

## โครงการศึกษาวิจัยแก้ไขปัญหาสาย

### Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx

ส่วนสอบเทียบและบำรุงรักษาอุปกรณ์โทรคมนาคม (ทวธ.)  
ฝ่ายอาคารและการกำลัง (วธ.) กลุ่มโครงสร้างพื้นฐาน (ฐ.)  
สายงานโครงสร้างพื้นฐาน (ฐ.) บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)

## บทสรุปผู้บริหาร

### แก้ไขปัญหาสาย Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx

### เกิดสัญญาณแสงสูญเสียในระบบหลังติดตั้งใช้งาน

## 1. ความเป็นมา

ตามที่บริษัท บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) หรือ บริษัท NT ศึกษาวิจัยออกแบบสายกระจาย Non-Metallic Armoured for FTTx (Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2 F)) หรือสาย N-MA for FTTx ไม่มีโลหะ เพื่อรองรับระเบียบของ กพน. และได้ออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายแนวตรง (Drop Wire Clamp for Non-Metallic Armoured Round Type) หรือ N-MA Clamp ซึ่งเป็นทรัพย์สินทางปัญญาของ บริษัท NT รองรับสาย Non-Metallic Armoured for FTTx พร้อมจัดซื้อสาย N-MA for FTTx จำนวน 1,600,000 เมตร งบประมาณ 13,000,000 บาท และ N-MA Clamp มาใช้งาน

หลังติดตั้งใช้งานสาย N-MA for FTTx ไประยะหนึ่งพื้นที่ พบปัญหาจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างสาย N-MA for FTTx กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK เกิด High Loss หลังผู้ปฏิบัติงานเข้าไปแก้ไข ผ่านไประยะหนึ่งเกิดปัญหาจุดเดิมซ้ำ ๆ บางพื้นที่จำเป็นต้องเปลี่ยนไปใช้สายกันสัตรีกัณฑ์รุ่นเดิมทดแทนเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นชั่วคราว ส่วนงานพัสดุ ส่วนงานมาตรฐาน ส่วนขายและบริการลูกค้ากรุงเทพมหานคร 1 สำราญราษฎร์ (บนน.1.4) ส่วนขายและบริการลูกค้าปทุมธานี 1 (บนน.2.4) ตัวแทนโรงงาน JIANGSU XDT INTERNATIONAL CO., LTD (XDT) ผู้ผลิตสายจากประเทศจีนและตัวแทน บริษัท ไฟเบอร์ ออปติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM) ผู้แทนจำหน่าย โดยมีส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ (ทวช.) ส่วนงานเดิมก่อนปรับโครงสร้างใหม่เป็นส่วนสอบเทียบและบำรุงรักษาอุปกรณ์โทรคมนาคม (ทวฐ.) เป็นเจ้าภาพร่วมเก็บข้อมูล ทดสอบในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม เพื่อหาแนวทางวิเคราะห์แก้ปัญหาอย่างถาวรต่อไป

## 2. ผลการดำเนินงาน

ผลการทดสอบและเก็บข้อมูลภาคสนาม จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างสาย N-MA for FTTx กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK พบจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงบนเสาไฟฟ้า กพน. ห้าม Loop สาย เกิดแรงบิดตำแหน่งจุดเชื่อมต่อ ทั้งนี้ตอนศึกษาวิจัยมีการ Loop สาย จุดเชื่อมต่ออยู่ใน Loop ทีมงานร่วมศึกษาแนวทางแก้ปัญหา โดยการตามลวดจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง ประยุกต์นำชุดอุปกรณ์ OFTK มาใช้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย ลวดตามสามารถนำสายสะพานรับแรงดึงของสาย Fiber Drop Cable แบบลวดเดี่ยวแข็ง (1x 1.2 mm) หรือแบบเส้นลวดตีเกลียว (0.4 X 7) OD 1.2 mm มาทดแทนก็ได้ จัดหาเพิ่มเติมเพียงท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว ID 7.0-9.5 mm ยาว 150 mm ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและภาคสนามผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

