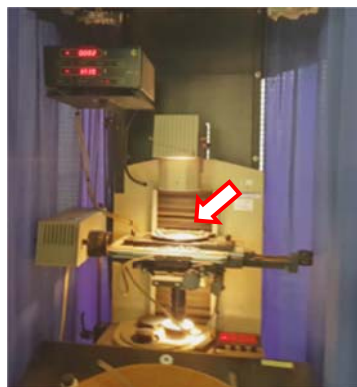
Speed 50 mm/min Speed 100 mm/min

ภาพประกอบที่ 3.16 กราฟทดสอบการรับแรงดึงสาย New Access OFC V.3 ความเร็วทดสอบต่างกัน

สรุปสายต้นแบบ New Access OFC Version 3 ที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ วัสดุรับแรงดึงอยู่ในกลุ่มคอมโพสิต FRP (Fiber Reinforced Polymer) จัดอยู่วัสดุประเภทยางหรือพลาสติก ผลการทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายทั้งสองความเร็วค่าใกล้เคียงกัน จึงกำหนดความเร็วเครื่องมือทดสอบแรงดึง 50 mm/min เป็นมาตรฐานในการทดสอบ

วัดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกสาย New Access OFC Version 3.

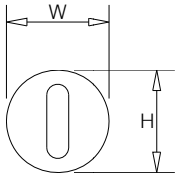
สาย New Access OFC Version 3. กำหนด OD ภายนอก $3.50 \pm 0.2\text{ mm}$ เท่ากับสาย Round Type OFC เดิมเพื่อให้สอดคล้องกับโครงข่าย ODN และอุปกรณ์ต่อเนื่อง เช่น หัวต่อเคเบิล OFC ตู๋ SDP/ODP ตู๋ OFCCC อุปกรณ์ OFTK เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 3.17 วัดโครงสร้างสาย New Access OFC V.3

ลุ่มตัดสาย New Access OFC Version 3. ต้นแบบจากระวัง 3 ตำแหน่ง ระยะห่างตำแหน่งละ 3 เมตร วัดค่า OD ด้วยเครื่องวัดละเอียด Profile Projector ตามภาพประกอบที่ 3.17 ผลการวัดค่า OD รายละเอียดตามตารางที่ 3.6

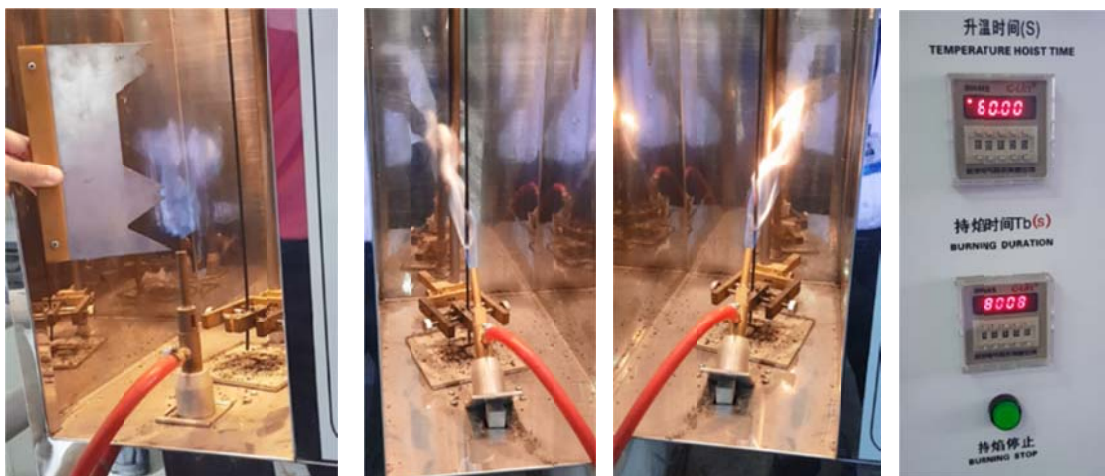
ตารางที่ 3.6 ค่า OD สายต้นแบบ New Access OFC Version 3.

No.	W	H	Remark
1	3.83	3.98	 (Avg. 3.89 mm)
2	3.84	3.92	
3	3.83	3.95	
Avg.	3.83	3.95	
Unit	<i>mm</i>		

ผลการวัดค่า OD สายต้นแบบ New Access OFC Version 3. ค่าเฉลี่ย 3.89 mm (มาตรฐาน 3.3-3.7 mm) เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นถ้าเลือกใช้สาย New Access OFC Version 3. ขบวนการผลิตต้องควบคุม OD ให้อยู่ในข้อกำหนด

ทดสอบการลามไฟ (Flame Retardant)

สาย New Access OFC Version 3. ตำแหน่งใช้งานเชื่อมต่อโครงข่าย ODN จากภายนอกเข้าสู่อาคาร ตามมาตรฐานสายสื่อสารที่ใช้งานภายในอาคารต้องไม่ลามไฟ (Flame Retardant) เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนด ได้ทำการทดสอบสาย New Access OFC Version 3. หัวข้อ Flame Propagation ตามมาตรฐาน IEC 60332-1 ทดสอบป้อนเปลวไฟแนวตั้งต่อเนื่อง 60 วินาที เมื่อครบกำหนดเวลานำเปลวออกจากสายตัวอย่างรอคอยจนเปลวไฟดับสนิท วัดระยะจาก Clamp จับตัวอย่างด้านบนลงมา 50 mm สายตัวอย่างทดสอบต้องไม่ชำรุดเสียหายจากการเผาไหม้ที่ระยะนี้

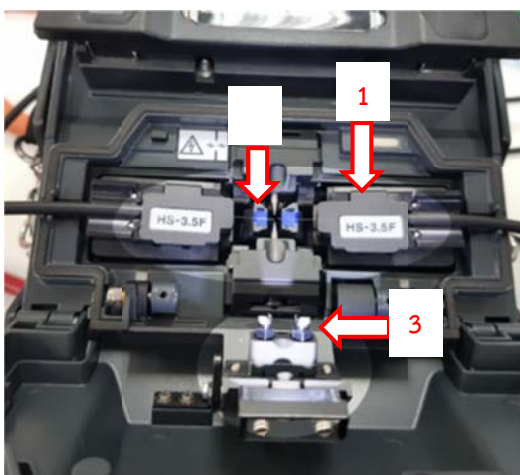


ภาพประกอบที่ 3.18 ทดสอบการป้องกันการลามไฟสาย New Access OFC V.3

ผลการทดสอบป้องกันการลามาไฟสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. ตามภาพประกอบที่ 3.18 หลังครบ 60 วินาทีเมื่อนำเปลวไฟออกสายตัวอย่างลูกใหม่ต่อเนื่องและดับวินาทีที่ 80 วัดจาก Clamp ด้านบนลงมา 50 mm สายไม่ชำรุดเสียหายจากเปลวไฟตามมาตรฐาน IEC 60332-1 กำหนด สรุปผลการทดสอบการป้องกันการลามาไฟผ่านมาตรฐาน

ทดลองเชื่อมต่อสายต้นแบบ New Access OFC Version 3.

ทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงของสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. ด้วยเครื่องสไปลท์สายไฟเบอร์ออฟติก (Optical Fiber Fusion Splicing) ด้วยวิธีหลอมละลายเส้นใยแก้วนำแสงให้เป็นเนื้อเดียวกัน เครื่อง Fusion Splicer ใช้หลักการอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc) วิธีการนี้จุดเชื่อมต่อมีการสูญเสียสัญญาณแสงน้อยที่สุด มีความแข็งแรงน่าเชื่อถือมากที่สุด หลังเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงจะห่อหุ้มจุดเชื่อมต่อด้วย “Protective Sleeves” ป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงส่วนที่ไม่มีฉนวนหุ้มชำรุดเสียหาย



ภาพประกอบที่ 3.19 ทดลองเชื่อมต่อสาย New Access OFC V. 3 กับเส้นใยแก้วนำแสงแบบต่าง ๆ

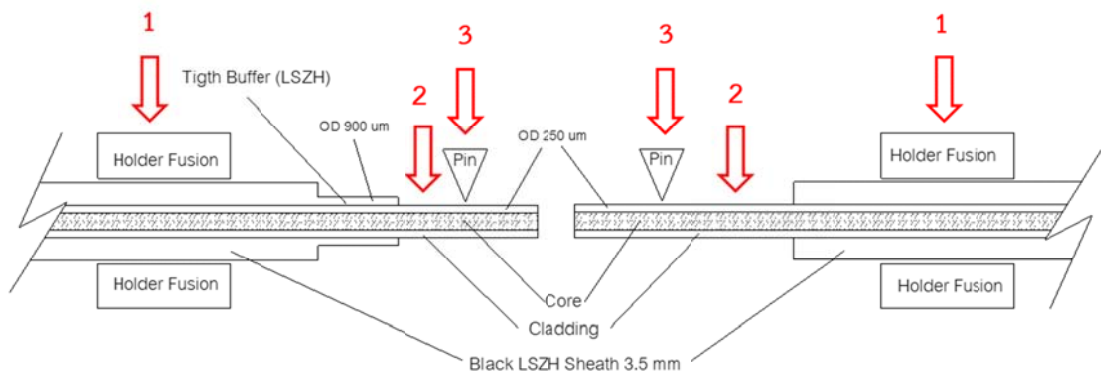
ทดลองเชื่อมต่อสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. ค่า OD เส้นใยแก้วนำแสง 250 μm กับสาย OFC ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้งานในโครงข่าย ODN ด้วยเครื่อง Fusion Splicer แบ่งการทดลองเป็น

- 1) เชื่อมต่อระหว่างสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. (OD เส้นใยแก้ว 250 μm) กับสาย New Access OFC Version 3. (OD เส้นใยแก้ว 250 μm) อุปกรณ์ Holder จับยึดสายขนาด 3.50 mm **ผลการทดลอง “สามารถเชื่อมต่อได้ตามปกติ”**
- 2) เชื่อมต่อระหว่างสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. (OD เส้นใยแก้ว 250 μm) กับสายของอุปกรณ์ OFTK (OD เส้นใยแก้ว 900 μm) ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกับสาย

Round Type OFC ที่ บมจ.ทีโอที ใช้งาน อุปกรณ์ Holder จับยึดสายขนาด 3.50 mm
ผลการทดลอง “ไม่สามารถเชื่อมต่อได้”

- 3) เชื่อมต่อระหว่างสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. (OD เส้นใยแก้ว 250 μm) กับสาย Pigtail Optical Fiber (OD เส้นใยแก้ว 900 μm) อุปกรณ์ Holder จับยึดสายขนาด 3.50 mm **ผลการทดลอง “ไม่สามารถเชื่อมต่อได้”**
- 4) เชื่อมต่อระหว่างสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. (OD เส้นใยแก้ว 250 μm) กับสาย Pigtail Optical Fiber (OD เส้นใยแก้ว 600 μm) อุปกรณ์ Holder จับยึดสายขนาด 3.50 mm **ผลการทดลอง “ไม่สามารถเชื่อมต่อได้”**

ผลการทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงของสาย New Access OFC Version 3. ด้วยเครื่อง Fusion Splicer กับสาย OFC ทั้งหมด 4 การทดลอง ด้วยอุปกรณ์ Holder จับยึดสายขนาด 3.50 mm ผลการทดลองสามารถเชื่อมต่อระหว่างสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. ด้วยกันได้ แต่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับสาย OFC ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงข่าย ODN ได้



ภาพประกอบที่ 3.20 ตำแหน่งการวางเส้นใยแก้วนำแสงและการจับยึดบนเครื่อง Fusion Splicer

วิเคราะห์ปัญหาการเชื่อมต่อสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. ด้วยเครื่อง Fusion Splicer พบว่าค่า OD เส้นใยแก้วนำแสงสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. (OD เส้นใยแก้ว 250 μm) กับสายของอุปกรณ์ OFTK และสาย Pigtail Optical Fiber (OD เส้นใยแก้ว 600, 900 μm) มี OD ต่างกัน

จากปัญหา OD ต่างกันการเชื่อมต่อสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. กับสาย OFC ชนิดต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Fusion Splicer ใช้ Holder ขนาด 3.50 mm จับยึดเส้นใยแก้วนำแสงตามภาพประกอบที่ 3.20 (หมายเลข 1) สามารถจับยึดเปลือกหุ้มของสายทั้งสองชนิดได้ แต่เมื่อวางเส้นใยแก้วนำแสงบน Holder 3.50 mm จากค่า OD เส้นใยแก้วนำแสงที่แตกต่างกันมากบนร่อง V-Group ตามภาพประกอบที่ 3.20 (หมายเลข 2) เมื่อปิดฝาครอบด้านบนที่มี Pin ตามภาพประกอบที่ 3.20

(หมายเลข 3) ทำหน้าที่กดเส้นใยแก้วนำแสงให้แนบสนิทในร่อง V-Group จากระยะ Holder 3.50 mm มายังร่อง V-Group ของเครื่อง Fusion Splicer ใกล้กันมากและปัญหาค่า OD เส้นใยแก้วนำแสงมีความแตกต่างกัน ชุดสปริงควบคุมแรงกดของ Pin บนฝาครอบไม่สามารถกดเส้นใยแก้วนำแสงให้แนบกับร่อง V-Group เครื่อง Fusion Splicer จึงปฏิเสธการเชื่อมต่อตามภาพประกอบที่ 3.21

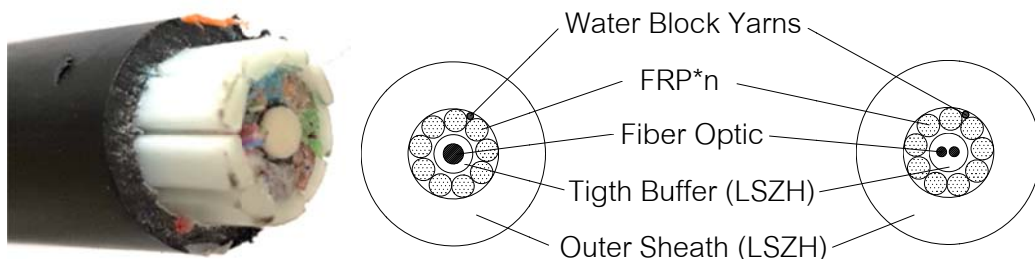


ภาพประกอบที่ 3.21 วางเส้นใยแก้วนำแสงกับ Holder 3.50 mm และภาพจากเครื่อง Fusion Splicer

สรุปจากข้อจำกัดการออกแบบที่ระบุให้สายต้นแบบ New Access OFC Version 3. มีค่า OD ไม่เกิน 3.50 mm ความโตของแกนกลางสายที่ออกแบบเป็นรูปวงรีมีพื้นที่ไม่เพียงพอที่จะสอดใส่เส้นใยแก้วนำแสงที่ห่อหุ้ม Tight Buffer ขนาด 600, 900 μm ได้ จำเป็นต้องลดค่า OD เส้นใยแก้วนำแสง (เอา Tight Buffer ออก) เหลือเพียง 250 μm ก่อให้เกิดปัญหาการเชื่อมต่อ ดังนั้นสาย New Access OFC Version 3. ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน

3.3.2.4 ออกแบบสาย New Access OFC Version 4.

จากปัญหาการเชื่อมต่อสาย New Access OFC Version 3. ที่มีค่า OD เส้นใยแก้วนำแสง 250 μm ไม่รองรับอุปกรณ์ต่อเนืองต่าง ๆ โครงข่าย ODN จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนค่า OD เส้นใยแก้วนำแสงจาก 250 μm มาเป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่ห่อหุ้ม Tight Buffer ขนาด OD 900 μm เพื่อรองรับอุปกรณ์ของโครงข่าย ODN ข้างต้น

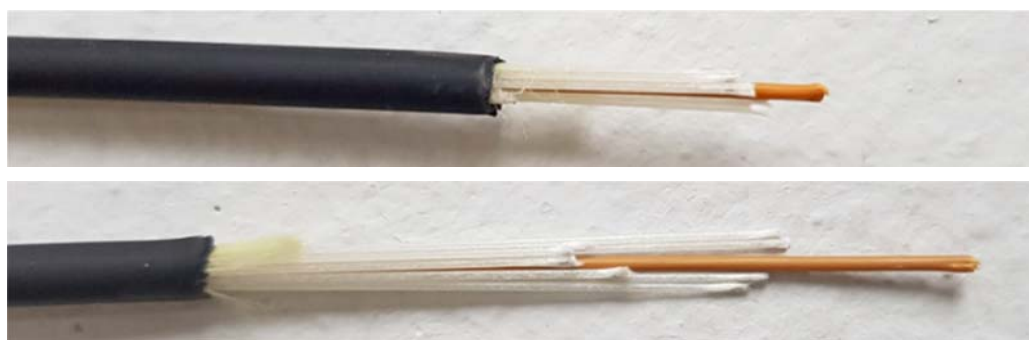


ภาพประกอบที่ 3.22 โครงสร้าง ADSS FRP OFC กับร่างสายต้นแบบ New Access OFC V.4

ศึกษาสายเคเบิลใยแก้วนำแสง “ADSS FRP Armoured Optical Fiber Cable (ADSS FRP OFC)” [7] โครงสร้างไม่มีส่วนประกอบของโลหะสามารถป้องกันสัตว์กัดแทะ มีแนวคิดออกแบบโดยย่อส่วนสาย ADSS FRP OFC ให้มีขนาดเล็กกลง

ร่างแบบสาย New Access OFC Version 4. ตามภาพประกอบที่ 3.22 ด้วยแนวคิดย่อส่วนจากสาย ADSS FRP OFC กำหนดค่ารับแรงดึงใช้งาน $> 300 N$ (อ้างอิงจากบทที่ 2.) ปรับเปลี่ยนวัสดุรับแรงจาก AFEP/KFRP เป็น FRP สามารถลดต้นทุนในการผลิตเฉพาะวัสดุรับแรงดึงลง 10-30%

สายต้นแบบ New Access OFC Version 4. ย่อส่วนจากสาย ADSS FRP OFC แกนในสุดวางเส้นใยแก้วนำแสง 1F ชนิด Tight Buffer $900 \mu m$ ตามมาตรฐาน ITU-G657A/A1 พันรอบด้วย Water Block Yarns ก่อนวางแกน FRP ค่า OD $0.5 mm$ จำนวน 8 แกนเป็นวงกลมโดยรอบ จากนั้นห่อหุ้มด้วยวัสดุป้องกันลามไฟ LSZH (Low Smoke Zero Halogen) กำหนดค่า OD รวม $3.50 mm$



ภาพประกอบที่ 3.23 สายต้นแบบ New Access OFC V.4

ผลิตสายต้นแบบ New Access OFC Version 4. จำนวน 1 ระวัง (1000 เมตร) ย่อส่วนโครงสร้างจากสาย ADSS FRP OFC อ้างอิงคุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสงสาย Round Type OFC เดิมเพื่อทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น ณ โรงงานผู้ผลิตและห้องปฏิบัติการทดสอบสถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) ตามภาพประกอบที่ 3.23

ทดสอบสายต้นแบบ New Access OFC Version 4. ในห้องปฏิบัติการ

สายสะพานรับแรงดึงผลิตจาก FRP ค่ารับแรงดึงใช้งาน $\geq 300 N$ Fiber Strain $\leq 0.40\%$ ผลการทดสอบค่า Attenuation ณ โรงงานผู้ผลิต ผลการทดสอบผ่านมาตรฐานที่กำหนดทุกหัวข้อรายละเอียดตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่า Attenuation สายต้นแบบ New Access OFC Version 4.

Item	Specification		Test Result
	New Access OFC V.4	TOT (OES-004-055-02)	
Attenuation with Macro Bending (10 Turns 15 mm radius)	$\leq 0.25 \text{ dB at } 1550 \text{ nm}$		0.028
Tensile Loading (Change of Attenuation $< 0.1 \text{ dB at } 1550 \text{ nm}$)	$\geq 300 \text{ N}$ (5 minute)	$\geq 800 \text{ N}$ (5 minute)	0.003
Fiber Strain (%)	≤ 0.40		0.378

ทดสอบคุณสมบัติทางแสง (Fiber Characteristics)

ทดสอบสายต้นแบบ New Access OFC Version 4. คุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Characteristics) หัวข้อการลดทอนสัญญาณแสง (Loss) ที่ความยาวคลื่นสำคัญ ณ โรงงานผู้ผลิตเปรียบเทียบกับห้องปฏิบัติการ นฐ. ผลการทดสอบตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่า Loss สายตัวอย่าง New Access OFC Version 4. ด้วยเครื่องมือวัด OTDR

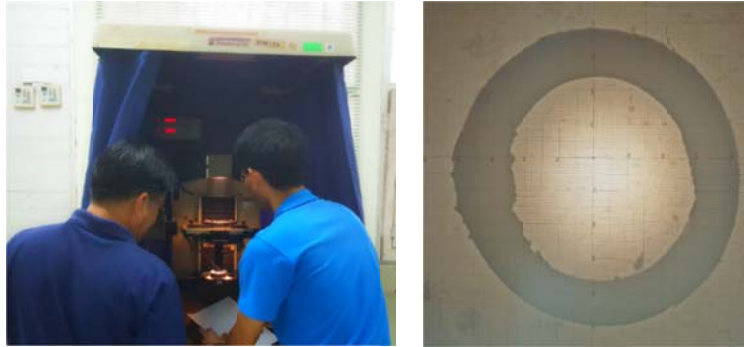
Wavelength (nm)	Specification Maximum Attenuation		Test Result
	TOT (OES-004-055-02)	New Access OFC V.4	
1310	0.38	0.38	0.332 (0.337)
1383	0.35	0.35	0.287 (0.279)
1490	0.30	0.30	0.235 (0.241)
1550	0.28	0.26	0.186 (0.199)
1625	0.30	0.30	0.192 (0.201)
$\leq ** \text{ dB / km}$			dB / km

** หมายเหตุ Test Result New Access OFC Version 4. ค่าแรกเป็นค่าจากโรงงานผู้ผลิต ค่าในวงเล็บเป็นผลทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการทดสอบสถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.)

ผลการทดสอบคุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสงที่เกี่ยวข้องของสาย New Access OFC ณ โรงงานผู้ผลิต เช่น Mode Field Diameter, Cladding Diameter, Zero Dispersion, Chromatic Dispersion, Polarization Mode Dispersion และผลการทดสอบทางกลที่สำคัญผ่านมาตรฐานทุกหัวข้อทดสอบรายละเอียดตามภาคผนวก

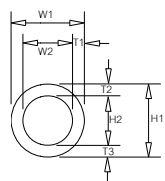
วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกสาย New Access OFC Version 4.

วัดค่า OD สายต้นแบบ New Access OFC Version 4. ด้วยเครื่องวัดละเอียด Profile Projector สุ่มตัดตัวอย่างระยะห่างตำแหน่งละ 3 เมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 3.24 วัดโครงสร้างสาย New Access OFC V.4

ตารางที่ 3.9 ค่า OD สายต้นแบบ New Access OFC Version 4.