### 3. สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลจากโครงการศึกษาวิจัยแก้ไขปัญหาสาย Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx สามารถแก้ไขปัญหาการเกิดสัญญาณแสงสูญเสียในระบบหลังการติดตั้งใช้งานได้ตามเป้าหมายที่กำหนด โดยใช้ลวดตาม ณ จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง จากนั้นให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเผยแพร่ผลการศึกษานี้ให้ผู้เกี่ยวข้องทราบ เพื่อนำไปแก้ปัญหาและปรับปรุงข้อกำหนดชุดอุปกรณ์ OFTK ปรับเปลี่ยนท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว ID 7.0-9.5 mm จากความยาว 100 mm เป็น 150 mm และเพิ่มลวดตาม Stainless Steel Rod OD 1.2 mm ยาว 130 mm

Clip VDO การเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx

<https://www.youtube.com/watch?v=24ILTiSjGw>

<https://www.tottcal.com/>



(นายชัยฤทธิ์ ศรีดาวงษ์)

หัวหน้าคณะทำงาน

13/ก.ค. / 2568

ส่วนสอบเทียบและบำรุงรักษาอุปกรณ์โทรคมนาคม (ทว.ฐ.)

ฝ่ายอาคารและการกำลัง (ว.ฐ.) กลุ่มโครงสร้างพื้นฐาน (ฐ.)

สายงานโครงสร้างพื้นฐาน (ฐ.) บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)

# โครงการศึกษาวิจัย

## แก้ไขปัญหาสาย

### Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx

#### เกิดสัญญาณแสงสูญเสียในระบบหลังติดตั้งใช้งาน

ส่วนสอบเทียบและบำรุงรักษาอุปกรณ์โทรคมนาคม (ทวรัฐ.)

#### 1. ความเป็นมาและสภาพปัญหา

การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) เผยแพร่ราชกิจจานุเบกษาว่าด้วยระเบียบของ กฟน. เกี่ยวกับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารบนเสาไฟฟ้าของ กฟน. (28 มิถุนายน 2566) กำหนดนิยาม “สายสื่อสาร” หมายความว่าสายนำสัญญาณโทรคมนาคมหรือที่ใช้ในกิจการโทรคมนาคม กิจการกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ประกอบด้วยสายสื่อสารหลัก (OFC: Optical Fiber Cable) และสายกระจาย “สายสื่อสารหลัก” หมายความว่าสายสื่อสารเส้นทางหลักของเครือข่าย (Network) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (OD: Outer Diameter) < 18.0 มิลลิเมตร (mm) และ “สายกระจาย” (Drop Wire) หมายความว่าสายสื่อสารที่ต่อแยกจากสายสื่อสารหลักเพื่อนำสัญญาณไปยังผู้ใช้บริการ (End User) มี OD < 7.0 mm และสายสื่อสารทุกชนิดต้องไม่มีส่วนประกอบที่เป็นโลหะ

จากระเบียบของ กฟน. ห้ามติดตั้งสายสื่อสารที่มีส่วนประกอบของโลหะกับเสาของ กฟน. ส่งผลกระทบต่อ บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) หรือ บริษัท NT โดยเฉพาะโครงข่าย ODN (Optical Distribution Network) ของบริการ FTTx (Fiber to the x) เส้นใยแก้วนำแสง FDC (Fiber Drop Cable) หรือ Last Mile ใช้สาย OFC Round Type โครงสร้างสายสะพานรับแรงดึงผลิตจากเส้นลวดโลหะ [1]

เพื่อรองรับระเบียบของ กฟน. ส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ สังกัดฝ่ายวิจัยและพัฒนา (ในขณะนั้น) และส่วนงานที่เกี่ยวข้องร่วมศึกษาวิจัยออกแบบสายกระจายเส้นใยแก้วนำแสงรับแรงดึงด้วยตัวเองโครงสร้างไม่มีส่วนประกอบของโลหะป้องกันสัตว์กัดแทะได้ภายใต้ชื่อสาย Non-Metallic Armoured for FTTx (Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2 F)) [2] ตามมาตรฐาน ITU-T G.657(A2/B2) [3] รองรับระเบียบของ กฟน.