No.	W1	W2	H2	H2	T1	T2	T3	Remark
1	3.43	2.20	3.55	2.42	0.52	0.59	0.66	
2	3.49	2.21	3.48	2.43	0.51	0.60	0.58	
3	3.52	2.19	3.53	2.40	0.50	0.58	0.61	
Avg.	3.48	2.20	3.52	2.42	0.51	0.59	0.62	
Unit	<i>mm</i>							(Avg. 3.50 mm)

ผลการวัดค่า OD สายต้นแบบ New Access OFC Version 4. รายละเอียดตามตารางที่ 3.9 ค่าเฉลี่ย 3.50 mm (มาตรฐาน 3.3-3.7 mm) เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

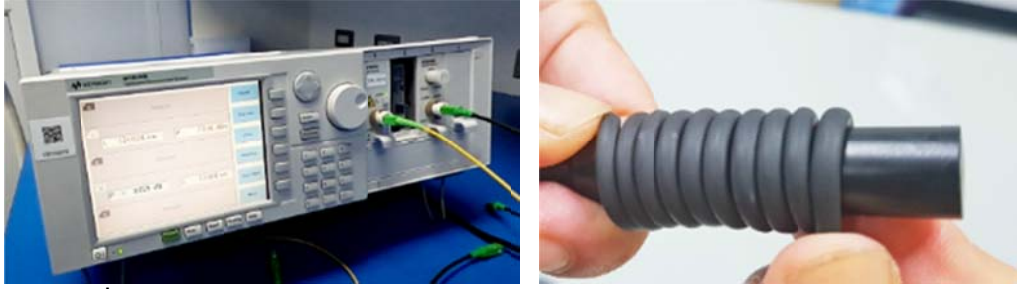
ทดสอบการลามไฟสาย New Access OFC Version 4.

ผลทดสอบการลามไฟสาย New Access OFC Version 4. วิธีการทดสอบเหมือนทดสอบสาย New Access OFC Version 3. สรุปผลการทดสอบคุณภาพป้องกันการลามไฟผ่านมาตรฐาน IEC 60332-1

ทดสอบการโค้งงอของสายต้นแบบ New Access OFC Version 4.

มาตรฐานการโค้งงอต่ำสุดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อค่า Loss ของเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละชนิด ความสามารถในการโค้งงอแตกต่างกัน ดังนี้

- 1) มาตรฐานตาม ITU G652D เส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอรัศมีต่ำสุด (R) 30.0 mm
- 2) มาตรฐานตาม ITU G657A/A1 เส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอรัศมีต่ำสุด (R) 10.0 mm
- 3) มาตรฐานตาม ITU G657A2/B2 เส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอรัศมีต่ำสุด (R) 7.5 mm
- 4) มาตรฐานตาม ITU G657B3 เส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอรัศมีต่ำสุด (R) 5.0 mm



ภาพประกอบที่ 3.25 ทดสอบการโค้งงอสายต้นแบบ New Access OFC V.4 บนแกนรัศมี 10.00 และ 6.25 mm

สายต้นแบบ New Access OFC Version 4. เส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐาน ITU.G652A/A1 มาตรฐานการโค้งงอบนแกนรัศมี (R) 10 mm จำนวน 10 รอบ ที่ความยาวคลื่น 1550 mm ค่า Loss ต้อง ≤ 0.25 dB ผลการทดสอบค่า Loss = 0.04 dB ผ่านมาตรฐาน

เนื่องจากสายต้นแบบ New Access OFC Version 4. วัสดุรับแรงดึงผลิตจาก FRP มีข้อจำกัดในการโค้งงอที่อาจทำให้วัสดุแตกหัก ทำการทดสอบการโค้งงอบนแกนรัศมี (R) 6.25 mm ที่วิกฤตกว่ามาตรฐาน (มาตรฐาน (R) 10 mm) จำนวน 10 รอบ ด้วยความยาวคลื่น 1310 mm ดูผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเส้นใยแก้วนำแสงภายในที่สภาวะโค้งงอและยึดตรง ขณะทำการทดสอบม้วนสายตัวอย่างบนแกนมีเสียงดังผิดปกติเล็กน้อย วัดค่า Loss สูงถึง 3.48 dB เมื่อคลี่สายออกเป็นแนวเส้นตรง ค่า Loss กลับมาใกล้เคียงกับค่าที่เริ่มทำการทดสอบ

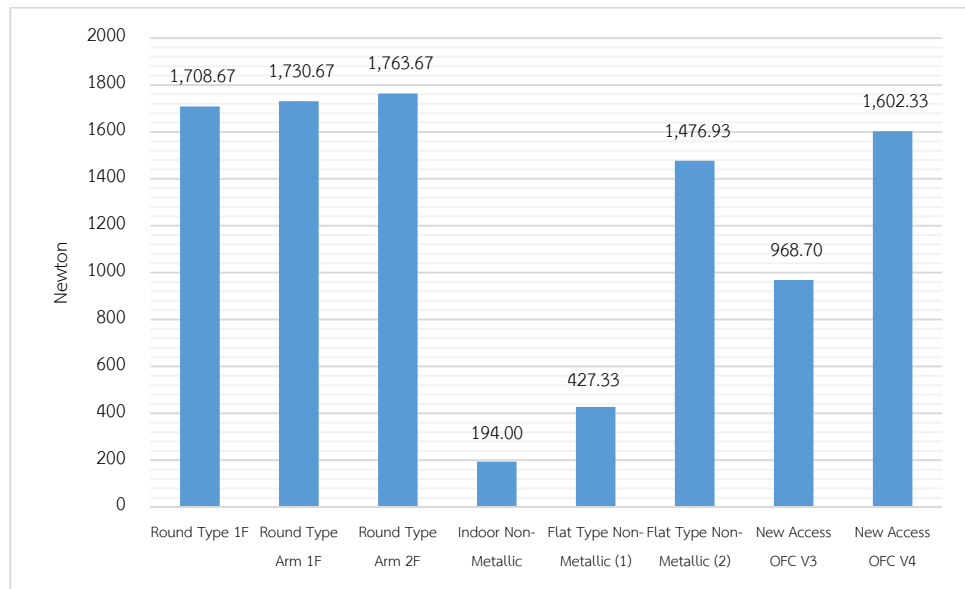
สรุปสายต้นแบบ New Access OFC Version 4. ทดสอบการโค้งงอตามมาตรฐานรัศมีแกนกลาง (R) 10 mm จำนวน 10 รอบ ค่า Loss ผ่านมาตรฐาน **ทดลองโค้งงอแบบวิกฤตรัศมีที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (R) 6.25 mm วัสดุรับแรงดึงที่ผลิตจาก FRP มีเสียงผิดปกติเล็กน้อย** เมื่อยึดสายแนวตรงค่า Loss คืบกลับมาใกล้เคียงกับค่าเริ่มทดสอบ ผิวภายนอกของสายไม่ชำรุดเสียหาย การโค้งงอผ่านเกณฑ์มาตรฐาน รองรับการโค้งงอในสภาพวิกฤตได้เหมาะสมกับการนำมาใช้งาน

ทดสอบคุณสมบัติทางกล

ทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสายต้นแบบ New Access OFC Version 4. วัสดุรับแรงดึง FRP ที่ความเร็วทดสอบ 50 mm / min จำนวน 3 ตัวอย่าง เหมือนการทดสอบสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. ผลการทดสอบค่ารับแรงดึงแบบทำลายเฉลี่ย 1602.23 N เปรียบเทียบการรับแรงดึงแบบทำลายระหว่างสาย Access OFC กลุ่มเดียวกัน รายละเอียดตามตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ผลการทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสาย Access OFC แต่ละชนิด

Sample.	Cable type							
	Round Type OFC 1F	Round Type OFC Armoured 1F	Round Type OFC Armoured 2F	Flat Type Non-Metallic (1)	Flat Type Non-Metallic (2)	OFC Indoor Non-Metallic	New Access OFC V.3	New Access OFC V.4
1	1699.00	1745.00	1750.00	430.00	1459.60	190.00	932.40	1560.00
2	1725.00	1701.00	1768.00	425.00	1410.40	197.00	993.60	1578.00
3	1702.00	1746.00	1773.00	427.00	1560.80	195.00	980.10	1669.00
Avg.	1708.67	1730.67	1763.67	427.33	1476.93	194.00	968.70	1602.23
Unit	N							



ภาพประกอบที่ 3.26 กราฟเปรียบเทียบการรับแรงดึงแบบทำลายสาย Access OFC แต่ละชนิด

ผลการทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสายในกลุ่ม Access OFC ทุกโครงสร้าง ประกอบด้วยสาย Round Type 1F สาย Round Type Armoured 1F สาย Round Type Armoured 2F สาย Indoor Non-Metallic สาย Flat Type Non-Metallic สาย New Access OFC Version 3. และสาย New Access OFC Version 4. ตามตารางที่ 3.10 และกราฟตามภาพประกอบที่ 3.26

สรุปแรงดึงแบบทำลายสาย Indoor Non-Metallic จากประเทศไต้หวันมีค่าต่ำสุด 194 N และสาย Round Type Armoured 2F มีค่าสูงสุด 1763 N สาย New Access OFC Version 4.

โครงการวิจัยนี้แรงดึงแบบทำลายเฉลี่ย 1602 N ใกล้เคียงโครงสร้างสาย Access OFC ที่มีสายสะพานรับแรงดึงเส้นลวดโลหะ

ทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงสายต้นแบบ New Access OFC Version 4.

ทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงของสายต้นแบบ New Access OFC Version 4. ขั้นตอนเดียวกับการเชื่อมต่อสายต้นแบบ New Access OFC Version 3. ด้วยเครื่อง Fusion Splicer กับสาย OFC ที่เกี่ยวข้องด้วยอุปกรณ์ Holder จับสายขนาด 3.50 mm ผลการทดลองดังนี้

- 1) เชื่อมต่อระหว่างสาย New Access OFC V.4 ด้วยกัน
- 2) เชื่อมต่อระหว่างสาย New Access OFC V.4 กับ สาย Pigtail Optical Fiber ทั้ง 2 ชนิด (600,900 μm)
- 3) เชื่อมต่อระหว่างสาย New Access OFC V.4 กับ สายของอุปกรณ์ OFTK



ภาพประกอบที่ 3.27 ทดลองเชื่อมต่อสายต้นแบบ New Access OFC V.4 กับสาย OFC ที่เกี่ยวข้อง

ผลการทดลองเชื่อมต่อระหว่างสายต้นแบบ New Access OFC Version 4. ระหว่างสาย New Access OFC Version 4. ด้วยกัน ระหว่างสาย New Access OFC Version 4. กับสาย Pigtail Optical Fiber (600, 900 μm) และระหว่างสาย New Access OFC Version 4. กับสายของอุปกรณ์ OFTK ด้วยอุปกรณ์ Holder จับสายขนาด 3.50 mm ทุกตัวอย่างทดสอบหลังการเชื่อมต่อวัดค่า Loss จุดเชื่อมต่อได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

สรุปผลการออกแบบสาย New Access OFC แต่ละ Version มีรายละเอียดดังนี้

- ต้นแบบ Version 1. ทรงกลมรับแรงดึงด้วยวัสดุ AFRP/KFRP 3 เส้น ผลิตสายต้นแบบทดสอบ ณ โรงงานผู้ผลิต ผลการทดสอบไม่ผ่านการทดสอบการรับแรงดึง ขบวนการผลิตยุ่งยาก
- ต้นแบบ Version 2. ทางกลมช่องว่างตรงกลางออกแบบเป็นวงรี รับแรงดึงด้วยวัสดุ FRP 2 เส้น มีร่องที่เปลือกนอก 2 ร่องเพื่อความสะดวกในการ

ปก เขตร้อนมีปัญหาเรื่องแมลงชอบมาวางไข่ในร่อง (ไม่ได้ผลิตต้นแบบเพื่อทดลอง)

ต้นแบบ Version 3. เหมือน Version 2. เพียงเอาร่อง 2 ร่องออก ผลิตสายต้นแบบทดสอบ ณ โรงงานผู้ผลิต และ นฐ. ผลการทดสอบผ่านการทดสอบการรับแรงดึง แต่เมื่อทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงต่างชนิดไม่สามารถเชื่อมต่อได้

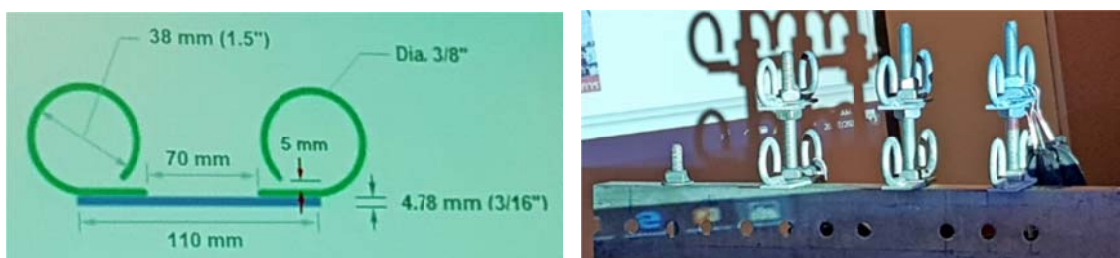
ต้นแบบ Version 4. ผลิตสายต้นแบบทดสอบ ณ โรงงานผู้ผลิต และ นฐ. ผลการทดสอบผ่านการทดสอบทุกหัวข้อตามเกณฑ์ที่กำหนด ทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงต่างชนิด สามารถเชื่อมต่อได้ตามมาตรฐาน

โครงการวิจัยนี้เลือกต้นแบบสาย New Access OFC Version 4. ทดลองภาคสนาม เพื่อเก็บข้อมูลและสรุปผลการใช้งานต่อไป

3.4 อุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4.

3.4.1 อุปกรณ์จับยึดสาย Round Type OFC

กฟน. จัดระเบียบการติดตั้งสายสื่อสารกับเสาไฟฟ้า โดยวิธีติดตั้งคอนแวนสายสื่อสารผลิตจากเหล็กรูปตัว C ชุบสังกะสี (Zinc) กับเสาไฟฟ้าของ กฟน. เพื่อให้ผู้ให้บริการโทรคมนาคมเช่าใช้ด้านล่างของคอนกำหนดให้แขวนสายเคเบิล OFC ด้วยอุปกรณ์เคลวิส (Clevis) ด้านบนของคอนกำหนดให้ติดตั้งสาย Access OFC บนอุปกรณ์คล้องเกี่ยวรูปวงกลม พร้อมกำหนดตำแหน่งใช้งานของผู้ให้บริการโทรคมนาคมแต่ละรายบนเคลวิสและอุปกรณ์ห้วงคล้องอย่างชัดเจนตามภาพประกอบที่ 3.28



ภาพประกอบที่ 3.28 อุปกรณ์ของ กฟน. สำหรับคล้องเกี่ยวอุปกรณ์จับยึดสาย Access OFC

สาย New Access OFC Version 4. รับแรงดึงระหว่างช่วงเสาด้วยแกนรับแรงดึง FRP OD 0.5 mm จำนวน 8 แกน แกน FRP มีข้อจำกัดไม่สามารถโค้งงอได้เหมือนเส้นลวด อุปกรณ์จับยึดสาย

New Access OFC ต้องควบคุมให้สาย New Access OFC Version 4. อยู่ในแนวตรงหรือโค้งงอเล็กน้อย



ภาพประกอบที่ 3.29 ตัวอย่างอุปกรณ์จับยึดสาย Access OFC แนวตรง

ตัวอย่างอุปกรณ์จับยึดโค้งงอได้เล็กน้อยตามภาพประกอบที่ 3.29 ราคาในท้องตลาดประมาณ 5 บาทถึง 35 บาทต่อชิ้นขึ้นกับชนิดและปริมาณการสั่งซื้อ ต้องใช้อุปกรณ์จับยึด 2 ชิ้นต่อเสาสไฟฟ้า 1 ต้น โครงการวิจัยนี้กำหนดรูปแบบอุปกรณ์จับยึด 2 รูปแบบ

- 1) ใช้อุปกรณ์จับยึดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
- 2) ออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพื่อลดต้นทุน (ถ้าได้)

แรงดึงสาย New Access OFC Version 4. ระหว่างเสาสไฟฟ้าขึ้นกับน้ำหนักสายและระยะห่าง สามารถคำนวณหาค่าแรงดึงจากน้ำหนักสาย ระยะห่างเสาส (L) ระยะตกท้องช้างด้วยสมการที่ (2.12) ในบทที่ 2.

$$R_{1,x} = R_{2,x} = R_x = \frac{qL^2}{8h} \quad (2.12)$$

คำนวณหาค่ารับแรงดึงแนวนอนด้วยสมการที่ (2.12) จากน้ำหนักสาย Access OFC ชนิดต่าง ๆ ระยะห่างเสาส (L) 40 ถึง 140 เมตร มาตรฐานระยะตกท้องช้าง (h) 0.5 % ผลการคำนวณตามตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 ค่ารับแรงดึงแนวนอนสาย Access OFC แต่ละชนิดที่ได้จากการคำนวณ

ระยะห่างเสา	Round Type OFC 1F	Round Type OFC Armoured 1F	Round Type OFC Armoured 2F	Indoor Non-Metallic OFC	Flat Type OFC	New Access OFC V3	New Access OFC V4
40.00	327.23	237.85	292.64	91.43	134.32	132.23	113.57
60.00	490.84	356.78	438.96	137.15	201.48	198.35	170.35
80.00	654.45	475.70	585.28	182.87	268.65	264.46	227.13
100.00	818.07	594.63	731.60	228.58	335.81	330.58	283.91
120.00	981.68	713.56	877.92	274.30	402.97	396.69	340.70
140.00	1,145.29	832.48	1,024.24	320.02	470.13	462.81	397.48
เมตร	N						

ศึกษาค่ารับแรงดึงแนวนอนสาย Access OFC แต่ละชนิดที่ได้จากการคำนวณระยะห่างเสา 40 ถึง 140 เมตร ตามตารางที่ 3.11 กำหนดอุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4. ต้องรองรับระยะห่างเสาไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 60 เมตร (มาตรฐาน กพน. เฉลี่ย 40 เมตร) อ้างอิงค่ารับแรงดึงสำคัญในการคัดเลือกอุปกรณ์จับยึดดังนี้

- 1) ค่ารับแรงดึงติดตั้งใช้งานระยะเสาไฟฟ้า 60 เมตร $\geq 200 N$ (ปัดขึ้นจาก 170 N)
- 2) ค่ารับแรงดึงแบบทำลาย $\geq 1600 N$
- 3) ค่ารับแรงดึงใช้งาน $\geq 300 N$

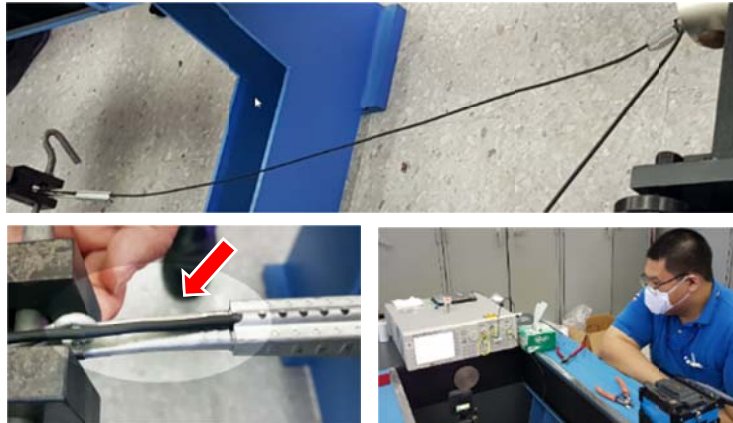
3.4.2 อุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4.

คัดเลือกอุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4. ในท้องตลาด อุปกรณ์ประกอบด้วยชิ้นส่วน 2 ชิ้น ชิ้นแรกเป็นฐานสวมรูปกลมมีร่องกลางรองรับสายแบบกลม ชิ้นที่สองออกแบบคล้ายสลักกลมสวมภายในฐานชิ้นแรกตามภาพประกอบที่ 3.30 ออกแบบรับแรงดึงแบบลิ่มล็อก เมื่อมีแรงดึงเพิ่มขึ้น ลิ่มจะยิ่งล็อกสายแน่นขึ้นจนกระทั่งสายที่จับยึดหรืออุปกรณ์ชำรุดเสียหาย



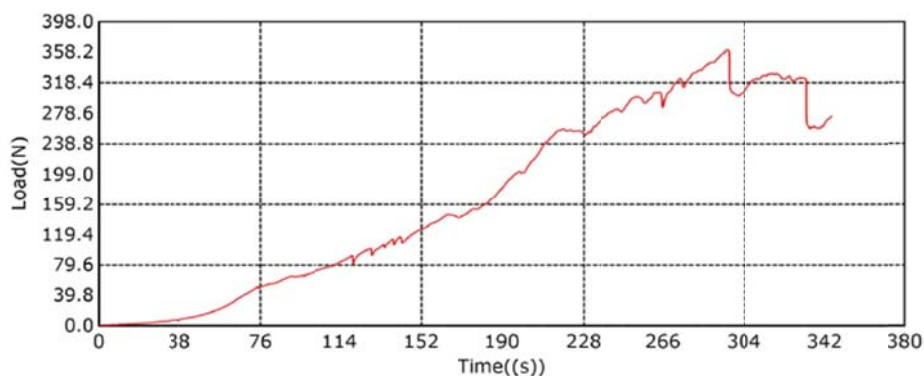
ภาพประกอบที่ 3.30 อุปกรณ์จับยึดสายกลมแนวตรง

ทดสอบการจับยึดสาย New Access OFC Version 4. ด้วยอุปกรณ์จับยึดสายกลมแนวตรง จำนวน 4 ตัวอย่าง ขณะทำงานได้บ่อนสัญญาณแสงตลอดเวลาเพื่อศึกษาผลกระทบระหว่างแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงต่อค่า Loss ของเส้นใยแก้วนำแสงที่บรรจุภายใน



ภาพประกอบที่ 3.31 ทดสอบจับยึดอุปกรณ์ฯ รองรับสายกลมแนวตรงพร้อมวัดค่า Loss

ผลการทดสอบการจับยึดสาย New Access OFC Version 4. ด้วยอุปกรณ์จับยึดสายกลมแนวตรง อุปกรณ์ฯ รับแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย 350 N ตามกราฟภาพประกอบที่ 3.32 สังเกตเปลือกห่อหุ้มสายจะเริ่มย่นตัวตามภาพประกอบที่ 3.31 (ล่างซ้าย) แต่ค่า Loss เปลี่ยนแปลงน้อยมากด้วยเหตุผลเส้นใยแก้วนำแสงแยกอิสระจากโครงสร้างที่ห่อหุ้มภายนอก ค่า Loss ตลอดการทดสอบสูงสุด 0.0073 dB (เฉลี่ย 0.0049 dB)



ภาพประกอบที่ 3.32 กราฟค่าแรงดึงอุปกรณ์จับยึดสายกลมแนวตรง

อุปกรณ์จับยึดสายกลมแนวตรงรับแรงดึงได้ตามเป้าหมาย แต่ห้วงคล้องวงกลมรูปตัว V ที่ออกแบบให้ปลดล็อคด้านข้างได้ตามภาพประกอบที่ 3.33 (ซ้ายมือ) ไม่สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากห้วงมี OD ภายในน้อยกว่าอุปกรณ์คล้องของ กฟน. และล็อคด้านข้างไม่สะดวกในการปฏิบัติบนบันไดด้วยมือข้างเดียว จากปัญหาการคล้องเกี่ยวและความคล่องตัวในการปฏิบัติงานจึงปรับปรุงห้วงคล้องเกี่ยวโดยเอาต้นแบบของ Dropwire Clamp ตามมาตรฐาน บมจ.ทีโอที มาประยุกต์ใช้งานตามภาพประกอบที่ 3.33 (ขวามือ) ด้วยเหตุผลพนักงานคุ้นเคยกับห้วงคล้องเกี่ยวแบบ Dropwire Clamp เดิมอยู่แล้ว



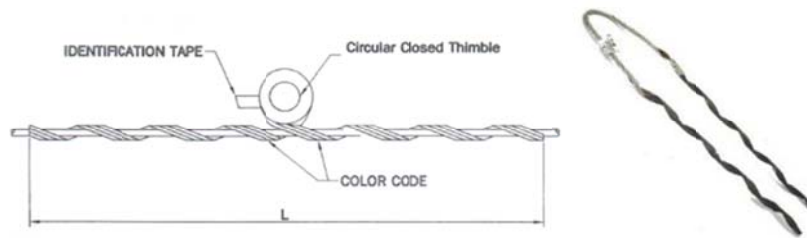
ภาพประกอบที่ 3.33 ปรับปรุงห้วงคล้องอุปกรณ์จับยึดสายกลมแนวตรง

สรุอุปกรณ์จับยึดสายกลมแนวตรงรับแรงดึงได้ 350 N (เป้าหมาย ≥ 200 N) ค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นไม่ส่งผลกระทบต่อค่า Loss ด้วยเหตุผลเส้นใยแก้วนำแสงแยกอิสระจากโครงสร้างที่ห่อหุ้มภายนอก พร้อมปรับปรุงห้วงคล้องแบบวงกลมรูปตัว V ปลดล็อคด้านข้างได้เป็นห้วงคล้องแบบ Dropwire Clamp ตามมาตรฐาน บมจ.ทีโอที ก่อนทดลองติดตั้งใช้งานภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูล

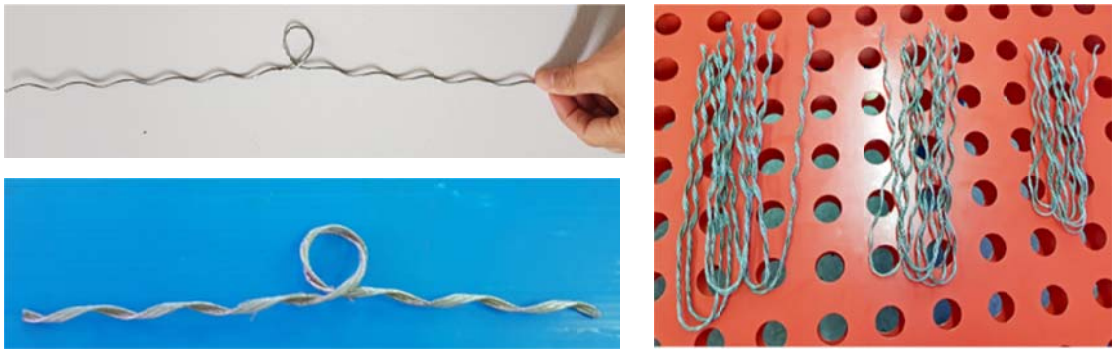
3.4.3 ออกแบบอุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4.

อุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4. ต้องใช้ 2 ขึ้นกับเสาไฟฟ้าแต่ละต้น เพื่อลดต้นทุนอุปกรณ์ที่ทีมงานมีแนวคิดออกแบบอุปกรณ์จับยึดเฉพาะ ด้วยแนวคิดออกแบบโดยวิธีย่อส่วนจากอุปกรณ์จับยึดสายเคเบิล ADSS FRP OFC

อุปกรณ์จับยึดสาย ADSS/ARSS OFC ผลิตจากเส้นลวดพ่นทราย แบ่งเป็นจุดเบรค (Break Point) ใช้อุปกรณ์ Preformed Guy-grip Deadends หรือ Deadends และจุดกลางสายใช้อุปกรณ์ฟรีฟอร์มปีกนก (Tangent ADSS/ARSS OFC) ตามภาพประกอบที่ 3.34



ภาพประกอบที่ 3.34 อุปกรณ์จับยึด Tangent (ซ้ายมือ) และ Deadends (ขวามือ)



ภาพประกอบที่ 3.35 ออกแบบอุปกรณ์จัดยึด Tangent (ซ้ายมือ) และ Deadends (ขวามือ)

สาย New Access OFC Version 4. มี OD เพียง 3.50 mm แตกต่างจากสายเคเบิลกลุ่ม ADSS/ARSS OFC มาก ค่ารับแรงดึงระหว่างช่วงเสาของสาย New Access OFC V4. ก็น้อยตามน้ำหนักและค่า OD ของสาย ผลิตต้นแบบอุปกรณ์จับยึด Tangent และ Deadends ซึ่งผลิตจากเส้นลวดพ่นทราย จำนวนเส้นลวด 1, 2 และ 3 เส้น ที่ความยาวต่าง ๆ ตามภาพประกอบที่ 3.35



ภาพประกอบที่ 3.36 ทดสอบแรงกระทำคงที่ต่อเนื่องอุปกรณ์จัดยึด Preformed และ Tangent

ประสานงาน บริษัท พี.ยู.บี. แอคเซสซอรี่ จำกัด (PUB) ผลิตต้นแบบอุปกรณ์จับยึด Tangent และ Deadends และทดสอบการรับแรงกระทำคงที่ต่อเนื่อง ณ โรงงานฯ ด้วยถุทรายเพื่อวิเคราะห์ผลเบื้องต้นตามภาพประกอบที่ 3.36 ผลการทดสอบต้นแบบเบื้องต้น ณ โรงงานฯ จำนวน 4 ตัวอย่าง รายละเอียดดังนี้

- 1) **Deadends ลวด 1 เส้น** ความยาว 20 เซ็นติเมตร แขนงน้ำหนัก 10 กิโลกรัม (98 N) ทดสอบต่อเนื่อง 7 วัน สายตัวอย่างมีการบิดตัว **การจับยึดไม่มั่นคงพร้อมจะเลื่อนหลุด ขบวนการผลิตลวดเส้นเดียวขั้นตอนในการพันทรายยุ่งยาก**
- 2) **Deadends ลวด 2 เส้น** ความยาว 28 เซ็นติเมตร เนื่องจากจำนวนเส้นลวดและความยาวเพิ่มขึ้น จึงเพิ่มน้ำหนักเป็น 14 กิโลกรัม (137 N) ทดสอบต่อเนื่อง 7 วัน การจับยึดสายมีความมั่นคง หลังทดสอบผ่านไป 3 วัน สายหลุดตัวเล็กน้อยไม่ปรากฏรอยกดทับบนผิวของเปลือกสาย
- 3) **Deadends ลวด 3 เส้น** ความยาว 28 เซ็นติเมตร แขนงน้ำหนัก 14 กิโลกรัม (137 N) ทดสอบต่อเนื่อง 7 วัน การจับยึดสายมีความมั่นคงการรับแรงกระทำต่อเนื่องได้ดี สายไม่มีการหลุดตัวหรือชำรุดเสียหายตลอดการทดสอบ
- 4) **Tangent /O-ring ลวด 1 เส้น** ความยาว 22 เซ็นติเมตร แขนงน้ำหนัก 14 กิโลกรัม (137 N) ทดสอบต่อเนื่องวันที่ 2 สายหลุดตัวเลื่อนหลุดออก **เส้นลวดขาดผิวเปลือกสายชำรุดเสียหาย**

ผลการทดสอบเบื้องต้นอุปกรณ์จับยึด Tangent และ Deadends ลวด 1 เส้น ไม่เหมาะสมในการใช้งานเมื่อมีแรงดึงเส้นลวดจับยึดไม่มั่นคงและอาจขาดผิวเปลือกสายได้ ลวดเส้นเดียว ขบวนการผลิตในขั้นตอนการพันทรายยุ่งยากจึงตัดออก คัดเลือกเหลือต้นแบบลวด 2 และ 3 เส้น รายละเอียดต้นแบบแต่ละชนิดมีดังนี้

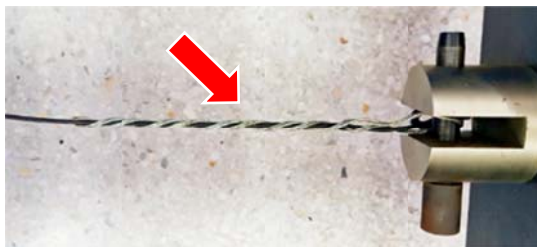
Deadends (ผลิตต้นแบบอย่างละ 10 ตัวอย่าง)

- 1) เส้นลวดพันทราย 2 เส้น ความยาว 20 เซ็นติเมตร (ความยาวก่อนโค้งงอ 40 เซ็นติเมตร)
- 2) เส้นลวดพันทราย 2 เส้น ความยาว 28 เซ็นติเมตร (ความยาวก่อนโค้งงอ 55 เซ็นติเมตร)
- 3) เส้นลวดพันทราย 3 เส้น ความยาว 28 เซ็นติเมตร (ความยาวก่อนโค้งงอ 55 เซ็นติเมตร)

Tangent /O-ring (ผลิตต้นแบบอย่างละ 10 ตัวอย่าง)

- 1) เส้นลวดพันทราย 2 เส้น ความยาว 22 เซ็นติเมตร (ความยาวก่อนโค้งงอ 30 เซ็นติเมตร)
- 2) เส้นลวดพันทราย 2 เส้น ความยาว 31 เซ็นติเมตร (ความยาวก่อนโค้งงอ 40 เซ็นติเมตร)
- 3) เส้นลวดพันทราย 3 เส้น ความยาว 31 เซ็นติเมตร (ความยาวก่อนโค้งงอ 40 เซ็นติเมตร)

ทดสอบการจับยึดสาย New Access OFC Version 4. ด้วยอุปกรณ์ Deadends (อุปกรณ์ Tangent /O-ring ไม่สามารถทดสอบหัวข้อนี้ได้) คล้ายการทดสอบอุปกรณ์จับยึดสายกลมแนวตรงที่ผ่านมา



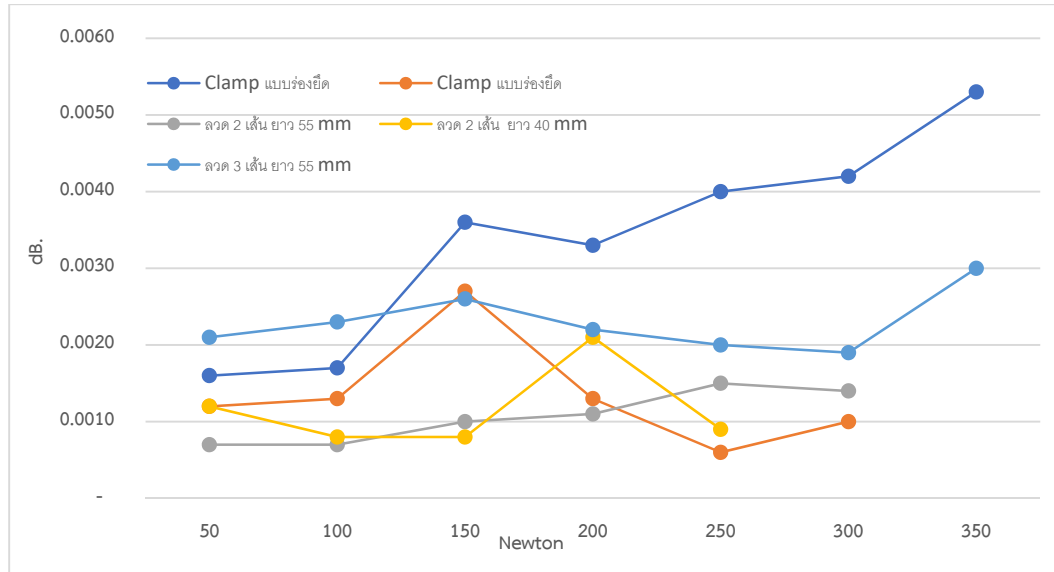
ภาพประกอบที่ 3.37 อุปกรณ์ Deadends จับยึดสาย New Access OFC Version 4.

ตารางที่ 3.12 ผลทดสอบการรับแรงดึงอุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4. แต่ละชนิด

แรงดึง	Clamp แบบร่องยึด	Clamp แบบร่องยึด	ลวด 2 เส้น ยาว 40 mm	ลวด 2 เส้น ยาว 55 mm	ลวด 3 เส้น ยาว 55 mm
50	0.0016	0.0012	0.0012	0.0007	0.0021
100	0.0017	0.0013	0.0008	0.0007	0.0023
150	0.0036	0.0027	0.0008	0.0010	0.0026
200	0.0033	0.0013	0.0021	0.0011	0.0022
250	0.0040	0.0006	0.0009	0.0015	0.0020
300	0.0042	0.0010	**B**	0.0014	0.0019
350	0.0053	**A**	**B**	**B**	0.0030
<i>N</i>	<i>dB</i>				

หมายเหตุ ****A**** สายตัวอย่างทดสอบเปลือกเริ่มย่น เส้นใยแก้วนำแสงยังสามารถส่งสัญญาณได้ปกติ
 ****B**** สายตัวอย่างทดสอบเปลือกเริ่มยึด เส้นใยแก้วนำแสงยังสามารถส่งสัญญาณได้ปกติ

ผลการทดสอบการรับแรงดึงอุปกรณ์ Deadends กับสาย New Access OFC Version 4. เส้นลวดพันทราย 2 และ 3 เส้น จับเปลือกสายแน่นไม่มีการหลุดตัว สรุปทุกตัวอย่างทดสอบรับแรงดึงต่ำสุด 250 N สูงสุด 350 N เมื่อทดสอบถึงแรงดึงสูงสุดเปลือกสายเริ่มฉีกขาดแต่สัญญาณแสงส่งผ่านได้ต่อเนื่อง ด้วยเหตุผลเส้นใยแก้วนำแสงแยกอิสระจากโครงสร้างที่ห่อหุ้ม ค่า Loss สูงสุด 0.0030 dB (เฉลี่ย 0.0015 dB) สรุปผลการทดสอบแรงดึงอุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4. แต่ละชนิด ตามตารางที่ 3.12



ภาพประกอบที่ 3.38 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงอุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4.

วิเคราะห์ผลการทดสอบตารางที่ 3.12 อุปกรณ์จับยึดสาย New Access OFC Version 4. แบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลมและอุปกรณ์จับยึดแบบ Deadends รับแรงดึงสูงสุด 350 N (35.68 kgf) เมื่อทดสอบต่อเนื่องค่ารับแรงดึงคงที่แต่เปลือกสายจะยุบตัวไปตามระยะที่ดึงตำแหน่งอุปกรณ์จับยึด ค่า Loss มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

อุปกรณ์ Tangent /O-ring ติดตั้งจุดกลางเพื่อประคองสายระหว่างช่วงเสา รับแรงดึงด้านข้างทั้งสองด้านแบบสมดุล (Balance) รับน้ำหนักแนวตั้งของน้ำหนักสาย ($\approx 2.3 \text{ kg} / 200 \text{ เมตร}$) ด้วยเหตุการณ์รับน้ำหนักใช้งาน ตำแหน่งติดตั้งและผลการทดสอบเบื้องต้น ณ โรงงาน การรับน้ำหนักทางกลไม่มีนัยยะสำคัญในการใช้งาน แต่ความสะดวกและคล่องตัวในการติดตั้งหน้างานมีผลกระทบมากกว่า จึงคอยผลการทดลองติดตั้งภาคสนามสรุปผล

สรุปทดลองติดตั้งสาย New Access OFC Version 4. ด้วยอุปกรณ์จับยึดแบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลมและอุปกรณ์จับยึดแบบ Deadends รับแรงดึงด้านเดียวและอุปกรณ์ Tangent /O-ring ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้านเพื่อเก็บข้อมูลภาคสนาม

3.5 สรุป

เป้าหมายโครงการวิจัยนี้เพื่อออกแบบสาย Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะรองรับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ปี พ.ศ. 2563 แนวทางการศึกษาอ้างอิงสาย Access OFC เดิมที่มีโครงสร้างสายสะพานรับแรงดึงเส้นลวดโลหะ ระยะติดตั้งห่างเสา 40 เมตร รับแรงดึงแบบทำลาย 1600 N (ค่าจากการทดสอบ) แรงดึงใช้งาน $\geq 300 \text{ N}$ อ้างอิงในการออกแบบ

วัสดุรับแรงดึงที่ไม่ใช่โลหะในตลาดอุตสาหกรรมมีหลายชนิด เช่น FRP (Fiber-Reinforced Polymer), GFRP (Glass Fiber-Reinforced Polymer) และ AFRP/KFR (Aramid/Kevlar Fiber-Reinforced Polymer) จากคุณสมบัติที่สามารถโค้งงอได้รับแรงดึงได้สูง น้ำหนักเบา มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและราคาเหมาะสม

ร่างต้นแบบคำนวณการรับแรงดึงจำลอง (Simulate) ศึกษาผลกระทบจากสภาพแวดล้อมในการใช้งานสาย New Access OFC รวม 4 Version มีรายละเอียดดังนี้ ต้นแบบ Version 1. ผลิตสายต้นแบบทดสอบ ณ โรงงานผู้ผลิต ผลการทดสอบไม่ผ่านการทดสอบการรับแรงดึง ต้นแบบ Version 2. ร่างแบบไม่ผ่านการพิจารณา (ไม่มีการผลิตสายต้นแบบ) ต้นแบบ Version 3. ผลิตสายต้นแบบเพื่อทดสอบเบื้องต้นที่โรงงานผู้ผลิตและห้องปฏิบัติการทดสอบสถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) ผลการทดสอบผ่านการทดสอบการรับแรงดึง แต่เมื่อทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงต่างชนิดไม่สามารถเชื่อมต่อได้ และต้นแบบ Version 4. ผลิตสายต้นแบบเพื่อทดสอบเบื้องต้นที่โรงงานผู้ผลิตและ นฐ. ผลการทดสอบผ่านการทดสอบทุกหัวข้อตามเกณฑ์ที่กำหนด ทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงต่างชนิดสามารถเชื่อมต่อได้ตามมาตรฐาน

สายต้นแบบ New Access OFC Version 4. นำแนวคิดโครงสร้างสายเคเบิล ADSS FRP OFC มาย่อส่วน กำหนดค่ารับแรงดึงใช้งาน $\geq 300 N$ วัสดุรับแรงดึงผลิตจากแกน FRP สามารถลดต้นทุนในการผลิตเฉพาะวัสดุรับแรงดึงลงได้ 10-30% ทดสอบการลามไฟ การโค้งงอผลการทดสอบผ่านตามมาตรฐานทุกหัวข้อทดสอบ

ทดลองเชื่อมต่อสายต้นแบบ New Access OFC Version 4. กับสาย Pigtail Optical Fiber สายของอุปกรณ์ OFTK ด้วยอุปกรณ์ Holder จับสายขนาด 3.50 mm จุดเชื่อมต่อค่า Loss ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

คัดเลือกอุปกรณ์จับยึดแบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลมและอุปกรณ์จับยึดแบบ Deadends รับแรงดึงด้านเดียวและอุปกรณ์ Tangent /O-ring ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้านเพื่อเก็บข้อมูลภาคสนาม

บทที่ 4. ทดลองติดตั้งภาคสนาม

สรุปต้นแบบสาย New Access OFC Version 4. ผ่านการทดสอบตามมาตรฐานทุกหัวข้อ ทดสอบ ผลการทดลองเชื่อมต่อกับเส้นใยแก้วนำแสงกับอุปกรณ์โครงข่าย ODN เช่น อุปกรณ์ OFTK (Optical Fiber Termination Kit) สาย Pigtail Optical Fiber เป็นต้น จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงค่า Loss ได้ตามมาตรฐาน ก่อนออกกำหนดมาตรฐานเพื่อนำมาใช้งานได้เรียนหารือ นายอนุรุต อุทัยรัตน์ รองกรรมการผู้จัดการใหญ่หน่วยธุรกิจขายและบริการลูกค้านครหลวงเพื่อขอสนับสนุนงบประมาณติดตั้ง ทดลองภาคสนาม ได้รับงบประมาณ 570,000 บาทจัดซื้อสายต้นแบบพร้อมอุปกรณ์ติดตั้ง ในรายงานฉบับนี้ต่อไปจะเรียกสาย New Access OFC Version 4. นี้ให้กระชับว่า **สาย New Access OFC**

งบประมาณที่ได้รับการสนับสนุนจากท่านรองฯ เพื่อทดลองติดตั้งต้นแบบสาย New Access OFC ภาคสนาม 3 สนาม ๆ ละ 30 ม้วน ความยาวม้วนละ 1,000 เมตร รวม 90 ม้วน (90,000 เมตร) อุปกรณ์ติดตั้งกำหนดไว้ 2 รูปแบบ รูปแบบแรกใช้อุปกรณ์จับยึดแบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลม ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด รูปแบบที่สองใช้อุปกรณ์จับยึด Deadends รับแรงดึงด้านเดียวและอุปกรณ์ Tangent /O-ring ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้านที่ออกแบบมาเฉพาะ

อุปกรณ์จับยึดแบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลมที่จัดซื้อจากท้องตลาดเพื่อมาทดลอง ติดตั้งพบปัญหาาราคาส่ง 15 ถึง 30 บาทต่อชิ้น ราคาขึ้นกับจำนวนสั่งซื้อและชนิดวัสดุที่นำมาผลิต เช่น แสตนเลส อลูมิเนียมอัลลอยด์ หรือพลาสติก เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบราคากับอุปกรณ์ Dropwire Clamp เดิมที่มีราคาเพียง 4 ถึง 5 บาทต่อชิ้นเท่านั้น อุปกรณ์จับยึดแบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลมในตลาดมีราคาสูงมากอาจกระทบต่อการแข่งขันด้านต้นทุนกับผู้ให้บริการรายอื่น

จากปัญหาเรื่องราคาอุปกรณ์จับยึดแบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลม คณะทำงานได้ออกแบบอุปกรณ์ใหม่รองรับสาย New Access OFC ขึ้นมาเฉพาะเป้าหมายกำหนดราคาต้องใกล้เคียง อุปกรณ์ Dropwire Clamp เดิม เมื่อได้รูปแบบที่ชัดเจนจะผลิตต้นแบบทดสอบในห้องปฏิบัติการก่อน นำมาทดสอบภาคสนามซึ่งไม่ทันการทดลองภาคสนามครั้งแรก (Phase 1)

ดังนั้นการทดลองติดตั้งต้นแบบสาย New Access OFC ภาคสนามครั้งแรก ติดตั้งด้วย อุปกรณ์จับยึดแบบ Deadends รับแรงดึงด้านเดียวและ Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้านเพียงรูปแบบเดียว

สั่งผลิตต้นแบบอุปกรณ์จับยึดแบบ Deadends รับแรงดึงด้านเดียว ผลิตด้วยเส้นลวด 2 เส้นและ 3 เส้น อย่างละ 350 ชิ้น (รวม 700 ชิ้น) แบ่งทดลองติดตั้งสนามอย่างละ 110 ชิ้น (รวม 220

ชั้น) และ Tangent /O-ring ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้าน 700 ชั้น แบ่งทดลองติดตั้งสนามละ 220 ชั้นเท่ากัน

ประสานงานหน่วยงานภาคสนามทั้ง 3 สนาม โดยเรียนเชิญผู้เกี่ยวข้องเพื่อนำเสนอภาพรวมโครงการวิจัยสาย New Access OFC ตอบข้อซักถามและวิธีการเก็บข้อมูล ประกอบด้วยฝ่ายขายและบริการลูกค้านครหลวงที่ 1.2 (ผจก.บ.น.1.2 : นายสมบัติ สุนทรบัณฑิตย์) ณ สำนักงานเพลินจิต ฝ่ายขายและบริการลูกค้านครหลวงที่ 2.1 (ผจก.บ.น.2.1 : นายชินภาส มุขเจริญผล) ณ สำนักงานรามคำแหง และฝ่ายขายและบริการลูกค้านครหลวงที่ 3.1 (ผจก.บ.น.3.1 : นายประเสริฐ ไวภิกษิตพงษ์) ณ สำนักงานบางกวาง