หลังจากผ่านการทดสอบในห้องปฏิบัติการและภาคสนามในเขตพื้นที่ของ กฟน. จำนวน 100,000 เมตร (m) และเขตพื้นที่ กฟน. จำนวน 22,000 m (เมษายน 2563) ผลการทดสอบเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด บริษัท NT จึงได้ออกข้อกำหนด [2] พร้อม **จัดซื้อสาย Non-Metallic Armoured for FTTx เพื่อนำมาใช้ในองค์กรจำนวน 1,600,000 m งบประมาณ 13,000,000 บาท** และได้

ออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายแนวตรง (Drop Wire Clamp for Non-Metallic Armoured Round Type) [4] หรือ N-MA Clamp ซึ่งเป็นทรัพย์สินทางปัญญาของ บริษัท NT รองรับสาย Non-Metallic Armoured for FTTx

โครงข่าย ODN บริการ FTTx สาย Non-Metallic Armoured for FTTx (N-MA for FTTx) เชื่อมโยงระหว่างตู้พักปลายทาง (Terminal Closure) หรือตู้ SDP/ODP (Splitter Distribution Point) หลัง Splitter ติดตั้งภายนอกอาคารมายังอุปกรณ์ ONU (Optical Network Unit) ติดตั้งภายในอาคาร ปลายสาย N-MA for FTTx ทั้งสองด้านเชื่อมต่อกับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK (Optical Fiber Termination Kit) [5] ภายนอกอาคารตำแหน่งตู้ SDP/ODP ตามภาพประกอบที่ 1. (ซ้ายมือ) และ ภายในอาคารตำแหน่งอุปกรณ์ ONU ภาพประกอบที่ 1. (ขวามือ)



ภาพประกอบที่ 1. สาย OFTK เชื่อมต่อตำแหน่งตู้ SDP/ODP และตำแหน่งอุปกรณ์ ONU

หลังจากติดตั้งใช้งานสาย N-MA for FTTx ไประยะหนึ่ง พื้นที่ได้แจ้งมายังส่วนพัสดุของ บริษัท NT ว่าเกิดปัญหา High Loss ขึ้นต้องออกไปซ่อมบำรุง บางกรณีเกิดปัญหาซ้ำ ๆ พื้นที่จำเป็นต้องเปลี่ยนไปใช้สายกันสัดรัดกัณฑ์เดิมทดแทนเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นชั่วคราว หลังรับทราบปัญหาส่วน พัสดุ ส่วนมาตรฐานและส่วนทดสอบร่วมเก็บข้อมูลข้างต้นเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาแนวทางแก้ปัญหา High Loss จุดเชื่อมต่อหลังติดตั้งใช้งานสาย N-MA for FTTx อย่างถาวรต่อไป

## 2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

วัตถุประสงค์ของโครงการศึกษาวิจัยนี้ เพื่อแก้ไขปัญหาสาย N-MA for FTTx เกิดสัญญาณ แสงสูญเสีย (High Loss) ในระบบหลังติดตั้งใช้งาน เริ่มจากสำรวจเก็บข้อมูลรวบรวมสาเหตุของปัญหา การติดตั้งใช้งานสาย N-MA for FTTx เช่น ปัญหามาจากตัวสาย N-MA for FTTx มีโครงสร้างไม่ เหมาะสม ปัญหามาจากอุปกรณ์จับยึดหรือจุดเชื่อมต่อ เพื่อนำปัญหามาวิเคราะห์หาสาเหตุและแนว ทางแก้ไข ทั้งนี้แนวทางแก้ไขต้องสะดวกไม่เป็นอุปสรรคในการปฏิบัติงานเดิม มีต้นทุนต่ำและไม่ละเมิด ทรัพย์สินทางปัญญา

### 3. ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย

- 1) สำรวจและเก็บข้อมูลปัญหาการใช้งานสาย N-MA for FTTx ที่จัดซื้อเข้าคลังพัสดุ 1,600,000 m ณ พื้นที่ที่มีปัญหาเกิด High Loss หลังติดตั้งใช้งาน
- 2) สรุปข้อมูลที่ได้จากการสำรวจการใช้งานสาย N-MA for FTTx
- 3) ทดสอบต้นแบบสาย N-MA for FTTx (ถ้ามี) หรืออุปกรณ์ที่ออกแบบใหม่หรือวิธีการอื่นใด (ถ้ามี) ในห้องปฏิบัติการ
- 4) ทดสอบต้นแบบสาย N-MA for FTTx (ถ้ามี) หรืออุปกรณ์ที่ออกแบบใหม่หรือวิธีการอื่นใด (ถ้ามี) ภาคสนาม
- 5) สรุปผลจัดทำรายงานวิจัยนำเสนอผู้บริหาร เพื่อพิจารณากำหนดเป็นมาตรฐานของบริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)

### 4. ประโยชน์ที่ บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) จะได้รับ

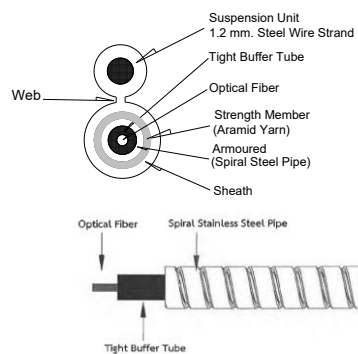
- 1) แก้ปัญหาสาย N-MA for FTTx ที่จัดซื้อเข้าคลังพัสดุ 1,600,000 m งบประมาณ 13,000,000 บาท ที่เกิดปัญหาสัญญาณแสงสูญเสีย (High Loss) หลังติดตั้งใช้งาน
- 2) มีรายงานผลศึกษาวิจัยแก้ปัญหาสาย N-MA for FTTx เกิด High Loss หลังติดตั้งใช้งาน เพื่อเป็นองค์ความรู้ให้องค์กร
- 3) ออกแบบสาย Fiber Drop Cable หรืออุปกรณ์แก้ปัญหา High Loss (ถ้ามี)
- 4) สร้างภาพลักษณ์องค์กรว่ามีหน่วยงานนวัตกรรมที่พร้อมออกแบบผลิตภัณฑ์รองรับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี และ/หรือ หลักเกณฑ์มาตรฐานที่หน่วยงานราชการกำหนด

### 5. ปัญหาภาคสนามและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โครงข่าย ODN สำหรับบริการ FTTx ช่วงต้นที่เริ่มให้บริการ บมจ.ทีโอที (ในขณะนั้น) ใช้สาย Fiber Drop Cable ชนิด OFC Flat Type (สายโครงสร้างแบน) หลังจากใช้งานไปได้ระยะหนึ่งพื้นที่ที่ระยะสายยาว พื้นที่ริมทะเลที่มีกระแสลมรุนแรงเริ่มแจ้งปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหายเข้ามาจากปัญหาที่เกิดขึ้นผู้เกี่ยวข้องนำปัญหาไปปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญจากประเทศญี่ปุ่น ได้รับคำแนะนำว่าสาย Fiber Drop Cable ชนิด OFC Flat Type ออกแบบสำหรับการติดตั้งระยะสายสั้น ๆ ไม่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของ บมจ.ทีโอที ที่ระยะสายยาวถึง 300 m (มาตรฐานการติดตั้งสูงสุด)