ภาพประกอบที่ 4.1 นำเสนอโครงการวิจัยฯ และตอบข้อซักถามที่ทีมงาน บ.น.1.2



ภาพประกอบที่ 4.2 นำเสนอโครงการวิจัยฯ และตอบข้อซักถามที่ทีมงาน บ.น.2.1



ภาพประกอบที่ 4.3 นำเสนอโครงการวิจัยฯ และตอบข้อซักถามที่ทีมงาน บ.น.3.1

หลังจากนำเสนอโครงการวิจัยสาย New Access OFC พร้อมอุปกรณ์จับยึดและวิธีการติดตั้งใช้งานพร้อมตอบข้อซักถาม ข้อควรระวัง การบันทึกและจัดเก็บข้อมูลครบทั้ง 3 หน่วยงาน ได้ส่งมอบสาย New Access OFC หน่วยงานละ 30 ม้วน (ยกเว้น บน.3.1 ส่งมอบ 28 ม้วน) และอุปกรณ์จับยึด Deadends รับแรงดึงด้านเดียว 2 เส้นและ 3 เส้นอย่างละ 110 ชิ้น และอุปกรณ์จับยึด Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้าน 220 ชิ้น



ภาพประกอบที่ 4.4 ส่งมอบสาย New Access OFC และอุปกรณ์จับยึด

กำหนดเป้าหมายในการเก็บข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

- 1) การปกกนวนห่อหุ้มสาย New Access OFC กับสาย Round Type OFC เดิม
- 2) การเชื่อมต่อสาย New Access OFC ด้วยเครื่อง Fusion Splicer กับสายที่ใช้ในโครงข่าย ODN
- 3) การติดตั้ง-จับยึด สาย New Access OFC กับเสาไฟฟ้า

หลังจากมอบต้นแบบสาย New Access OFC เพื่อทดลองติดตั้งใช้งานจริงภาคสนาม หน่วยงานได้มอบหมายให้กองงานติดตั้งเลขหมายบริการ FTTx ทดลองนำสาย New Access OFC ไปติดตั้งลูกค้าที่ขอติดตั้งใหม่ สอบถามขั้นตอนการการปกกนวนห่อหุ้มต้นแบบสาย New Access OFC เปรียบเทียบกับสาย Round Type OFC เดิมและสาย Round Type OFC Armoured ที่มีล้อมรอบด้วยเกราะแอสตนเลส

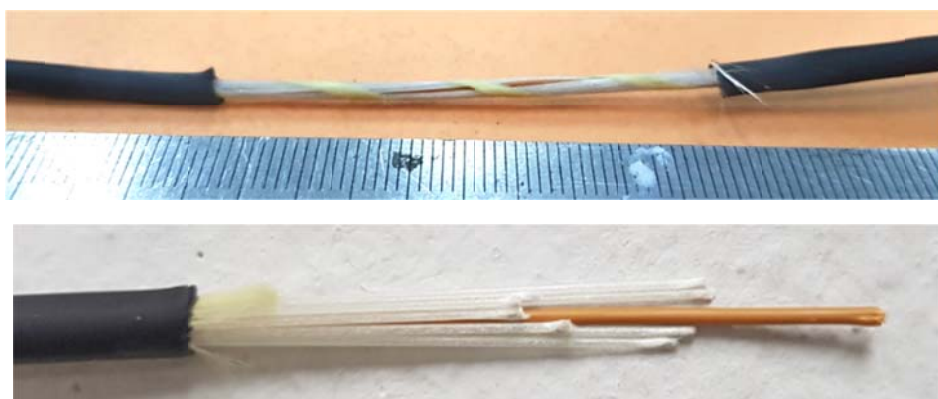


ภาพประกอบที่ 4.5 พนักงานติดตั้งบริการ FTTx ทดลองปกกสาย New Access OFC

ข้อมูลจากพนักงานเรื่องการปกฉนวนห่อหุ้มสายเปรียบเทียบระหว่างสาย New Access OFC กับสาย OFC Round Type เดิม ได้รับคำตอบว่าขั้นตอนการปกฉนวนสาย New Access OFC เร็วกว่า ด้วยเหตุผลสาย Round Type OFC เดิมโครงสร้าง Fig-8 ต้องแยกสายสะพานรับแรงดึงออกก่อน สายๆ แต่ละรุ่นคุณภาพฉนวนไม่เท่ากัน บางครั้งขั้นตอนแยกสายสะพานรับแรงดึงออกฉนวนบริเวณแถบกลาง (Web) ฉีกกินเข้าไปส่วนของฉนวนที่ห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงเปิดออกด้วย เมื่อแยกสายฉนวนห่อหุ้มสายสะพานออกแล้วปกเฉพาะฉนวนห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงความยากง่ายใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบการปกฉนวนระหว่างสาย New Access OFC กับสาย Round Type OFC Armoured ที่ล้อมรอบด้วยเกราะสแตนเลส ขั้นตอนการแยกสายสะพานคล้ายกับสาย OFC Round Type เดิม แต่ขั้นตอนการปกฉนวนห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงสาย New Access OFC ปกง่ายกว่าอย่างชัดเจน

เมื่อทดลองดึงฉนวนห่อหุ้มด้วยมือบริเวณปลายสายพบว่าฉนวนฉีกขาดร่นออกจากกัน ตามภาพประกอบที่ 4.6 เมื่อทดลองดึงฉนวนห่อหุ้มร่นเข้ามาประมาณ 10 เมตรด้วยแรงดึงใกล้เคียงกัน ฉนวนไม่ฉีกขาดแต่ฉนวนยึดตัวเล็กน้อยเมื่อปล่อยมือฉนวนมีรอยย่นเล็กน้อย เมื่อวิเคราะห์สาเหตุร่วมกับพนักงานที่ติดตั้งสาเหตุน่าจะมาจากโครงสร้างสาย New Access OFC ฉนวนหุ้มภายนอกที่ผลิตจาก LSZH (Low Smoke Zero Halogen) แยกส่วนจากแกนรับแรงดึง FRP จำนวน 8 แกนที่ล้อมรอบเป็นวงกลมรอบเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อใช้มือดึงฉนวนส่วนของแกนรับแรงดึง FRP ไม่ได้รับแรงดึงด้วยจึงเกิดการยึดตัว เบื้องต้นแก้ไขปัญหาโดยวิธีแนะนำผู้เกี่ยวข้องให้ระมัดระวังการจับยึดสาย New Access OFC ให้อุปกรณ์จับยึดรับแรงดึงโครงสร้างสายทั้งเส้น



ภาพประกอบที่ 4.6 ทดลองฉนวนห่อหุ้มด้วยมือด้วยแรงดึงระดับหนึ่งฉนวนห่อหุ้มสาย New Access OFC ฉีกขาดร่นตัวออก

โครงสร้างสาย New Access OFC ต้นแบบออกแบบให้ฉนวนหุ้มภายนอกกับแกนรับแรงดึงแยกส่วนออกจากกันเพื่อความสะดวกในการปกฉนวนห่อหุ้ม จากปัญหาเรื่องฉนวนยึดเมื่อดึงด้วยมือได้แก้ไขโดยผลิตสายต้นแบบ New Access OFC ให้แกนรับแรงดึง FRP ทั้ง 8 แกนที่ล้อมรอบเป็นวงกลม

แบบสนิทกับฉนวนห่อหุ้ม LSZH ขึ้นมา 1 ม้วน (1,000 เมตร) เพื่อทดลองการรับแรงดึงในสถานการณ์ต่าง ๆ ก่อนออกเป็นข้อกำหนดต่อไป

ทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงสาย New Access OFC ตามมาตรฐาน ITU-G657A/A1 ชนิด Tight Buffer 900 μm กับสาย OFTK ตามภาพประกอบที่ 4.7 และ 4.8 ผลการทดลองไม่มีปัญหาในการเชื่อมต่อ ด้วยเหตุผลมาตรฐานเส้นใยแก้วนำแสงของต้นแบบสาย New Access OFC กับสาย OFC Round Type เดิมใช้มาตรฐานเดียวกัน



ภาพประกอบที่ 4.7 พื้นที่ บน.2.1 ทดลองเชื่อมต่อสาย New Access OFC ด้วยเครื่อง Fusion Splicer กับสายที่ใช้ในโครงข่าย ODN



ภาพประกอบที่ 4.8 พื้นที่ บน.1.2 ทดลองเชื่อมต่อสาย New Access OFC ด้วยเครื่อง Fusion Splicer กับสายที่ใช้ในโครงข่าย ODN

สาย New Access OFC ความยาวม้วนละ 1,000 เมตร สาย 1 ม้วนสามารถนำไปติดตั้งให้บริการ FTTx 3 ถึง 4 ราย (ความยาวสายของบริการ FTTx ประมาณ 300 เมตร/ลูกค้า) ขึ้นกับระยะของลูกค้าแต่ละราย สอบถามความพึงพอใจจากพนักงานติดตั้งบริการ FTTx ในขั้นตอนคลี่ปล่อยและพาดสาย ผลการทดลองติดตั้งที่ระยะ 400 เมตรมีความพึงพอใจกว่าสายชนิดเดิมที่เคยใช้งาน เนื่องจากสาย New Access OFC ที่ไม่มีสายสะพานรับแรงดึงโลหะเมื่อคลี่ปล่อยจากม้วนสายไม่มีการขดตัว



ภาพประกอบที่ 4.9 พาดวางสาย New Access OFC ด้วยเครื่องคลี่สาย

ประเทศไทยมีผู้ให้บริการโทรคมนาคมมากกว่า 20 ราย (พ.ศ. 2563) ผู้ให้บริการบางรายเช่าโครงข่ายสื่อสารแต่ส่วนมากจะมีโครงข่ายสื่อสารของตัวเอง บางพื้นที่ยังเพิ่มสายวงจรปิดหน่วยงานในพื้นที่สายสื่อสารกระจายเสียงท้องถิ่น ดังนั้นเสาไฟฟ้าแต่ละต้นจะมีสายสื่อสารจำนวนมากตามภาพประกอบที่ 4.9 เพื่อแยกแยะและจัดระเบียบสายสื่อสาร กฟน. กำหนดสีให้กับผู้เช่าพาดสายกับเสาของ กฟน. แต่ละรายเพื่อหาผู้รับผิดชอบ บมจ.ทีโอที ได้รับรหัสสีแดงเป็นสีควบคุม



ภาพประกอบที่ 4.10 สภาพสายสื่อสารที่ติดตั้งกับเสาไฟฟ้าของ กฟน.

อุปกรณ์จับยึด Deadends รับแรงดึงด้านเดียวและอุปกรณ์จับยึด Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้านสำหรับติดตั้งสาย New Access OFC ต้องสามารถติดตั้งกับเสาของ กฟน. ที่มีสายสื่อสารติดตั้งอยู่แล้วจำนวนมากได้



ภาพประกอบที่ 4.11 อุปกรณ์จับยึด Deadends รับแรงดึงด้านเดียว

อุปกรณ์จับยึด Deadends รับแรงดึงด้านเดียวต้นแบบผลิตจากเส้นลวด 2 และ 3 เส้น ผลการทดลองติดตั้งภาคสนามความสะดวกในการติดตั้งใกล้เคียงกัน ความมั่นใจในการจับยึดเส้นลวด 3 เส้นพนักงานมีความมั่นใจมากกว่าเส้นลวด 2 เส้น (จำนวนเส้นลวด 2 และ 3 เส้น ต้นทุนใกล้เคียงกัน) การคล้องเกี่ยวกับเสาไฟฟ้ายึดหยุนกว่า Dropwire Clamp ด้วยโครงสร้างอุปกรณ์จับยึด Deadends ที่สามารถคล้องกับหัว Nut หรือจุดจับยึดที่มั่นคงได้ตามภาพประกอบที่ 4.12 ภาพรวมพนักงานติดตั้งบริการ FTTx พึงพอใจในการใช้งานอุปกรณ์จับยึด Deadends ตำแหน่งติดตั้งสายเป็นแนวตรง ไม่เหมือนกับสาย Round Type OFC ที่มีสายจำนวนหนึ่งที่แยกออกจากสายสะพานม้วนงอ ณ ตำแหน่งเสาไฟฟ้า



ภาพประกอบที่ 4.12 ติดตั้งอุปกรณ์จับยึด Deadends รับแรงดึงด้านเดียว

อุปกรณ์จับยึด Deadends รับแรงดึงด้านและอุปกรณ์จับยึด Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองตำแหน่งติดตั้งล๊อสาย ADSS OFC เช่น ติดตั้ง Deadends รับแรงดึงด้านเดียวเสาต้นที่ 1 และ 6 ต้นที่ 2 ถึง 5 ติดตั้งด้วยอุปกรณ์ Tangent ที่รับแรงดึงสองด้าน เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 4.13 อุปกรณ์จับยึด Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้าน

เป้าหมายในการออกแบบอุปกรณ์จับยึด Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้านเพื่อลดต้นทุนในการติดตั้ง การรับแรงดึงอุปกรณ์จับยึด Deadends ที่เป็นจุดเบรกจะรับแรงดึงเต็มที่ขณะที่อุปกรณ์จับยึด Tangent ที่อยู่กลางเพียงประคองให้สาย New Access OFC ติดตั้งกับเสาไฟฟ้าเท่านั้น เพราะตำแหน่ง Tangent แรงดึงสาย New Access OFC ซ้ำขวาในทางทฤษฎีเท่ากัน ใกล้เคียงกับแนวทางปฏิบัติที่ระยะห่างเสาเท่ากันแรงดึงซ้ายขวาจะใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบที่ 4.14 สาย New Access OFC ที่จับยึดด้วย Tangent โค้งงอเปลี่ยนรูป



ภาพประกอบที่ 4.15 สาย New Access OFC ที่จับยึดด้วย Tangent

อุปกรณ์จับยึด Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้านออกแบบสำหรับจับยึดตำแหน่งกลางของสาย พื้นที่ขานเมืองที่ปริมาณสายสื่อสารน้อยไม่เจอปัญหาในการติดตั้งใช้งานแต่ในเขตเมืองที่มีปริมาณสายสื่อสารจำนวนมาก หากจุดคล้องเกี่ยวอุปกรณ์จับยึด Tangent กับ Bolt หรือตำแหน่งจับยึดที่เหมาะสมไม่ได้ การนำสาย New Access OFC มายึดเกาะกับอุปกรณ์จับยึด Tangent /O-ring ไม่สะดวก เมื่อต้องฝืนตำแหน่งและระยะจับยึดสาย New Access OFC โค้งงอเปลี่ยนรูปตามภาพประกอบที่ 4.14 **สรุปเบื้องต้นอุปกรณ์จับยึด Tangent ไม่เหมาะสมในการใช้งาน**

โครงสร้างสาย New Access OFC ที่ไม่มีโลหะเส้นใยแก้วนำแสงล้อมรอบด้วยแกน FRP เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 mm จำนวน 8 แกน คุณสมบัติแกน FRP ของสาย ADSS FRP OFC สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะ ดังนั้นโครงสร้างสาย New Access OFC น่าจะสามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้

ทดลองติดตั้งสาย New Access OFC สนามพื้นที่ บน.3.1 เขตตลิ่งชันที่มีกระรอกชุกชุม เพื่อเก็บข้อมูล เนื่องจากเขตนี้นาย Round Type OFC เดิมมีปัญหาสัตว์กัดแทะรุนแรงตามภาพประกอบที่ 4.16 ถ้าสาย New Access OFC สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ จะเพิ่มมูลค่าโครงการวิจัยนี้จาก

เป้าหมายเดิมออกแบบเพื่อแก้ปัญหา กพน. ห้ามติดตั้งสายสื่อสารที่มีโลหะกับเสาของ กพน. อย่างเดียว เป็นสามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ด้วย



ภาพประกอบที่ 4.16 ติดตั้งสาย New Access OFC พื้นที่กระรอกชุกชุมทดลองการป้องกันสัตว์กัดแทะ

การเดินสาย New Access OFC ภายในอาคาร พนักงานจับยึดด้วยอุปกรณ์จับยึด Deadends คล้ายจับยึดกับเสาไฟฟ้า หรือจับยึดด้วยคลิปยึดสายไฟฟ้าตามภาพประกอบที่ 4.17 จากการสอบถามพนักงานอุปกรณ์ Deadends ไม่มีปัญหาในการจับยึด แต่คลิปยึดสายไฟฟ้าเดิมที่จับยึดสาย Round Type OFC ได้พอดี แต่เมื่อประยุกต์นำมาจัดยึดสาย New Access OFC ตำแหน่งจับยึดมีช่องว่างต้องหาวิธีจับยึดตำแหน่งหัวท้ายให้มั่นคง แก้ปัญหาโดยวิธีหาคลิปยึดสายที่เหมาะสม



ภาพประกอบที่ 4.17 ติดตั้งสาย New Access OFC ภายในอาคาร

หลังเชื่อมต่อและติดตั้งสาย New Access OFC กับเสาไฟฟ้าทดสอบสัญญาณแสง ณ ปลายทางตำแหน่งติดตั้ง ONU (Optical Network Unit) ของบริการ FTTx ด้วยเครื่องมือ OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) ตามภาพประกอบที่ 4.18 ค่า Loss ผ่านมาตรฐานที่กำหนด



ภาพประกอบที่ 4.18 บริการ FTTx ที่ใช้สาย New Access OFC ค่า Loss ได้ตามมาตรฐาน

โดยสรุปสาย New Access OFC การปกถนนง่ายกว่าสาย Round Type OFC การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์โครงข่าย ODN ไม่มีปัญหาด้วยเหตุผลเส้นใยแก้วนำแสงใช้มาตรฐานเดียวกับสายที่ใช้ งานอยู่เดิม อุปกรณ์จับยึด Deadends รับแรงดึงด้านเดียวเส้นลวด 2 เส้นและ 3 เส้นมีความสะดวกใน การติดตั้งใกล้เคียงกันแต่พนักงานมันเส้นลวด 3 เส้นมากกว่า อุปกรณ์จับยึด Tangent ติดตั้งจุดกลางรับ แรงดึงสองด้านไม่เหมาะสมกับการใช้งาน การเดินสายภายในอาคารคลิปปิดสายเดิมมีช่องว่างจุดจับยึด ไม่มั่นคงต้องหาขนาดคลิบที่เหมาะสม สัญญาณแสงข่ายสาย ODN ที่ใช้สาย New Access OFC ผ่าน มาตรฐานที่กำหนด เบื้องต้นการติดตั้งใช้งานพนักงานที่ร่วมโครงการทดลองพึงพอใจ ก่อนออก ข้อกำหนดสาย New Access OFC ควรจัดเก็บข้อมูลผลการใช้งานให้ครบ 1 ปีเพื่อให้ครอบคลุมทุก ฤดูกาลหรือตามระยะเวลาที่ กพน. ผ่อนผัน

บทที่ 5.

สรุป

การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ออกหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารปี พ.ศ. 2563 ห้ามแขวนสายสื่อสารทุกชนิดที่มีโครงสร้างโลหะกับเสาของ กฟน. ส่งผลกระทบต่อโครงข่าย ODN (Optical Distribution Network) ระบบ FTTx (Fiber to the x) ของ บมจ.ทีโอที ในส่วนของ Access OFC ที่ใช้สายชนิด Optical Fiber Drop Cable (Round Type) (Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F) ซึ่งใช้เส้นลวดโลหะเป็นสายสะพานรับแรงดึง

จากปัญหาข้างต้น บมจ.ทีโอที แต่งตั้งคณะทำงานตามคำสั่ง บมจ.ทีโอที ที่ ต.5/2561 “คณะทำงานดำเนินการพิจารณาหลักเกณฑ์ เงื่อนไข ข้อบังคับ และระเบียบวิธีปฏิบัติต่าง ๆ ของการไฟฟ้านครหลวง” โดยมี นายอนุรุต อุทัยรัตน์ รจญ.น. (รองกรรมการผู้จัดการใหญ่หน่วยธุรกิจขายและบริการลูกค้านครหลวง) เป็นหัวหน้าคณะทำงาน มอบหมายให้สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) ศึกษาวิจัย ออกแบบสายกระจาย และ/หรือ หาแนวทางแก้ไขปัญหารองรับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารปี พ.ศ. 2563 ของ กฟน.