จากปัญหาที่เกิดขึ้นกับสาย OFC Flat Type บมจ.ทีโอที ได้ออกแบบสาย Fiber Drop Cable โครงสร้างรูป “Fig-8” ชื่อสาย Optical Fiber Drop Cable (Round Type) (Optic Drop Wire for FTTx (Round Type (1-2 F) หรือสาย OFC Round Type แบบใช้งานทั่วไปและแบบป้องกันสัตว์กัดแทะรองรับระยะทางสายไกลและลดปัญหาผลกระทบจากแรงลม

สาย OFC Round Type แบบป้องกันสัตว์กัดแทะ (Spiral Steel Pipe) ผลิตจาก Stainless Steel เกรด SUS-304 ท่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงโดยรอบ สายสะพานรับแรงดึง (Suspension Unit) ผลิตจากเส้นลวดเดี่ยว 1\*1.2 mm ฉนวน (Sheath) ผลิตจากวัสดุ FRPE (Flame Retardant Polyethylene) ชื่อ “Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type))” ตามภาพประกอบที่ 2. ซึ่งเป็นผลการศึกษาวิจัยของส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง พร้อมออกแบบอุปกรณ์ OFTK ตามภาพประกอบที่ 3. สำหรับเชื่อมต่อปลายสายทั้งสองด้านของสาย OFC Round Type



ภาพประกอบที่ 2. สาย Armoured Round Type ท่อหุ้ม Spiral Steel Pipe

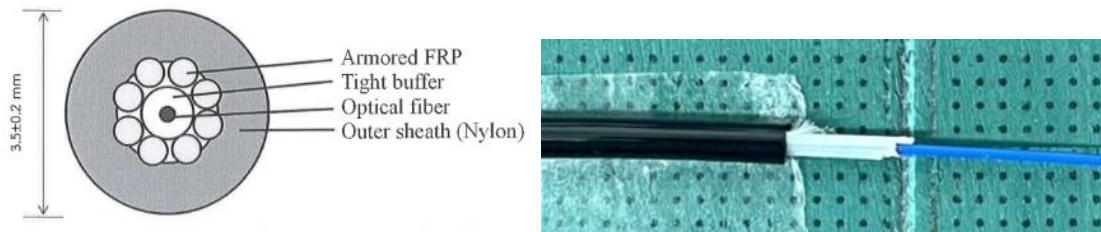


ภาพประกอบที่ 3. สาย OFC Round Type เชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์ OFTK

หลังจาก กฟน. ประกาศห้ามติดตั้งสายสื่อสารที่มีโครงสร้างโลหะกับเสาไฟฟ้าของ กฟน. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ก็มีประกาศห้ามตามมา ดังนั้นสาย OFC Round Type แบบใช้งานทั่วไปที่สายสะพานรับแรงดึงจากเส้นลวดโลหะและสาย Armoured Round Type ที่มีสายสะพานและเกราะป้องกันสัตว์กัดแทะผลิตจากโลหะผิดระเบียบตามประกาศของ กฟน. และ กฟภ.

เพื่อรองรับระเบียบของ กฟน. และ กฟภ. บริษัท NT ศึกษาวิจัยออกแบบสายกระจาย OFC โครงสร้างไม่มีโลหะป้องกันสัตว์กัดแทะชื่อสาย Non-Metallic Armoured Optical Fiber Cable Drop Cable (Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2 F) หรือสาย Non-

Metallic Armoured for FTTx (N-MA for FTTx) [2] โครงสร้างกลมสามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ระดับหนึ่งตามภาพประกอบที่ 4. พร้อมออกแบบอุปกรณ์จับยึด N-MA Clamp [4] รองรับสายโครงสร้างสายกลมตามภาพประกอบที่ 5.