นฐ. ได้รับความอนุเคราะห์จากคณาจารย์มหาวิทยาลัยมหานคร ที่มีความโดดเด่นทางวิชาการสาขาไฟเบอร์ออปติก จากธุรกิจเคมีคอลส์ เอสซีจี ที่มีความโดดเด่นเกี่ยวกับวัตถุดิบต้นน้ำในการสายการผลิตสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable) โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ บริษัทไฟเบอร์ ออปติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM) ที่ร่วมศึกษาวิจัยหาแนวทางแก้ไขในครั้งนี้

แนวทางวิจัยเริ่มจากรวบรวมข้อมูลการติดตั้งใช้งานสาย Access OFC ที่ บมจ.ทีโอที ใช้งาน และกลุ่มบริษัทที่ให้บริการโทรคมนาคมในประเทศไทยใช้งาน เปรียบเทียบกับสาย Access OFC ที่ใช้งานในต่างประเทศว่ามีประเทศใดที่ใช้สาย Access OFC โครงสร้างไม่มีโลหะบ้างใช้อุปกรณ์จับยึดชนิดใด ก่อนสรุปผลวิเคราะห์ข้อมูล ออกแบบสาย Access OFC โครงสร้างไม่มีโลหะหรือคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม ทดลองในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ก่อนสรุปผลจัดทำรายงานวิจัยนำเสนอผู้บริหารเพื่อพิจารณากำหนดมาตรฐาน บมจ.ทีโอที ต่อไป

สรุปผลวิเคราะห์ข้อมูลโครงการวิจัยนี้ออกแบบสาย OFC Round Type ชนิดไม่มีโลหะ ทดแทนสายที่ใช้งานเดิม รับแรงดึงแบบทำลาย $\geq 1600 N$ (ค่าจากการทดสอบ) ค่าแรงดึงแนวนอนสายเดิมที่คำนวณจากน้ำหนักสาย $\geq 300 N$ ที่ระยะห่างเสา 40 เมตรอ้างอิงในการออกแบบ

วัสดุรับแรงดึงที่ไม่ใช่โลหะในตลาดอุตสาหกรรมมีหลายชนิด เช่น FRP (Fiber-Reinforced Polymer), GFRP (Glass Fiber-Reinforced Polymer) และ AFRP/KFR (Aramid/Kevlar Fiber-

Reinforced Polymer) จากคุณสมบัติที่สามารถโค้งงอได้ดีรับแรงดึงได้สูง น้ำหนักเบา มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและราคาเหมาะสม

ร่างต้นแบบคำนวณการรับแรงดึงจำลอง (Simulate) ศึกษาผลกระทบจากสภาพแวดล้อมในการใช้งานสาย New Access OFC รวม 4 Version มีรายละเอียดดังนี้ ต้นแบบ Version 1. ผลิตสายต้นแบบทดสอบ ณ โรงงานผู้ผลิต ผลการทดสอบไม่ผ่านการทดสอบการรับแรงดึง ต้นแบบ Version 2. ร่างแบบไม่ผ่านการพิจารณา (ไม่มีการผลิตสายต้นแบบ) ต้นแบบ Version 3. ผลิตสายต้นแบบเพื่อทดสอบเบื้องต้นที่โรงงานผู้ผลิตและสถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) ผลการทดสอบผ่านการทดสอบการรับแรงดึง แต่เมื่อทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงต่างชนิดไม่สามารถเชื่อมต่อได้ และต้นแบบ Version 4. ผลิตสายต้นแบบเพื่อทดสอบเบื้องต้นที่โรงงานผู้ผลิตและ นฐ. ผลการทดสอบผ่านการทดสอบทุกหัวข้อตามเกณฑ์ที่กำหนด ทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงต่างชนิดสามารถเชื่อมต่อได้ตามมาตรฐาน

สายต้นแบบ New Access OFC Version 4. นำแนวคิดโครงสร้างสายเคเบิล ADSS FRP OFC มาย่อส่วน กำหนดค่ารับแรงดึงใช้งาน $\geq 300N$ วัสดุรับแรงดึงผลิตจากแกน FRP สามารถลดต้นทุนในการผลิตเฉพาะวัสดุรับแรงดึงลงได้ 10-30% ทดสอบการลามไฟ การโค้งงอผลการทดสอบผ่านตามมาตรฐานทุกหัวข้อทดสอบ

ทดลองเชื่อมต่อสายต้นแบบ New Access OFC Version 4. กับสาย Pigtail Optical Fiber สายของอุปกรณ์ OFTK ด้วยอุปกรณ์ Holder จับสายขนาด 3.50 mm จุดเชื่อมต่อค่า Loss ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

คัดเลือกอุปกรณ์จับยึดแบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลมและอุปกรณ์จับยึดแบบ Deadends รับแรงดึงด้านเดียวและอุปกรณ์ Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้านเพื่อเก็บข้อมูลภาคสนาม

ได้งบประมาณที่ได้รับการสนับสนุนจากท่านรองฯ เพื่อทดลองติดตั้งต้นแบบสาย New Access OFC ภาคสนาม 3 สนาม ๆ ละ 30 ม้วน ความยาวม้วนละ 1,000 เมตร รวม 90 ม้วน (90,000 เมตร) อุปกรณ์ติดตั้งกำหนดไว้ 2 รูปแบบ รูปแบบแรกใช้อุปกรณ์จับยึดแบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลมที่มีจำหน่ายในท้องตลาด รูปแบบที่สองใช้อุปกรณ์จับยึด Deadends รับแรงดึงด้านเดียวและอุปกรณ์ Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้านที่ออกแบบมาเฉพาะ

ก่อนติดตั้งใช้งานได้ประสานงานหน่วยงานภาคสนาม บน.1.2 บน.2.1 และ บน.3.1 ก่อนทดลองติดตั้งได้เรียนเชิญผู้เชี่ยวชาญร่วมประชุมเพื่อนำเสนอภาพรวมโครงการวิจัยสาย New Access OFC V.4 ตอบข้อซักถามและวิธีการเก็บข้อมูล ก่อนทดลองติดตั้งสาย New Access OFC Version. 4

เนื่องจากอุปกรณ์จับยึดแบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลมที่จัดซื้อจากท้องตลาดเพื่อมาทดลองติดตั้งพบปัญหาหาค่าสูง 15 ถึง 30 บาทต่อชิ้น ราคาขึ้นกับจำนวนสั่งซื้อและชนิดวัสดุที่นำมาผลิต เช่น แสตนเลส อลูมิเนียมอัลลอย หรือพลาสติก เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบราคากับอุปกรณ์ Dropwire

Clamp เดิมที่มีราคาเพียง 4 ถึง 5 บาทต่อชิ้นเท่านั้น อุปกรณ์จับยึดแบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลมในตลาดมีราคาสูงมากอาจกระทบต่อการแข่งขันด้านต้นทุนกับผู้ให้บริการรายอื่น

จากปัญหาเรื่องราคาอุปกรณ์จับยึดแบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลม คณะทำงานได้ออกแบบอุปกรณ์ใหม่รองรับสาย New Access OFC ขึ้นมาเฉพาะเป้าหมายกำหนดราคาต้องใกล้เคียงอุปกรณ์ Dropwire Clamp เดิม เมื่อได้รูปแบบที่ชัดเจนจะผลิตต้นแบบทดสอบในห้องปฏิบัติการก่อนนำมาทดสอบภาคสนามซึ่งไม่ทันการทดลองภาคสนามครั้งแรก (Phase 1)

ดังนั้นการทดลองติดตั้งต้นแบบสาย New Access OFC ภาคสนามครั้งแรก ติดตั้งด้วยอุปกรณ์จับยึดแบบ Deadends รับแรงดึงด้านเดียวและ Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้านเพียงรูปแบบเดียว

สอบถามพนักงานที่ร่วมในติดตั้งได้ผลสรุปเบื้องต้นการปกเปลือกลาย New Access OFC Version. 4 ง่ายกว่าสาย OFC Round Type เดิม ไม่มีปัญหาในการเชื่อมต่อ เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงเป็นชนิด Tigth Buffter 900 ตามมาตรฐาน ITU-G657A/A1 เหมือนสาย OFC Round Type เดิม การติดตั้งสาย New Access OFC Version. 4 ตำแหน่งจับยึดสายสวยงามไม่มีสายตกท้องช้าง เมื่อจับยึดสายจำนวนมากกลุ่มอุปกรณ์จับยึดมีขนาดเล็กกว่า

การจับยึดด้วยอุปกรณ์จับยึดแบบลิ้มมีร่องกลางรองรับสายแบบกลม ขึ้นตอนในการสอดสาย ฯ ในร่องของอุปกรณ์ ฯ ยังไม่เคยชินเรื่องกำหนดระยะจับ แต่ไม่เป็นอุปสรรคในการปฏิบัติงาน อุปกรณ์จับยึดแบบ Deadends รับแรงดึงด้านเดียวและอุปกรณ์ Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้าน มีปัญหาตำแหน่งจับยึดกับเสาของ กพน. บางตำแหน่งไม่มีจุดจับยึดต้องดัดแปลง เช่น ต้องยึดเสริมด้วยเส้นลวดหรือวัสดุเสริม ส่วนการกำหนดระยะจับมีปัญหาคล้ายกัน

ทีมงานติดตั้งบางทีมเจอปัญหาเมื่อทดลองดึงเปลือกด้วยมือ (ทดลองก่อนติดตั้งสายจริง) เปลือกฉีกขาดร่นออกจากกัน ด้วยเหตุผลตอนออกแบบกำหนดให้แกนรับแรงดึง FRP จำนวน 8 แกนที่ล้อมรอบเป็นวงกลมกับเปลือกห่อหุ้มที่ผลิตจาก LSZH (Low Smoke Zero Halogen) แยกออกจากกันเพื่อความสะดวกในการปกเปลือก เพื่อวิเคราะห์ปัญหาได้สั่งผลิตสายต้นแบบ New Access OFC V. 4 ให้แกนรับแรงดึง FRP ทั้ง 8 แกนที่ล้อมรอบเป็นวงกลมแนบสนิทกับเปลือกห่อหุ้ม LSZH ขึ้นมา 1 ม้วน (1,000 เมตร) เพื่อทดลองการรับแรงดึงในสถานการณ์ต่าง ๆ

โดยสรุปสาย New Access OFC การปกฉนวนง่ายกว่าสาย Round Type OFC การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์โครงข่าย ODN ไม่มีปัญหาด้วยเหตุผลเส้นใยแก้วนำแสงใช้มาตรฐานเดียวกับสายที่ใช้ งานอยู่เดิม อุปกรณ์จับยึด Deadends รับแรงดึงด้านเดียวเส้นลวด 2 เส้นและ 3 เส้นมีความสะดวกในการติดตั้งใกล้เคียงกันแต่พนักงานมันเส้นลวด 3 เส้นมากกว่า อุปกรณ์จับยึด Tangent ติดตั้งจุดกลางรับแรงดึงสองด้านไม่เหมาะสมกับการใช้งาน การเดินสายภายในอาคารคลิบยึดสายเดิมมีช่องว่างจุดจับยึดไม่มั่นคงต้องหาขนาดคลิบที่เหมาะสม สัญญาณแสงข่ายสาย ODN ที่ใช้สาย New Access OFC ผ่านมาตรฐานที่กำหนด เบื้องต้นการติดตั้งใช้งานพนักงานที่ร่วมโครงการทดลองพึงพอใจ ก่อนออก

ข้อกำหนดสาย New Access OFC ควรจัดเก็บข้อมูลผลการใช้งานให้ครบ 1 ปีเพื่อให้ครอบคลุมทุก
ฤดูกาลหรือตามระยะเวลาที่ กฟน. ผ่อนผัน

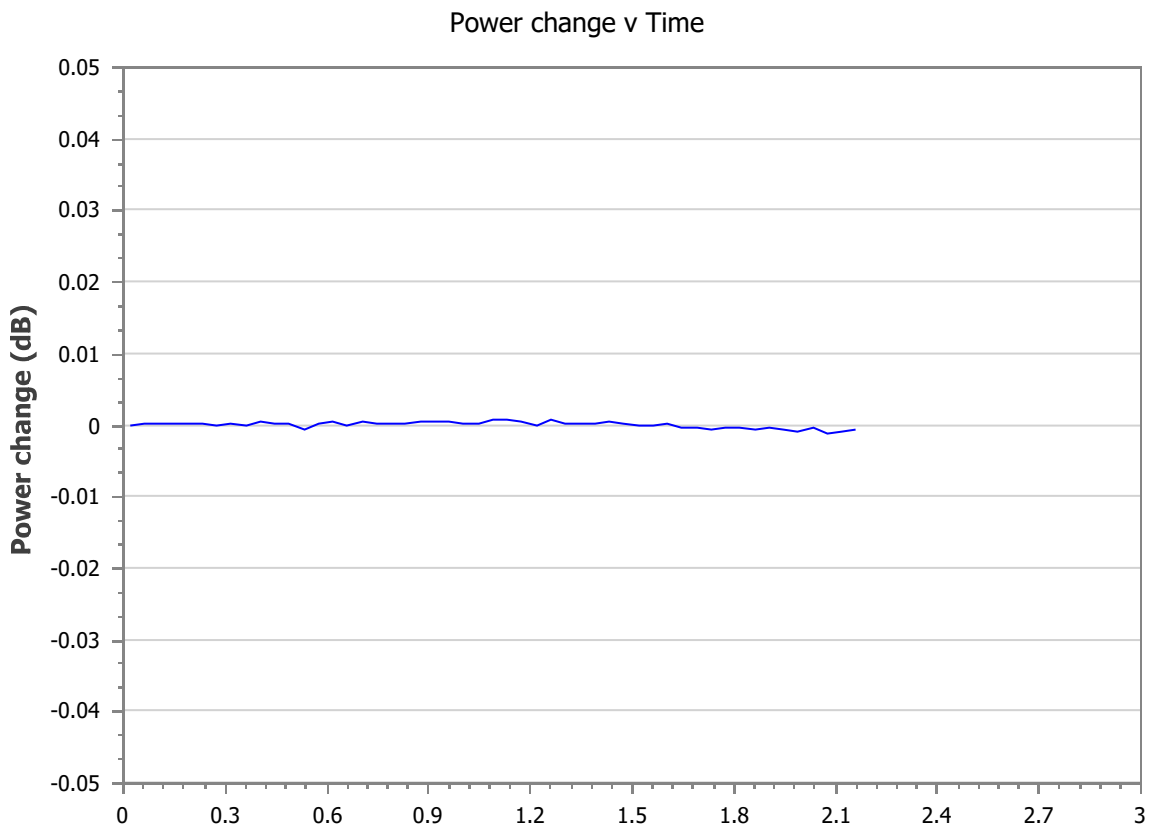
ภาคผนวก

ผลทดสอบต้นแบบสาย New Access OFC Version 4.

PE.fiberoptics Strain

Date of measurement 07/20/2020 at 16:2:2
Fiber length 1.0m
Fiber ID F62007028082
Message GJFXH-1F
Operator 02
Test file bending

System ID 45701
Repetition rate 1.0s Group Index 1.4681
Wavelength 1550 nm Correction 0.8

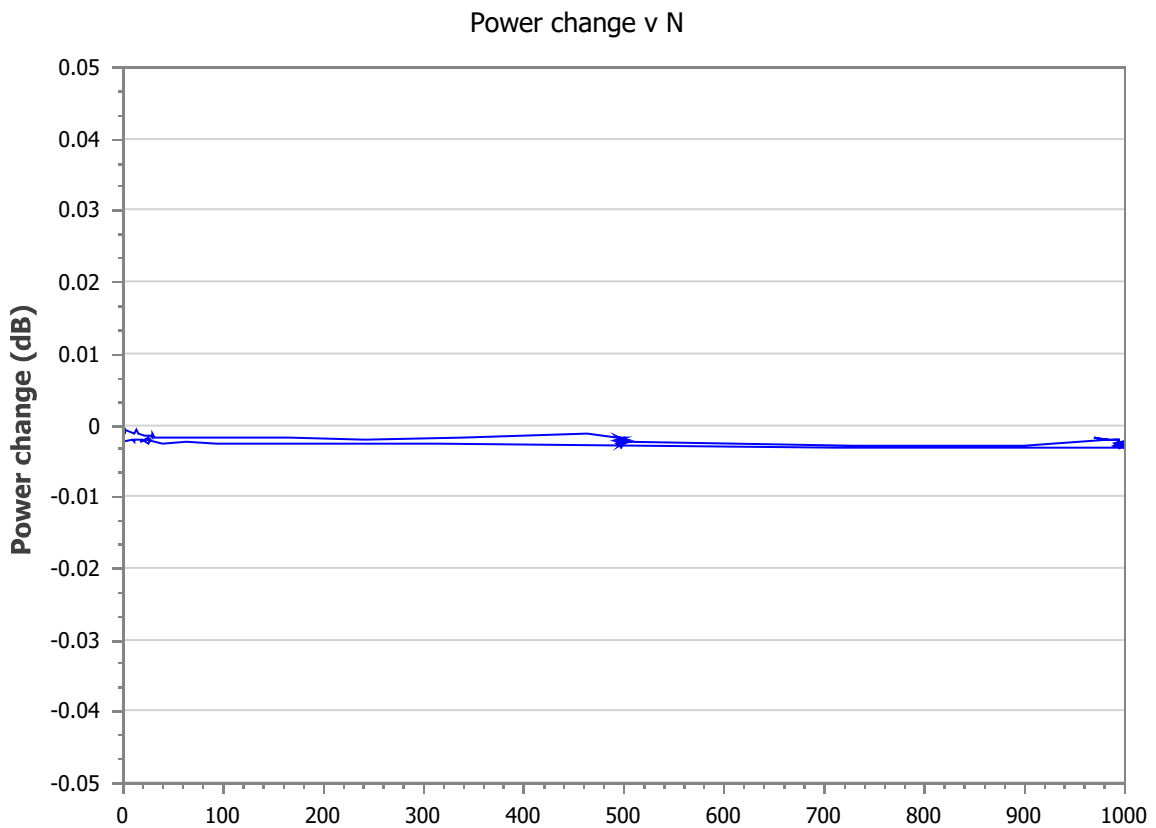


Fiber 2
SWITCH PATH 2. Fiber 2

Power	Minimum	-0.001dB at 0:1:1	Maximum	0.001dB at 0:0:32
Strain	Minimum	-0.034% at 0:0:5	Maximum	0.030% at 0:0:15
Length	Minimum	-0.3mm at 0:0:5	Maximum	0.3mm at 0:0:15
Delay	Minimum	-1.3ps at 0:0:5	Maximum	1.2ps at 0:0:15

PE.fiberoptics Strain

Date of measurement	07/20/2020 at 15:42:41		
Fiber length	0.1m		
Fiber ID	F62007028082		
Message	GJFXH-1F		
Operator	02		
Test file	crush		
System ID	45701	Group Index	1.4681
Repetition rate	1.0s	Correction	0.8
Wavelength	1550 nm		



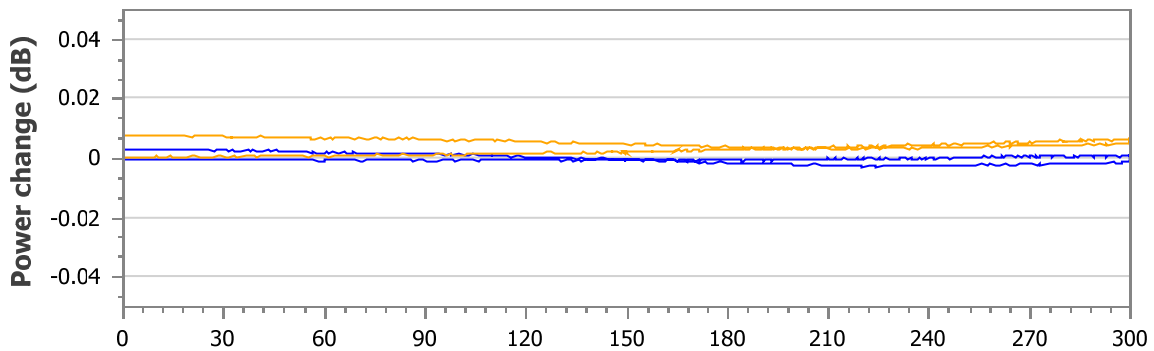
ber 2
SWITCH PATH
2. Fiber 2
-0.003dB at
0:00:00:00:7
0:1:45

PE.fiberoptics Strain

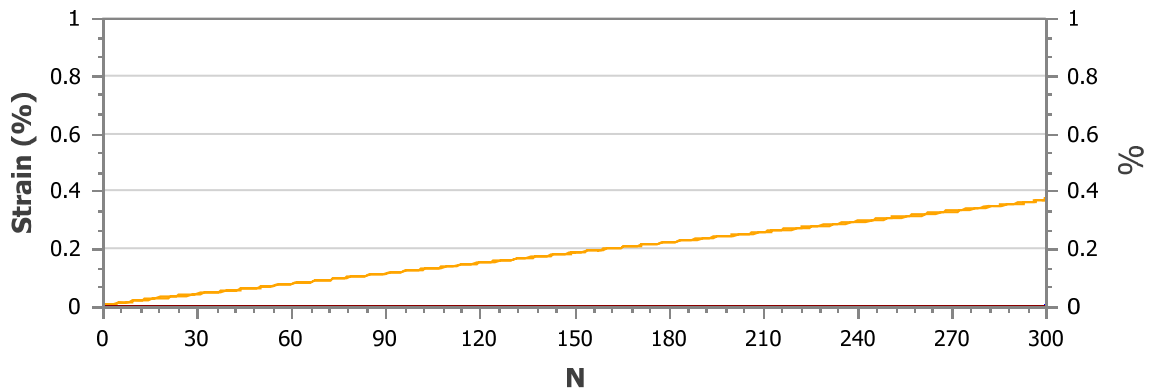
Date of measurement 07/20/2020 at 14:58:15
 Fiber length 56.4m
 Fiber ID F62007028082
 Message GJFXH-1F
 Operator 02
 Test file tensile

System ID 45701
 Repetition rate 1.0s
 Wavelength 1550 nm
 Group Index 1.4681
 Correction 0.8

Power change v N



Strain v N



■ Fiber 1
■ Fiber 2
■ %

SWITCH PATH 1. Fiber 1

Power	Minimum	-0.003dB at 0:12:36	Maximum	0.003dB at 0:16:23
Strain	Minimum	0.000% at 0:0:52	Maximum	0.004% at 0:9:53
Length	Minimum	-0.1mm at 0:0:52	Maximum	2.0mm at 0:9:53
Delay	Minimum	-0.3ps at 0:0:52	Maximum	8.0ps at 0:9:53
External X	Minimum	0.088 N at 0:0:5.	Maximum	300.218 N at 0:10:28.
External Y	Minimum	0.000 % at 0:5:49.	Maximum	0.001 % at 0:12:25.

SWITCH PATH 2. Fiber 2

Power	Minimum	-0.001dB at 0:0:1	Maximum	0.008dB at 0:16:15
Strain	Minimum	0.000% at 0:0:2	Maximum	0.372% at 0:10:43
Length	Minimum	0.0mm at 0:0:2	Maximum	209.9mm at 0:10:43
Delay	Minimum	0.0ps at 0:0:2	Maximum	822.3ps at 0:10:43
External X	Minimum	0.088 N at 0:0:5.	Maximum	300.218 N at 0:10:28.