ภาพประกอบที่ 4. สาย N-MA for FTTx ป้องกันสัตว์กัดแทะไม่มีโลหะ



ภาพประกอบที่ 5. อุปกรณ์จับยึด N-MA Clamp แนวตรงผลิตจาก Nylon-6 และ ABS

ปี พ.ศ. 2567 บริษัท NT จัดซื้อสายป้องกันสัตว์กัดแทะไม่มีโลหะ N-MA for FTTx เข้าคลังพัสดุ 1,600,000 m งบประมาณ 13,000,000 บาท หลังจากพื้นที่เบิกสาย N-MA for FTTx ไปติดตั้งใช้งานระยะหนึ่ง พื้นที่เริ่มแจ้งปัญหาเกิด High Loss กับ Port FTTx ที่นำสาย N-MA for FTTx ไปใช้งาน

หลังรับแจ้งเหตุเสียจากผู้ให้บริการ FTTx ส่วนงานซ่อมบำรุงเข้าไปตรวจสอบสัญญาณด้วยเครื่องมือวัด OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) พบ High Loss จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างสาย N-MA for FTTx กับสายของอุปกรณ์ OFTK ตำแหน่งตู้ SDP นอกอาคารที่ติดตั้งบนเสาไฟฟ้า เมื่อทำการแก้ไขตัดต่อจุดเชื่อมต่อดังกล่าวใหม่ ผ่านไปประมาณ 2 อาทิตย์เศษ ปัญหาเดิมกลับมาอีกถึง 60% เมื่อเกิดปัญหาซ้ำ ๆ ส่วนงานซ่อมบำรุงเปลี่ยนไปใช้สายป้องกันสัตว์กัดแทะ Armoured Round Type รุ่นเดิมทดแทนชั่วคราว พร้อมระงับการใช้งานสาย N-MA for FTTx ชั่วคราวและแจ้งส่วนพัสดุถึงปัญหาที่เกิดขึ้น

ข้อสังเกตตอนศึกษาวิจัยออกแบบสาย N-MA for FTTx จุดเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK อยู่ใน Loop (กพน. และ กฟภ. ยังให้ Loop สายได้) แต่ตอนนำสาย N-MA for FTTx มาติดตั้งใช้งาน กพน. และ กฟภ. ห้าม Loop สายตำแหน่งตู้ SDP ภายนอกอาคาร ซึ่งมีปัญหา High Loss เกิดขึ้นตำแหน่งตู้ SDP นี้ แต่ตำแหน่ง ONU ภายในอาคารจุดเชื่อมต่ออยู่ใน Loop ไม่มีปัญหา High Loss เกิดขึ้น

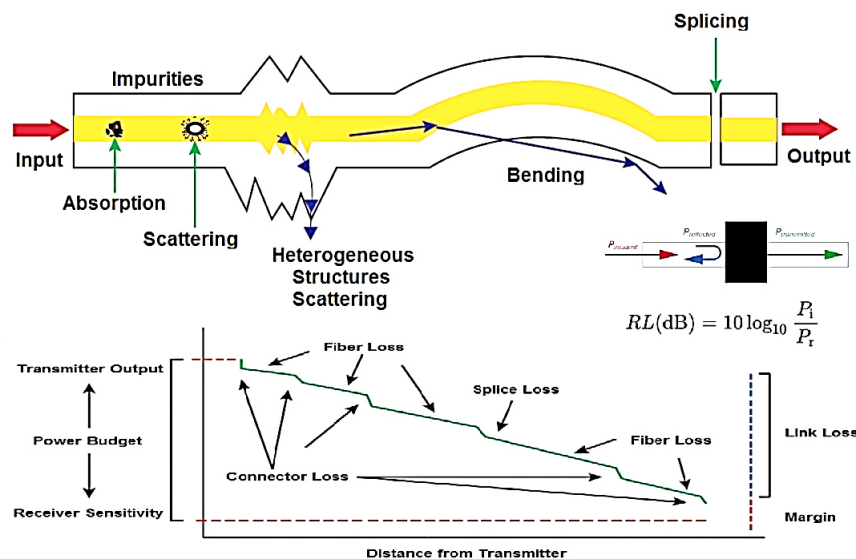
### 5.1 การลดทอนสัญญาณหรือการสูญเสียทางแสง (Attenuation or Loss)

การลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) เมื่อเปรียบเทียบกับ การลดทอนกับตัวกลางสื่อสารอื่น ๆ มีความเหนือกว่าทั้งในแง่ของระยะทางและความจุสัญญาณ เส้นใยแก้วนำแสงมีค่าการลดทอนสัญญาณต่อระยะทางน้อย ค่าลดทอนสัญญาณมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1)

$$\text{Signal Attenuation} = 10 \log \frac{P_i}{P_o} \quad (1)$$

ทั้งนี้การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber loss) มีสาเหตุสำคัญจาก

- 1) Absorption loss
- 2) Scattering loss



Credit: www.gbic-shop.de

ภาพประกอบที่ 6. การสูญเสียสัญญาณแสง (Loss) บนโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสง

1) **Absorption losses** คือ การสูญเสียสัญญาณแสงเนื่องจากการดูดกลืนแสงจากองค์ประกอบในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสง การสูญเสียนี้อาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเคมีและกระบวนการผลิต (Fabrication Process) เส้นใยแก้วนำแสง การส่งผ่านสัญญาณแสงในเส้นใยแก้วก่อให้เกิดการกระจายตัวของกำลังงานแสงที่ส่ง พลังงานแสงเปลี่ยนเป็นความร้อนภายในเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการสูญเสียพลังงานแสงเนื่องจากการดูดกลืนแสง ปัจจัยที่เกิดแบ่งได้ 2 กรณี คือ

- **Intrinsic Absorption** คือการดูดกลืนแสงจากสารที่ใช้ทำเส้นใยแก้วนำแสง เนื่องจากแก้ว Silica บริสุทธิ์ที่ใช้ในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงจะมีการดูดกลืนแสง โดยจะ

ดูดกลืนแสง Ultraviolet มากที่สุดที่ความยาวคลื่น  $0.1 \mu m$  และมีการดูดกลืนแสง Infrared มากที่สุดที่ความยาวคลื่น  $10 \mu m$

- **Extrinsic Absorption** คือ การดูดกลืนแสงเนื่องจากสารที่เจือปนอยู่ในเส้นใยแก้วนำแสง เกิดจากการเจือปนไอออนของธาตุโลหะในเส้นใยแก้วนำแสงในขั้นตอนของการหลอมเหลวแก้ว สารที่เจือปนในเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดจากการหลอมเหลวนี้นี้เป็นสาเหตุสำคัญของการลดทอนสัญญาณแสงของไอออนโลหะบางชนิด ในปริมาณ  $1 \text{ ppb}$  (Parts per Billion) เราสามารถลดการสูญเสียนี้ได้โดยการใช่วัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์มาก

**2) Scattering Losses** การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจายแสงเมื่อเกิดการกระจายการกระจายของแสงจะทำให้แสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการเปลี่ยน Mode ทำให้ลำแสงที่ส่งเกิดการเปลี่ยน Mode ลำแสงที่เดินทางใน Core แพร่กระจายออกไปนอก Core

การสูญเสียแบบ Scattering Losses ที่เกิดจากการกระจายแสงแบ่งได้ 2 ชนิด คือ แบบเรย์เลห์ (Rayleigh Scattering) และแบบมี (Mie Scattering) การสูญเสียทางแสงทั้ง 2 แบบ สาเหตุมาจากคุณลักษณะทางกายภาพที่ไม่สมบูรณ์ของเส้นใยแก้วนำแสงจากกระบวนการผลิต ด้วยเทคโนโลยีการผลิตในปัจจุบันยังไม่สามารถกำจัดปัญหานี้ได้ รายละเอียดการสูญเสียแบบ Scattering Losses ทั้ง 2 แบบเป็นดังนี้