PerkinElmer optoelectronics

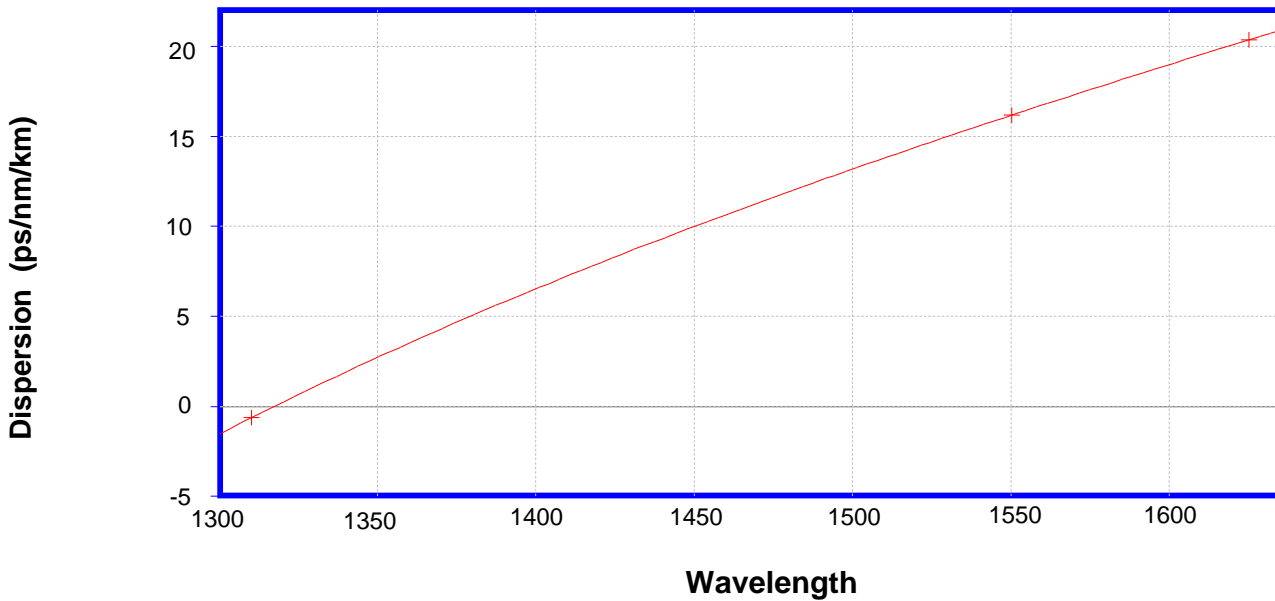
CD400 Chromatic Dispersion Results

Date of measurement :22 July 2020 at 08:42:29
 System ID :26111
 Fiber length :1.165 km
 Fiber ID :F62007028007
 Message :GJFXH-1F

Operator :02
 Test file :[5] TOT(3)
 Results file name :Not stored
 Start power :44.076dB at 1308.0nm
 End power :44.049dB at 1308.0nm
 Loss through fiber :3.613dB

MEASUREMENT REFERENCED TO AIR

SINGLE MODE CHROMATIC DISPERSION



Data fit :Differentiated 5 Term Sellmeier
 Lambda Zero :1314.667nm
 Slope :0.0892ps.nm⁻².km⁻¹
 S.E.E. :0.000ps/nm/km
 Coefficient A :1.22053e-002 ps/nm²/km
 Coefficient B :-3.15547e+010 ps.nm²/km
 Coefficient C :2.48411e-009 ps/nm⁴/km
 Coefficient D :-3.15733e+016 ps.nm⁴/km

Wavelength nm	Dispersion ps/nm/km	Time delay ps/km
1310.000	-0.510	0.000
1550.000	16.198	1861.329
1625.000	20.137	3250.270

PerkinElmer optoelectronics

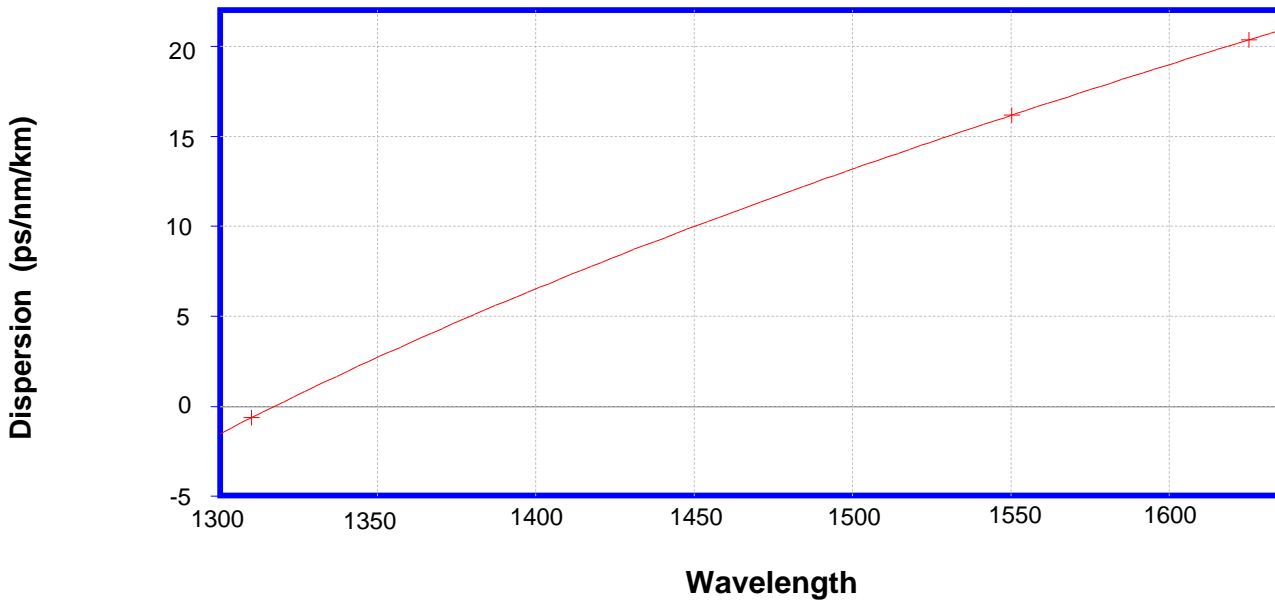
CD400 Chromatic Dispersion Results

Date of measurement :22 July 2020 at 09:21:02
 System ID :26111
 Fiber length :1.153 km
 Fiber ID :F62007028040
 Message :GJFXH-1F

Operator :02
 Test file :[5] TOT(3)
 Results file name :Not stored
 Start power :44.067dB at 1308.0nm
 End power :44.047dB at 1308.0nm
 Loss through fiber :3.74dB

MEASUREMENT REFERENCED TO AIR

SINGLE MODE CHROMATIC DISPERSION



Data fit :Differentiated 5 Term Sellmeier
 Lambda Zero :1316.18nm
 Slope :0.0888ps.nm⁻².km⁻¹
 S.E.E. :0.000ps/nm/km
 Coefficient A :1.22027e-002 ps/nm²/km
 Coefficient B :-3.15748e+010 ps.nm²/km
 Coefficient C :2.48604e-009 ps/nm⁴/km
 Coefficient D :-3.15706e+016 ps.nm⁴/km

Wavelength nm	Dispersion ps/nm/km	Time delay ps/km
1310.000	-0.615	0.000
1550.000	16.499	1909.614
1625.000	20.262	3293.675

PerkinElmer optoelectronics

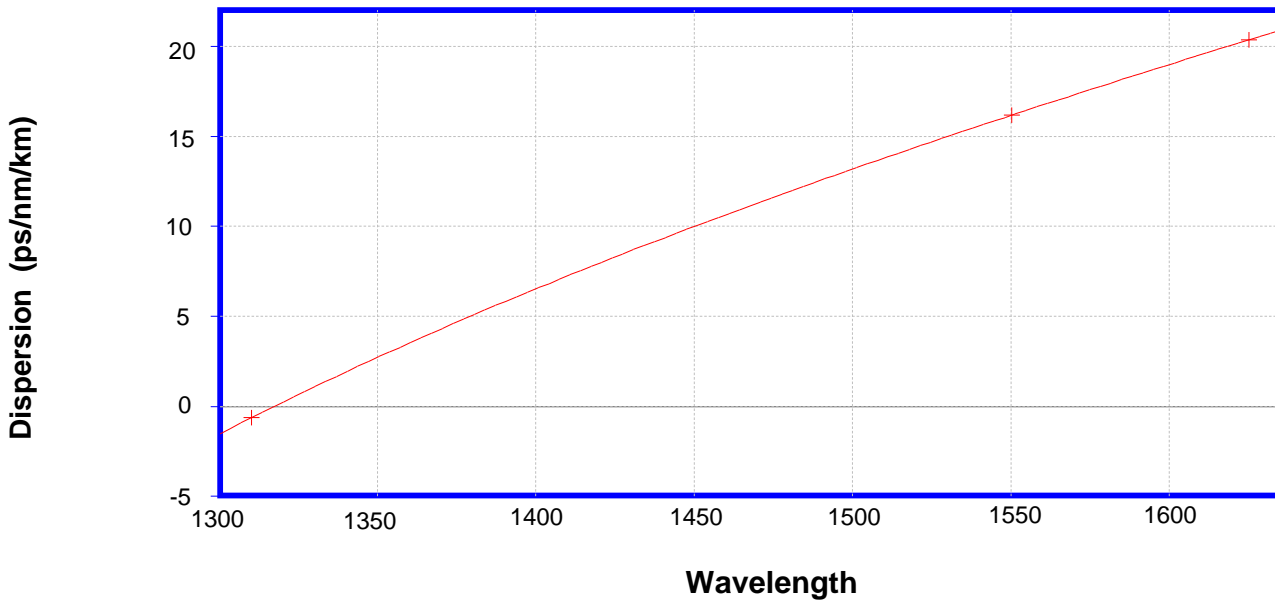
CD400 Chromatic Dispersion Results

Date of measurement :22 July 2020 at 10:07:37
 System ID :26111
 Fiber length :1.155 km
 Fiber ID :F62007028056
 Message :GJFXH-1F

Operator :02
 Test file :[5] TOT(3)
 Results file name :Not stored
 Start power :44.081dB at 1308.0nm
 End power :44.022dB at 1308.0nm
 Loss through fiber :2.78dB

MEASUREMENT REFERENCED TO AIR

SINGLE MODE CHROMATIC DISPERSION



Data fit :Differentiated 5 Term Sellmeier
 Lambda Zero :1317.391nm
 Slope :0.0894ps.nm⁻².km⁻¹
 S.E.E. :0.000ps/nm/km
 Coefficient A :1.22043e-002 ps/nm²/km
 Coefficient B :-3.15578e+010 ps.nm²/km
 Coefficient C :2.48395e-009 ps/nm⁴/km
 Coefficient D :-3.15343e+016 ps.nm⁴/km

Wavelength nm	Dispersion ps/nm/km	Time delay ps/km
1310.000	-0.444	0.000
1550.000	16.211	1897.053
1625.000	20.200	3204.571

PerkinElmer optoelectronics

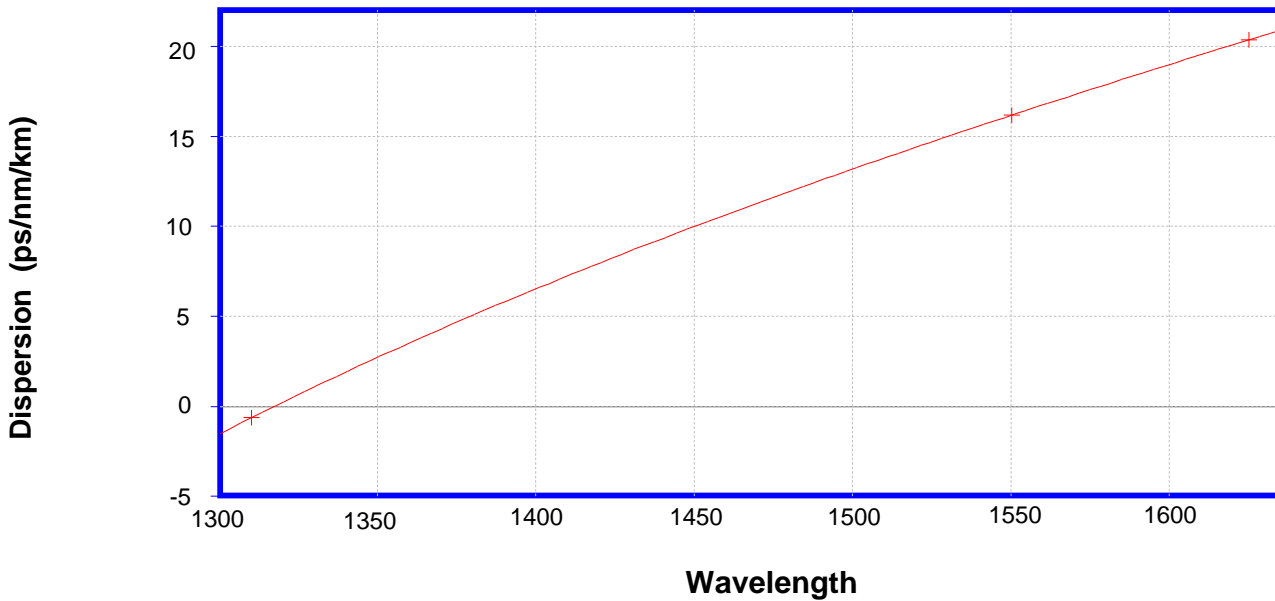
CD400 Chromatic Dispersion Results

Date of measurement :22 July 2020 at 10:40:06
System ID :26111
Fiber length :1.159 km
Fiber ID :F62007028071
Message :GJFXH-1F

Operator :02
Test file :[5] TOT(3)
Results file name :Not stored
Start power :44.06dB at 1308.0nm
End power :44.031dB at 1308.0nm
Loss through fiber :2.814dB

MEASUREMENT REFERENCED TO AIR

SINGLE MODE CHROMATIC DISPERSION



Data fit :Differentiated 5 Term Sellmeier
Lambda Zero :1317.08nm
Slope :0.0896ps.nm⁻².km⁻¹
S.E.E. :0.000ps/nm/km
Coefficient A :1.22035e-002 ps/nm²/km
Coefficient B :-3.15337e+010 ps.nm²/km
Coefficient C :2.4864e-009 ps/nm⁴/km
Coefficient D :-3.15777e+016 ps.nm⁴/km

Wavelength nm	Dispersion ps/nm/km	Time delay ps/km
1310.000	-0.586	0.000
1550.000	16.464	1882.680
1625.000	20.453	3203.133

PerkinElmer optoelectronics

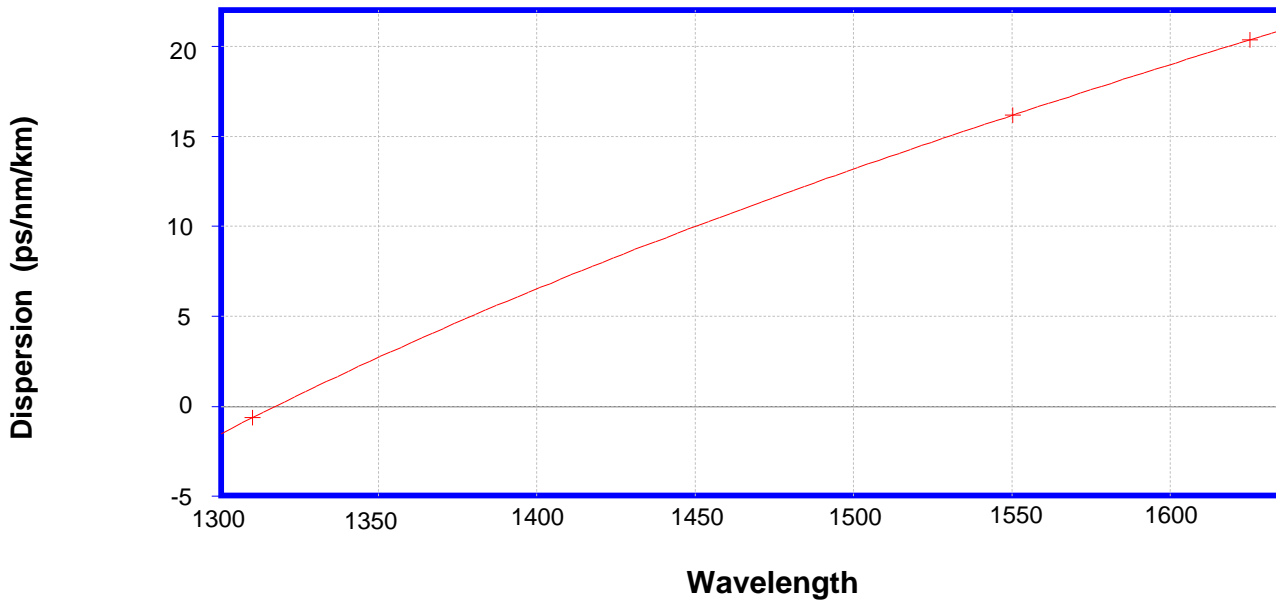
CD400 Chromatic Dispersion Results

Date of measurement :22 July 2020 at 11:21:35
 System ID :26111
 Fiber length :1.166 km
 Fiber ID :F62007028084
 Message :GJFXH-1F

Operator :02
 Test file :[5] TOT(3)
 Results file name :Not stored
 Start power :44.082dB at 1308.0nm
 End power :44.053dB at 1308.0nm
 Loss through fiber :3.467dB

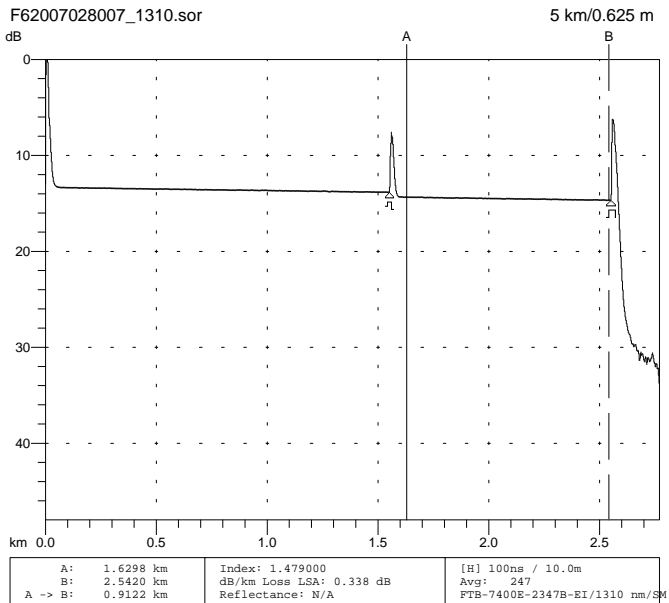
MEASUREMENT REFERENCED TO AIR

SINGLE MODE CHROMATIC DISPERSION

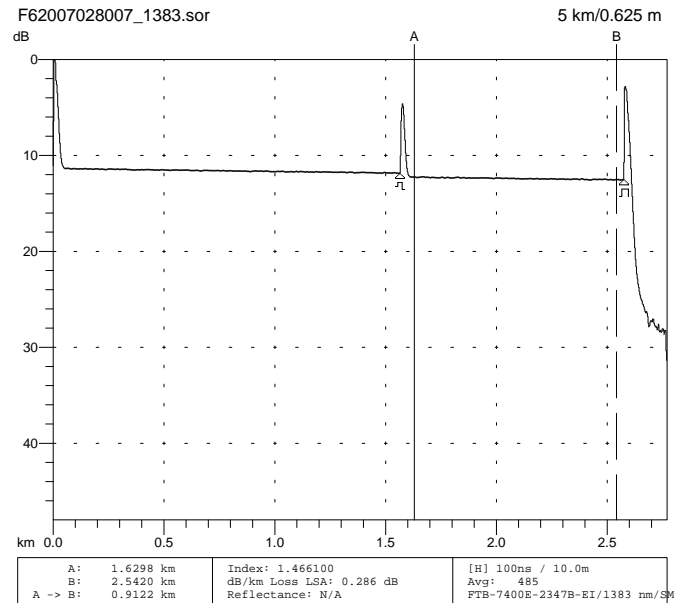


Data fit :Differentiated 5 Term Sellmeier
 Lambda Zero :1315.318nm
 Slope :0.0907ps.nm⁻².km⁻¹
 S.E.E. :0.000ps/nm/km
 Coefficient A :1.22038e-002 ps/nm²/km
 Coefficient B :-3.15321e+010 ps.nm²/km
 Coefficient C :2.48558e-009 ps/nm⁴/km
 Coefficient D :-3.15417e+016 ps.nm⁴/km

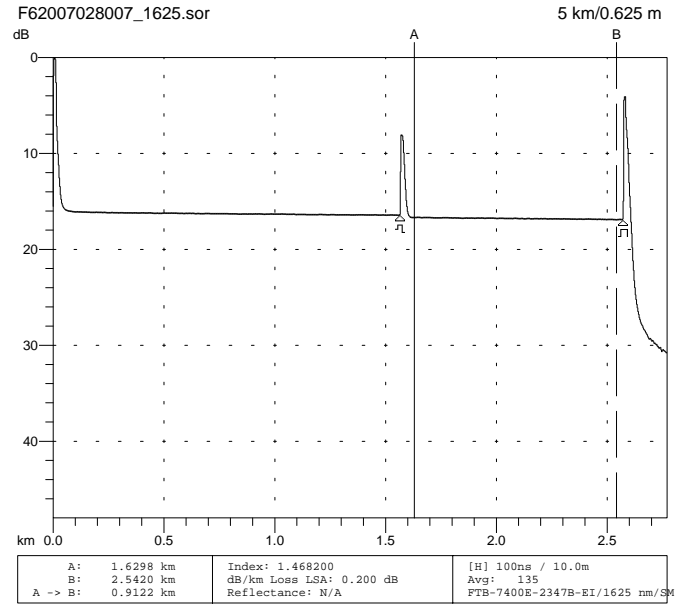
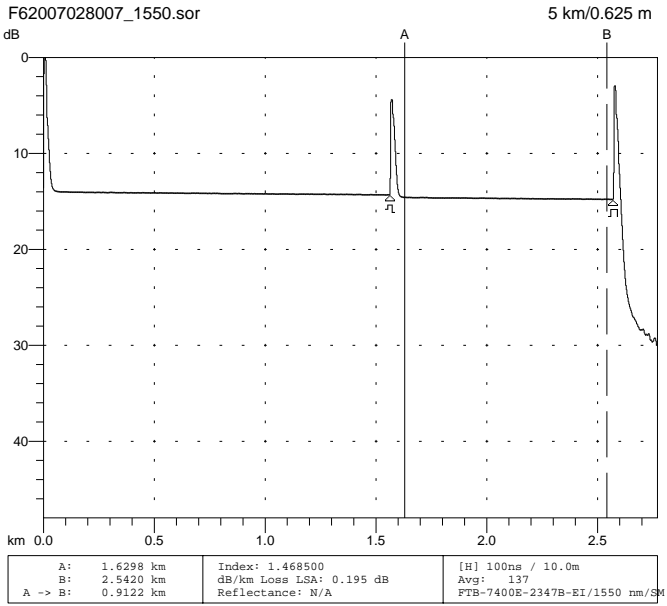
Wavelength nm	Dispersion ps/nm/km	Time delay ps/km
1310.000	-0.573	0.000
1550.000	16.487	1877.869
1625.000	20.298	3191.707



Primary Trace: F62007028007_1310.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:29 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.479000
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1310 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 247
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -79.40 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 39.83 dB [O] [0.00,2.55]



Primary Trace: F62007028007_1383.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:29 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.466100
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1383 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 485
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -80.20 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 40.55 dB [O] [0.00,2.57]



Primary Trace: F62007028007_1550.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:29 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468500
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1550 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 137
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -81.90 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.13 dB [O] [0.00,2.57]

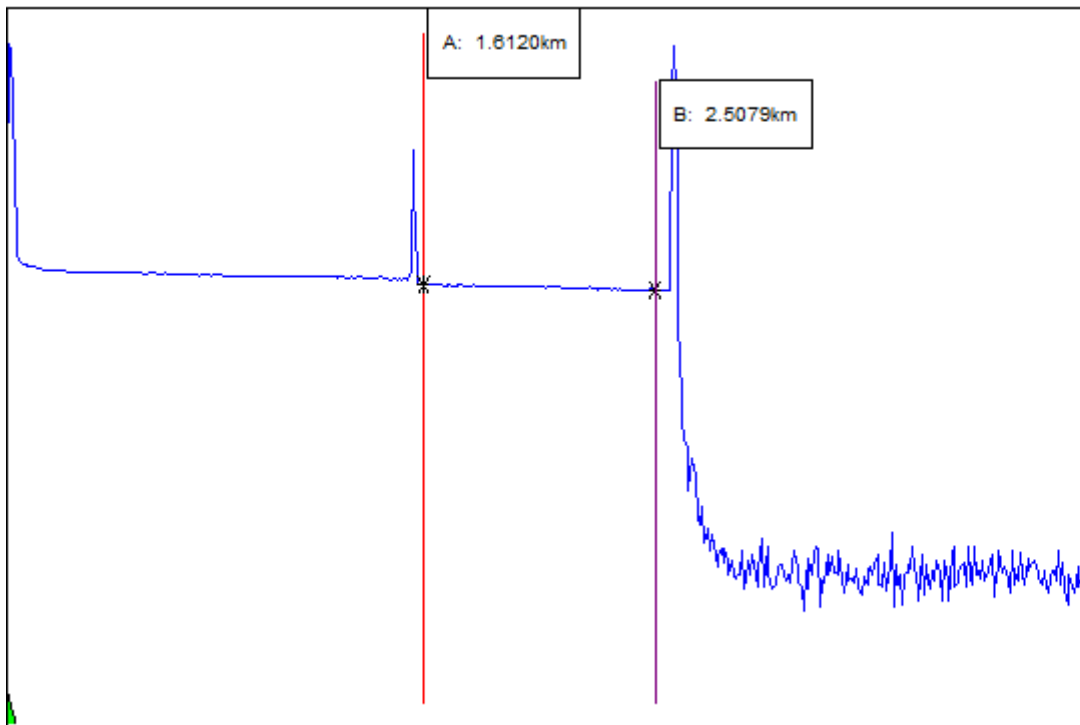
Primary Trace: F62007028007_1625.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:29 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468200
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1625 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 135
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -82.60 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.86 dB [O] [0.00,2.57]



AV6418 OTDR 测试报告

波长: 1490 nm
脉宽: 160 ns
平均次数: 0
光缆修正: 1.00000
测试日期: 2020.07.20 15:15:33
文件名: H:\F62007028007.EI

量程: 8 km
衰减: 15 dB
折射率: 1.46800
测试类型: 标准

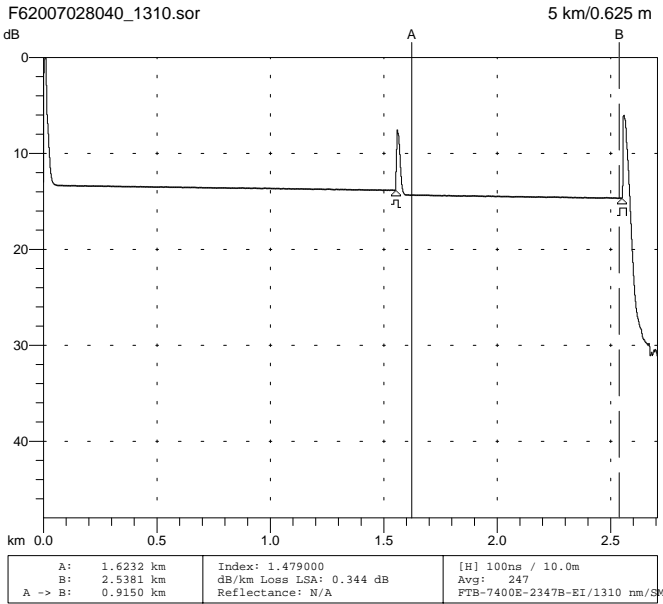


A-B间距离: 0.8959 km
A-B间平均损耗: 0.225 dB/km
连接损耗:

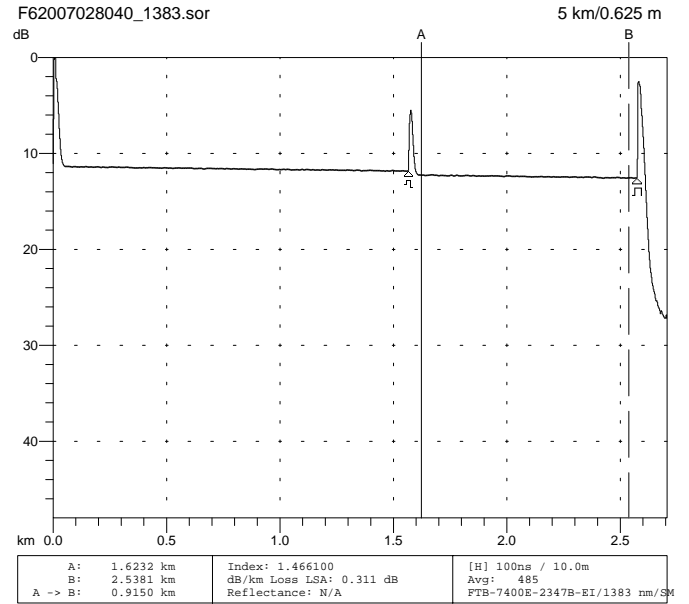
A-B间损耗: 0.176 dB
反射损耗:

光缆标识: CID
光缆代码: CCD
起点位置: Start
测试评语: Comment
操作者: Operator

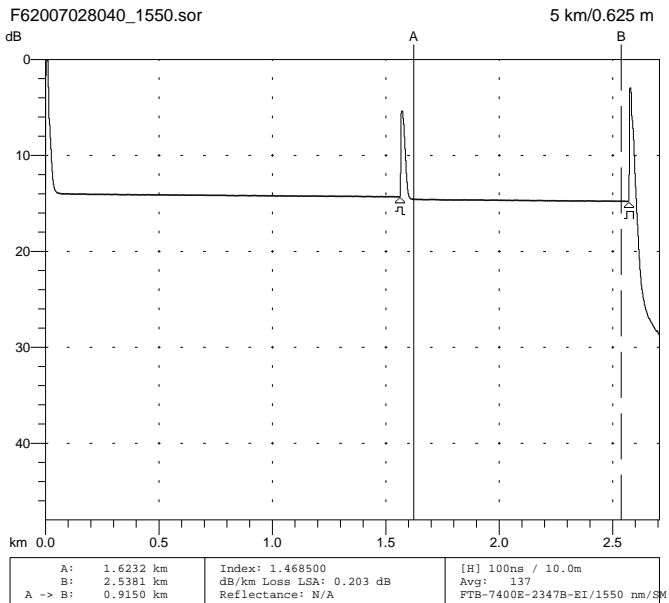
光纤标识: FID
数据标志: BC
终点位置: End



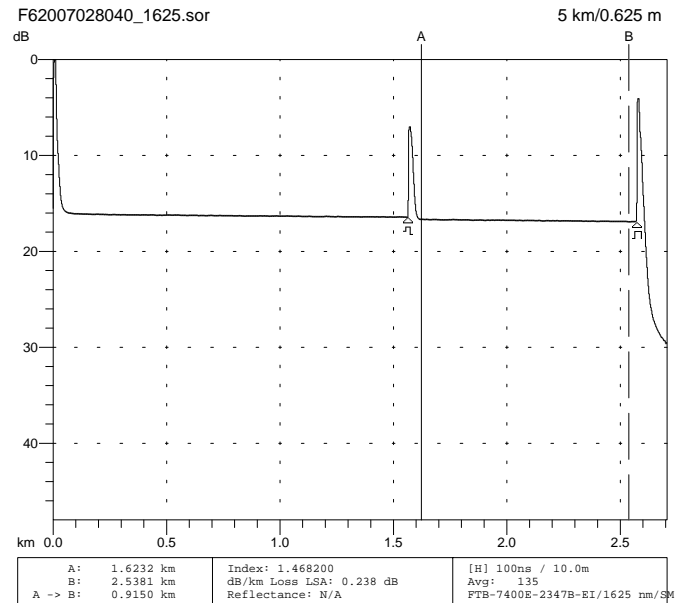
Primary Trace: F62007028040_1310.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:27 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.479000
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1310 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 247
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -79.40 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 39.84 dB [O] [0.00,2.55]



Primary Trace: F62007028040_1383.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:27 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.466100
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1383 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 485
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -80.20 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 40.57 dB [O] [0.00,2.57]



Primary Trace: F62007028040_1550.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:27 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468500
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1550 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 137
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -81.90 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.13 dB [O] [0.00,2.57]



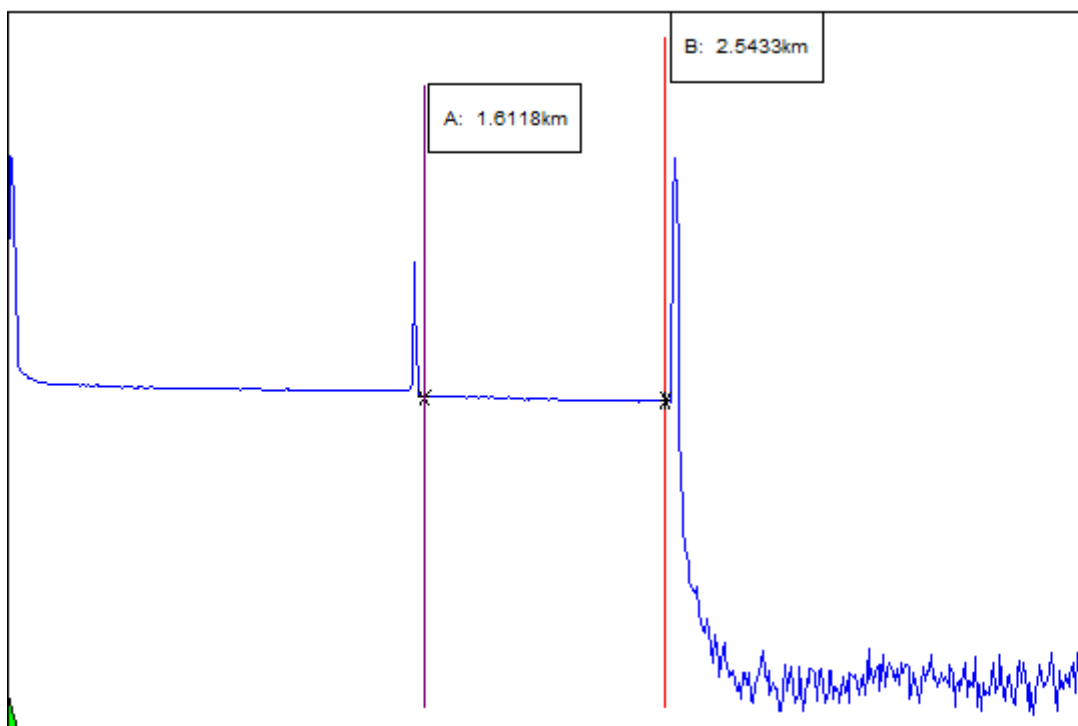
Primary Trace: F62007028040_1625.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:27 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468200
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1625 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 135
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -82.60 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.87 dB [O] [0.00,2.57]



AV6418 OTDR 测试报告

波长: 1490 nm
脉宽: 160 ns
平均次数: 0
光缆修正: 1.00000
测试日期: 2020.07.20 15:19:28
文件名: H:\F62007028040.EI

量程: 8 km
衰减: 15 dB
折射率: 1.46800
测试类型: 标准

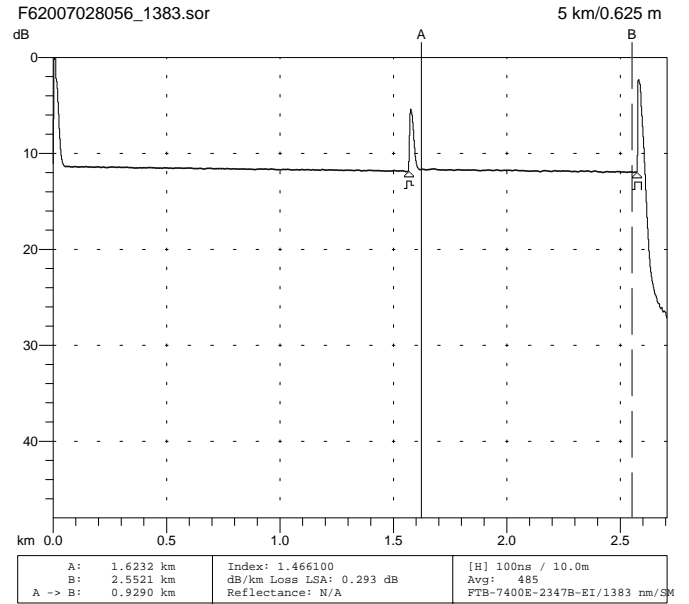
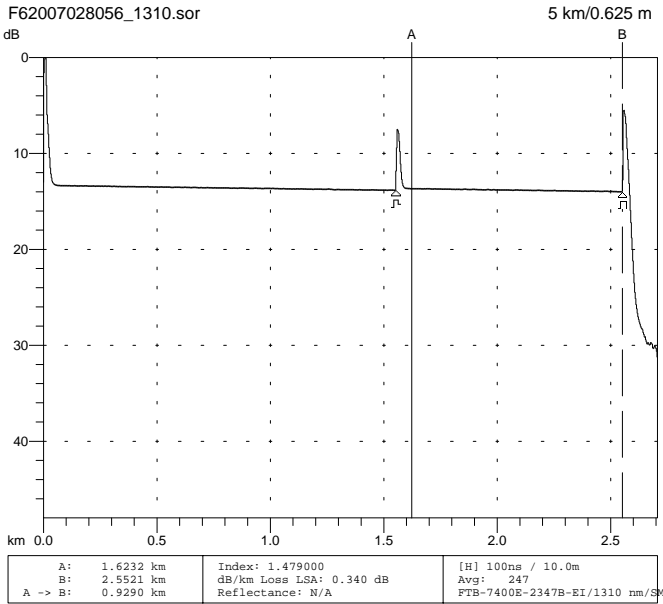


A-B间距离: 0.9314 km
A-B间平均损耗: 0.222 dB/km
连接损耗:

A-B间损耗: 0.181 dB
反射损耗:

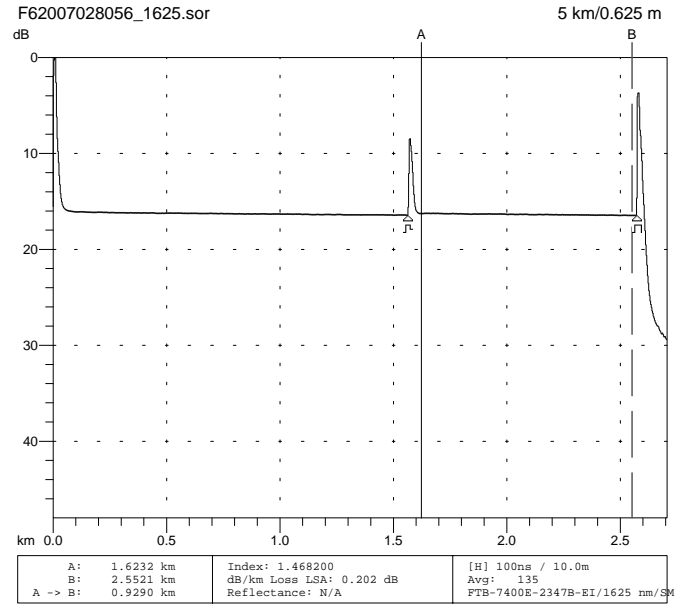
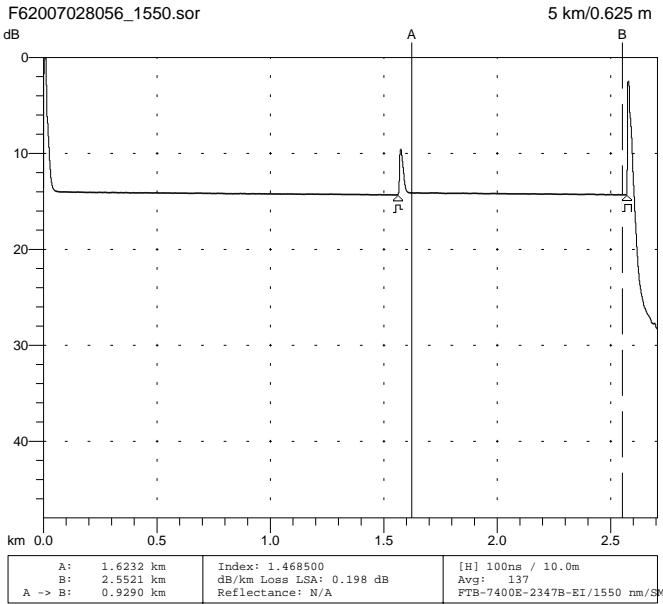
光缆标识: CID
光缆代码: CCD
起点位置: Start
测试评语: Comment
操作者: Operator

光纤标识: FID
数据标志: BC
终点位置: End



Primary Trace: F62007028056_1310.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:31 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.479000
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1310 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 247
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -79.40 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 39.83 dB [O] [0.00,2.55]

Primary Trace: F62007028056_1383.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:31 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.466100
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1383 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 485
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -80.20 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 40.56 dB [O] [0.00,2.57]



Primary Trace: F62007028056_1550.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:31 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468500
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1550 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 137
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -81.90 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.13 dB [O] [0.00,2.57]

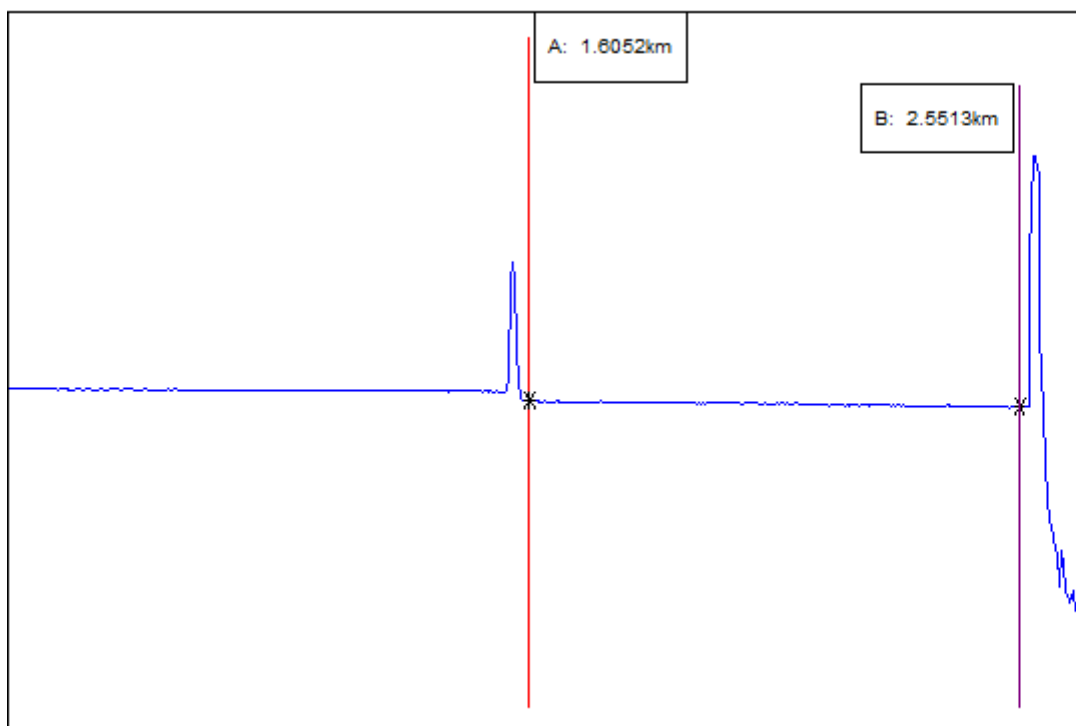
Primary Trace: F62007028056_1625.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:32 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468200
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1625 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 135
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -82.60 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.87 dB [O] [0.00,2.57]



AV6418 OTDR 测试报告

波长: 1490 nm
脉宽: 160 ns
平均次数: 0
光缆修正: 1.00000
测试日期: 2020.07.20 15:23:13
文件名: H:\F62007028056.EI

量程: 8 km
衰减: 15 dB
折射率: 1.46800
测试类型: 标准

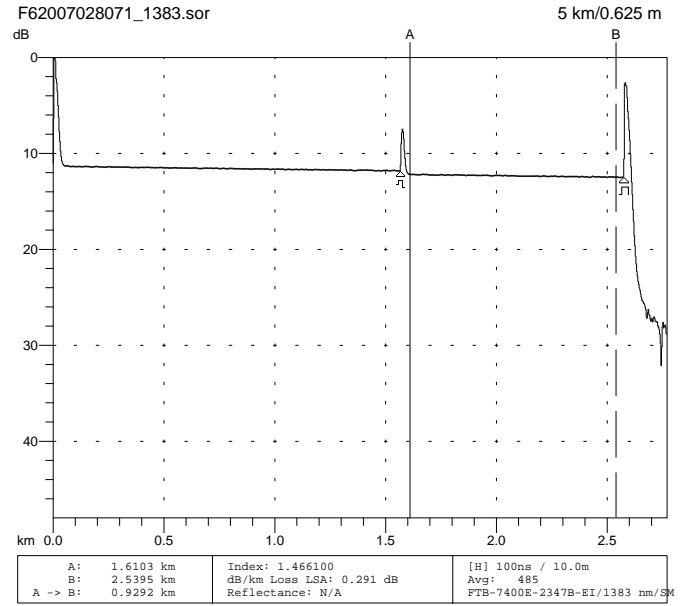
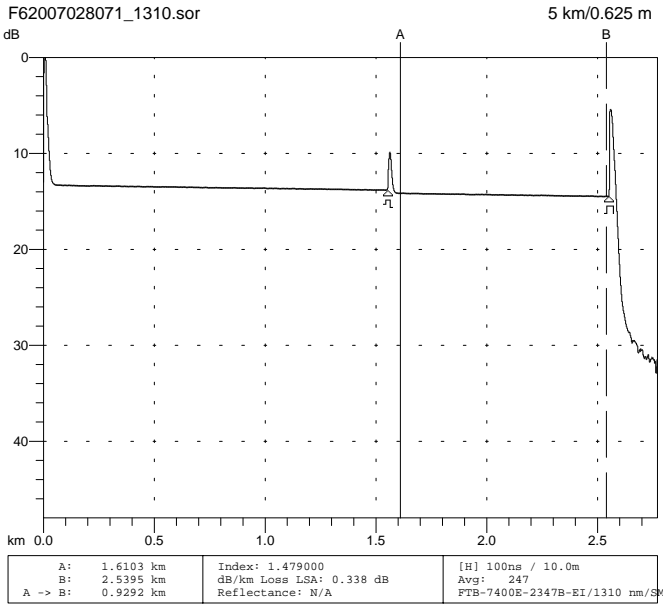


A-B间距离: 0.9461 km
A-B间平均损耗: 0.212 dB/km
连接损耗:

A-B间损耗: 0.051 dB
反射损耗:

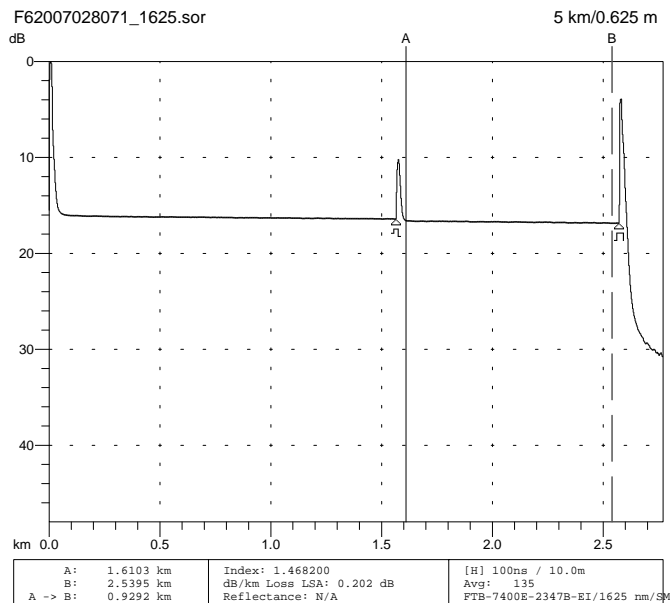
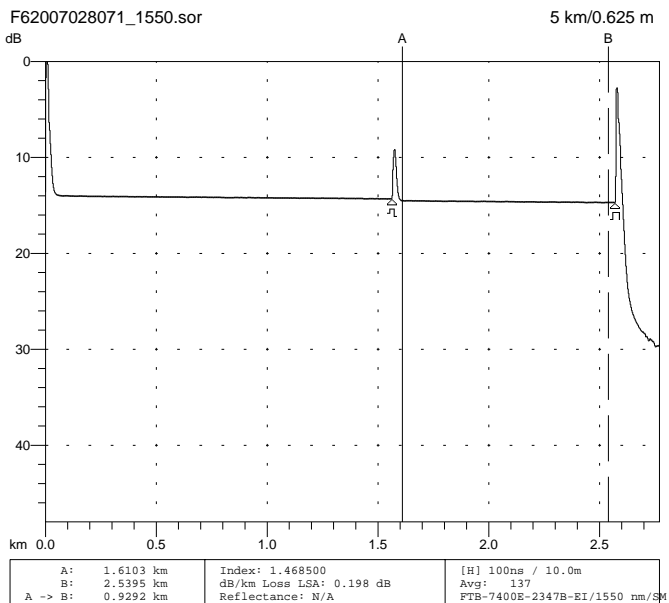
光缆标识: CID
光缆代码: CCD
起点位置: Start
测试评语: Comment
操作者: Operator

光纤标识: FID
数据标志: BC
终点位置: End



Primary Trace: F62007028071_1310.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:34 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.479000
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1310 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 247
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -79.40 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 39.84 dB [O] [0.00,2.55]

Primary Trace: F62007028071_1383.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:34 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.466100
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1383 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 485
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -80.20 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 40.56 dB [O] [0.00,2.57]



Primary Trace: F62007028071_1550.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:34 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468500
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1550 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 137
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -81.90 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.13 dB [O] [0.00,2.57]

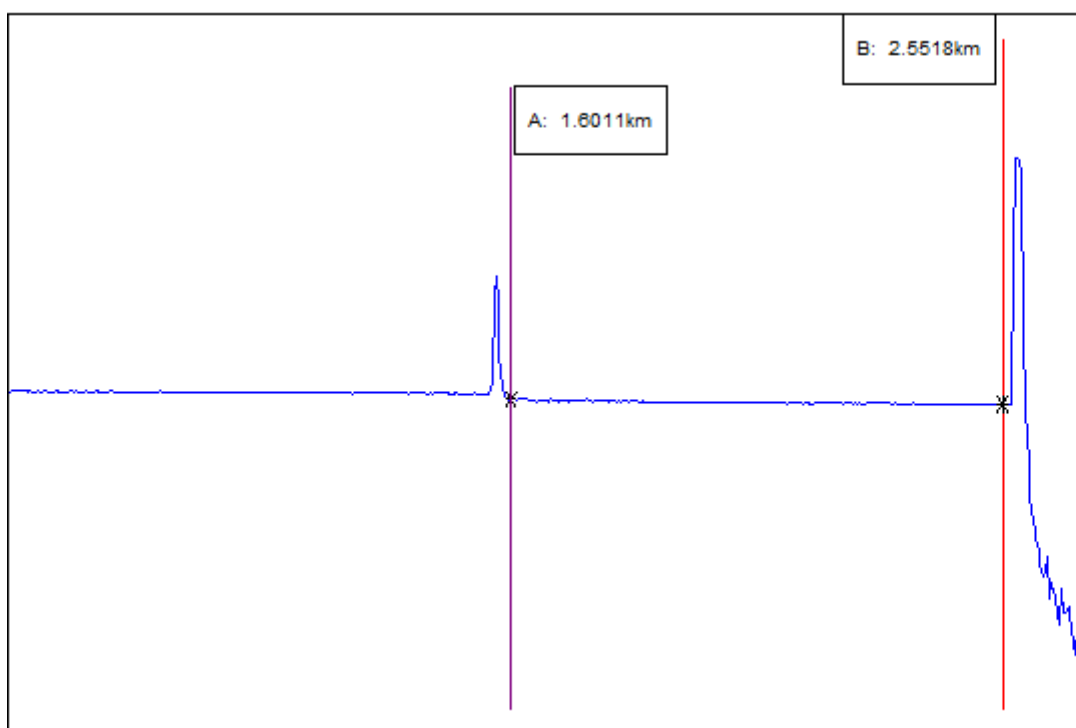
Primary Trace: F62007028071_1625.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:34 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468200
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1625 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 135
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -82.60 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.87 dB [O] [0.00,2.57]



AV6418 OTDR 测试报告

波长: 1490 nm
脉宽: 160 ns
平均次数: 0
光缆修正: 1.00000
测试日期: 2020.07.20 15:27:06
文件名: H:\F62007028071.EI

量程: 8 km
衰减: 15 dB
折射率: 1.46800
测试类型: 标准

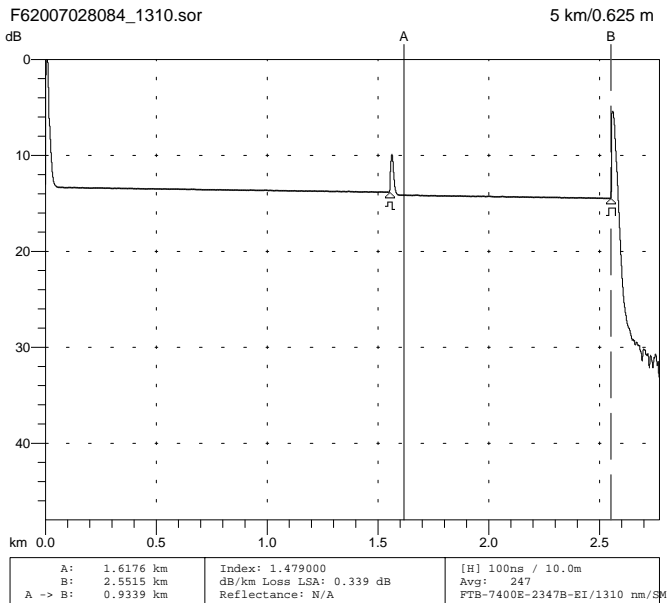


A-B间距离: 0.9507 km
A-B间平均损耗: 0.211 dB/km
连接损耗:

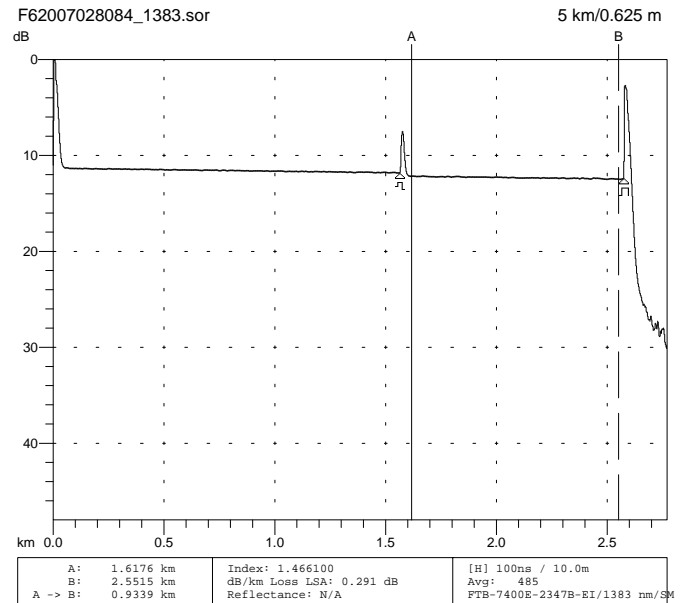
A-B间损耗: 0.139 dB
反射损耗:

光缆标识: CID
光缆代码: CCD
起点位置: Start
测试评语: Comment
操作者: Operator

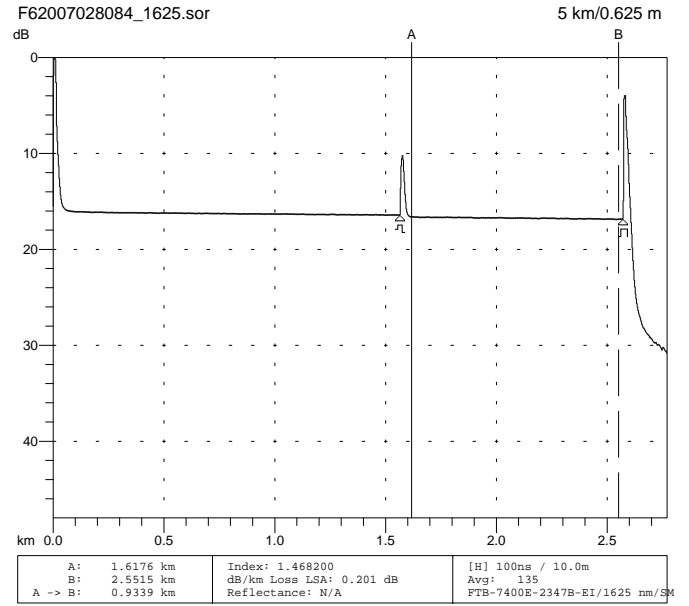
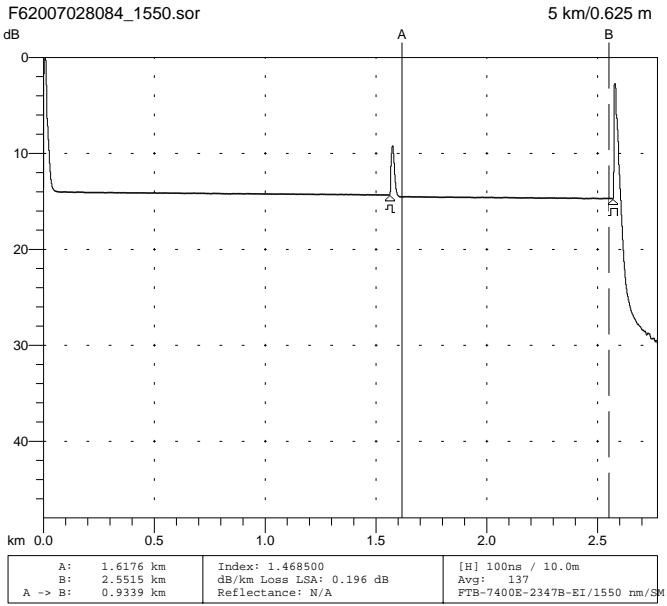
光纤标识: FID
数据标志: BC
终点位置: End



Primary Trace: F62007028084_1310.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:35 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.479000
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1310 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 247
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -79.40 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 39.84 dB [O] [0.00,2.55]



Primary Trace: F62007028084_1383.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:35 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.466100
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1383 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 485
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -80.20 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 40.56 dB [O] [0.00,2.57]



Primary Trace: F62007028084_1550.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:35 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468500
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1550 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 137
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -81.90 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.13 dB [O] [0.00,2.57]

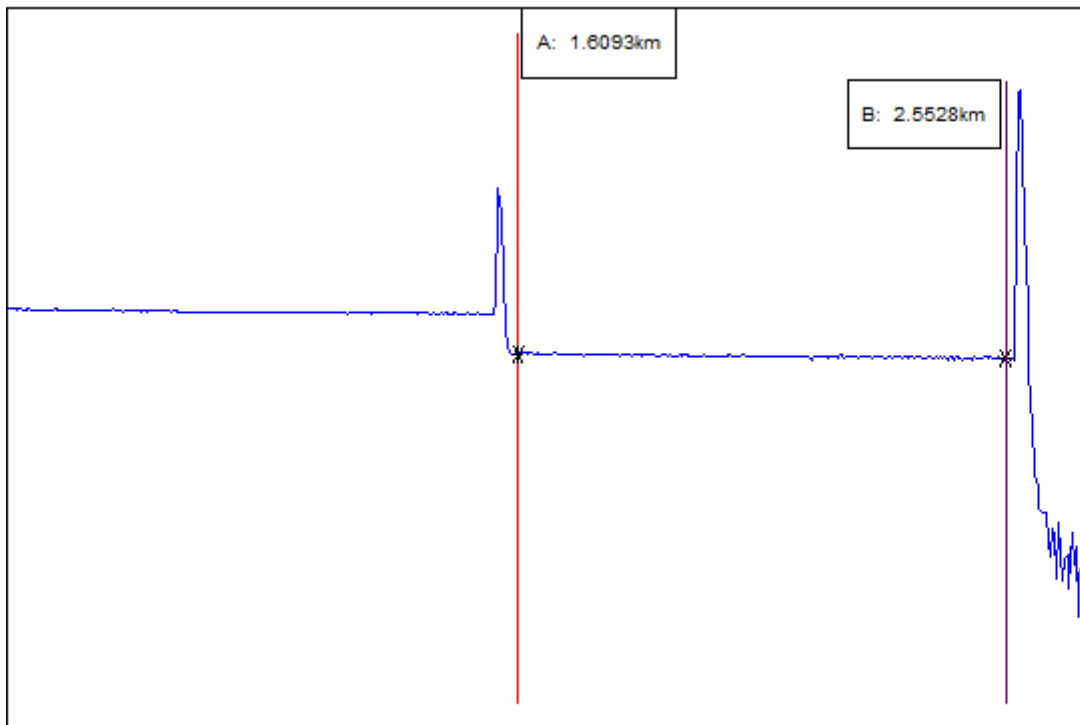
Primary Trace: F62007028084_1625.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 02:36 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468200
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1625 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 135
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -82.60 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.87 dB [O] [0.00,2.57]



AV6418 OTDR 测试报告

波长: 1490 nm
脉宽: 160 ns
平均次数: 0
光缆修正: 1.00000
测试日期: 2020.07.20 15:31:29
文件名: H:\F62007028084.EI

量程: 8 km
衰减: 15 dB
折射率: 1.46800
测试类型: 标准

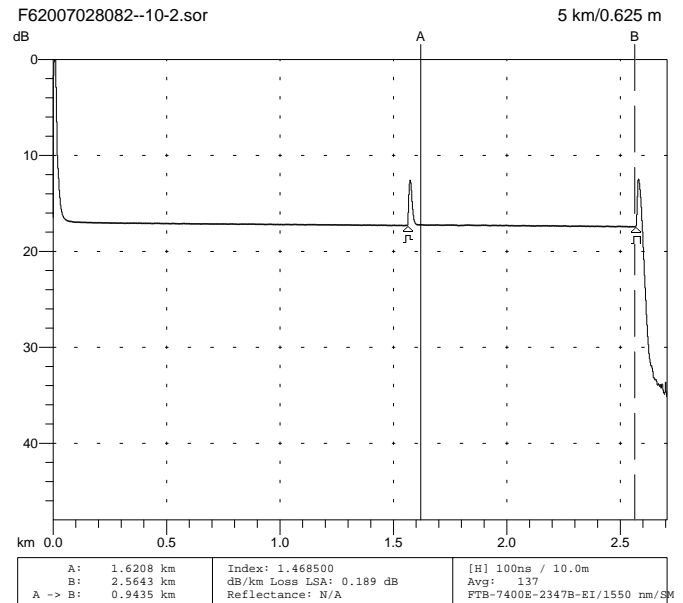
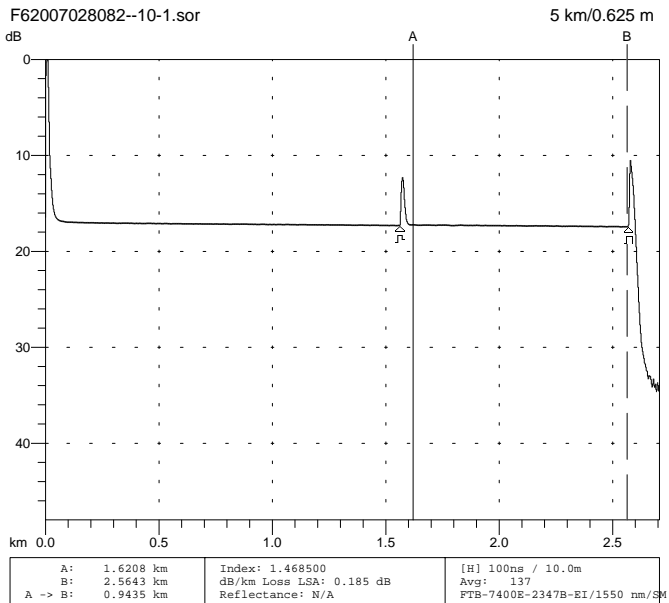


A-B间距离: 0.9435 km
A-B间平均损耗: 0.220 dB/km
连接损耗:

A-B间损耗: 0.279 dB
反射损耗:

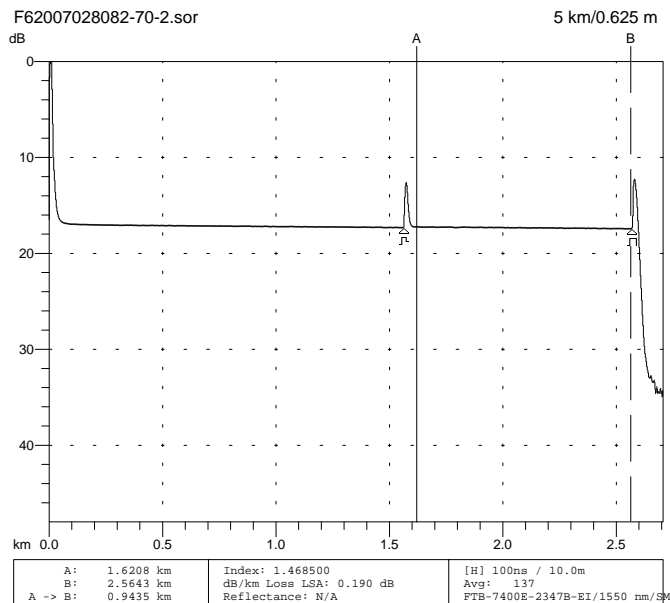
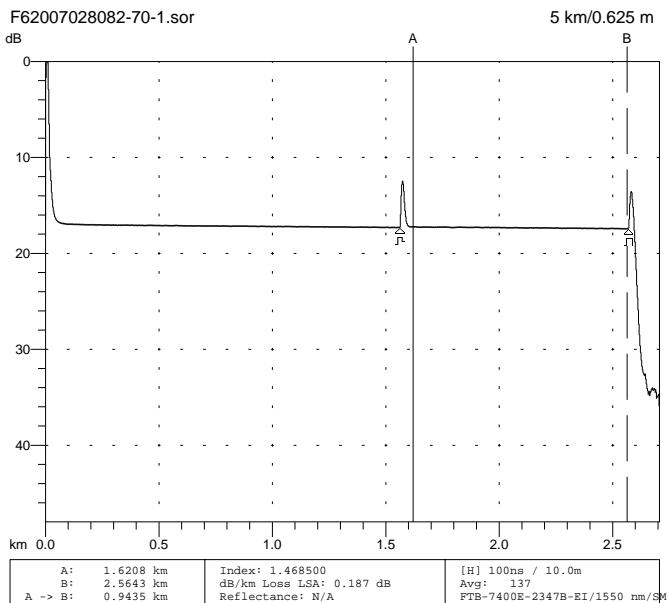
光缆标识: CID
光缆代码: CCD
起点位置: Start
测试评语: Comment
操作者: Operator

光纤标识: FID
数据标志: BC
终点位置: End



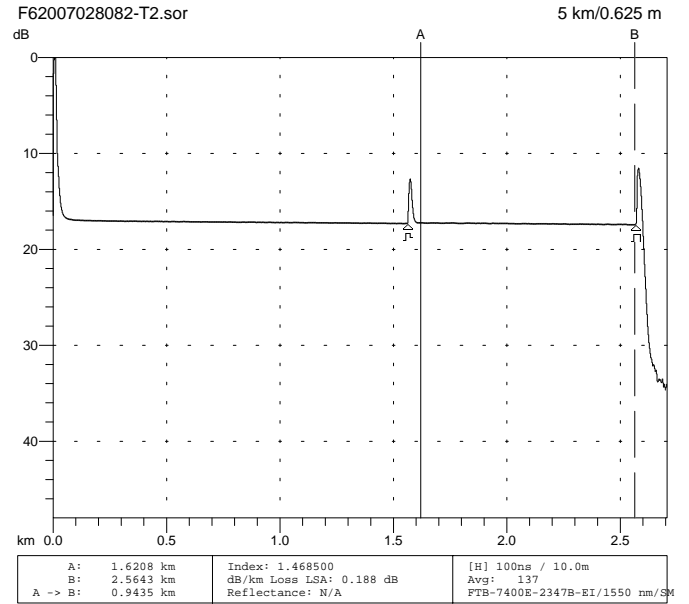
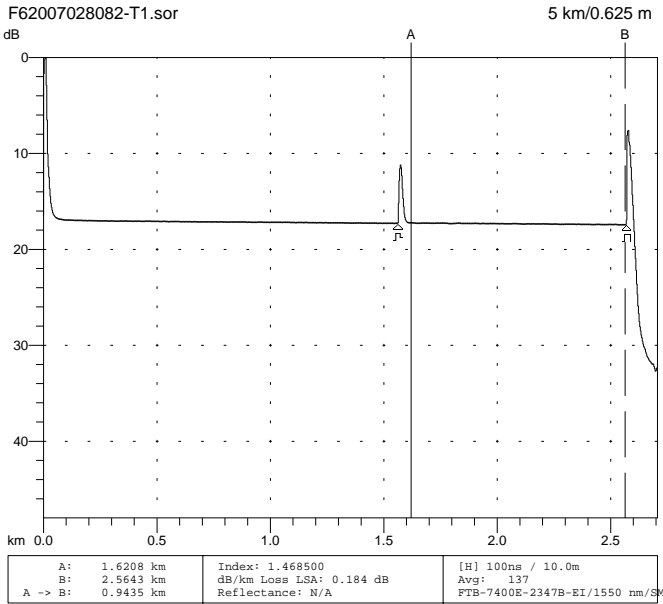
Primary Trace: F62007028082--10-1.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 09:06 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468500
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1550 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 137
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -81.90 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.12 dB [O] [0.00,2.57]

Primary Trace: F62007028082--10-2.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 06:02 PM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468500
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1550 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 137
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -81.90 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.12 dB [O] [0.00,2.57]



Primary Trace: F62007028082-70-1.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 01:34 PM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468500
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1550 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 137
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -81.90 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.12 dB [O] [0.00,2.57]

Primary Trace: F62007028082-70-2.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 10:33 PM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468500
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1550 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 137
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -81.90 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.12 dB [O] [0.00,2.57]



Primary Trace: F62007028082-T1.sor
 Date: 07/21/20 Range: 5 km
 Time: 04:36 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468500
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1550 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 137
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -81.90 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.12 dB [O] [0.00,2.57]

Primary Trace: F62007028082-T2.sor
 Date: 07/22/20 Range: 5 km
 Time: 12:35 AM Resolution: 0.625 m
 Product Type: Pulse Width: 100 ns
 Opt. Module: FTB-7400E-2347B- Index: 1.468500
 Fiber Type: Singlemode WaveLength: 1550 nm
 FAS Thresholds: Horz. Shift: 0.0000 km
 Loss: 0.05 dB Vert. Shift: 0.00 dB
 Reflectance: -65.53 dB No. Averages: 137
 Fiber Break: 5.00 dB
 Backscatter: -81.90 Trace Type: SR4731
 Trace Flags: Analysis
 ORL: 42.12 dB [O] [0.00,2.57]

เอกสารอ้างอิง

- [1] Telephone Organization of Thailand, Outside Plant Standard Sector Specification No. OSE-004-045-02 Issued; February 2007 “ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable)”
- [2] Telephone Organization of Thailand, Outside Plant Standard Sector Specification No. OES-004-049-03 Issued; February 2014 “Optical Fiber Drop Cable (Round Type) (Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2 F)”
- [3] TOT Public Company Limited, Fixed Line and Broadband Development Sector Specification No. OES-001-076-04 Issued; November 2018 “Fiber Optic Splitter (Splitter in Passive Optical Network)”
- [4] Telecommunication Standardization Sector of ITU (International Telecommunication Union) Recommendation ITU-TG.657 (11/2016) [5]
- [5] TOT Public Company Limited, Outside Plant Standard Sector Specification No. OES-004-050-01 Issued; May 2012 “Indoor Optical Fiber Drop Cable (Flat Type) (Indoor Flat Optic Drop Cable for FTTx)”
- [6] โครงการวิจัย “แก้ปัญหาโครงข่าย ODN ปลายทางของระบบ FTTx ด้วยอุปกรณ์ OFTK (Optical Fiber Termination Kit)” สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) พฤศจิกายน 2560
- [7] TOT Public Company Limited, Fixed Line and Broadband Development Sector Specification No. OES-004-057-01 Issued; November 2018 “ADSS FRP Armoured Optical Fiber Cable (ADSS FRP OFC)”