- **แบบเรย์เลห์ (Rayleigh Scattering)** เกิดจากแสงที่เดินทางไปตกกระทบกับวัตถุที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ทำให้แสงแตกกระจายออกไปในทิศทางต่างๆ วัตถุที่เจือปนอยู่ในเนื้อแก้วเกิดขึ้นในขั้นตอนขบวนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงต้องใช้ความร้อนประมาณ  $2,000^{\circ}C$  เพื่อให้แท่งแก้ว Preform หลอมละลายก่อนดึงแท่งแก้วให้เป็นเส้นใยแก้วขนาดเล็ก ก่อนลดอุณหภูมิของเส้นใยแก้วนำแสงเหลือ  $20^{\circ}C$  อย่างรวดเร็ว ขบวนการในการผลิตขั้นตอนนี้ ก่อให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นของเนื้อแก้ว เกิดวัตถุขนาดเล็ก ๆ ขึ้นในเนื้อแก้ว ค่าการสูญเสียเนื่องจากการกระจายแบบเรย์เลห์นี้จะเกิดกับแสงในช่วง Ultraviolet และ Infrared แปรผกผันกับความยาวคลื่นแสงตามสมการที่ (2)

$$\text{Rayleigh Scattering Loss} = \frac{1}{\lambda^4} \quad (2)$$

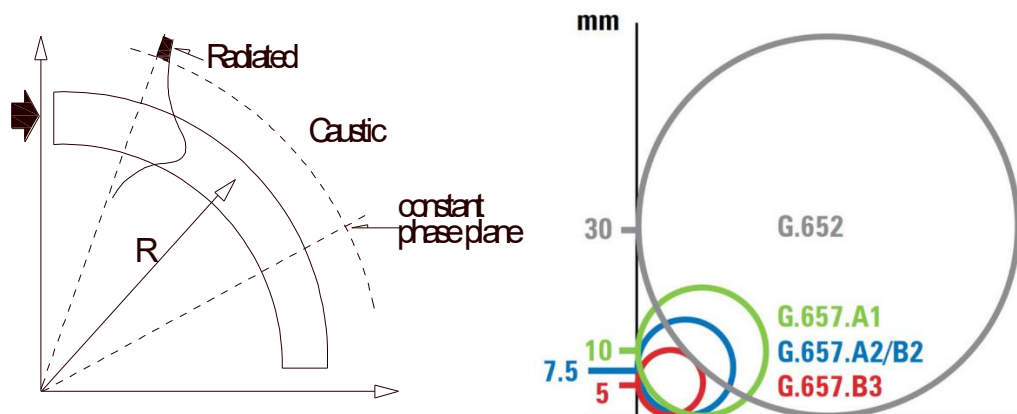
ค่าการสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจายแสงแบบเรย์เลห์มีค่าประมาณ  $0.3 \text{ dBkm}^{-1}$  ที่ความยาวคลื่น  $1300 \text{ nm}$  และ  $0.18 \text{ dBkm}^{-1}$  ที่ความยาวคลื่น  $1550 \text{ nm}$  ตามลำดับ

- **แบบมี (Mie Scattering)** หรือเรียกอีกอย่างว่า Uniformity Loss เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ทางโครงสร้างรูปทรงกระบอกของเส้นใยแก้วนำแสง สาเหตุมาจาก

ความผิดปกติของรอยต่อระหว่าง Core กับ Cladding ทำให้ค่าดัชนีการหักเหระหว่าง Core กับ Cladding แต่ละช่วงความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงมีการสูญเสียเกิดขึ้น และจากความผันแปรของเส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อให้ส่งผลกับแสงที่ตกกระทบเกิดการกระจัดกระจายออก การสูญเสียแสงแบบนี้จะแปรผันโดยตรงกับความยาวคลื่นตามสมการที่ (3)

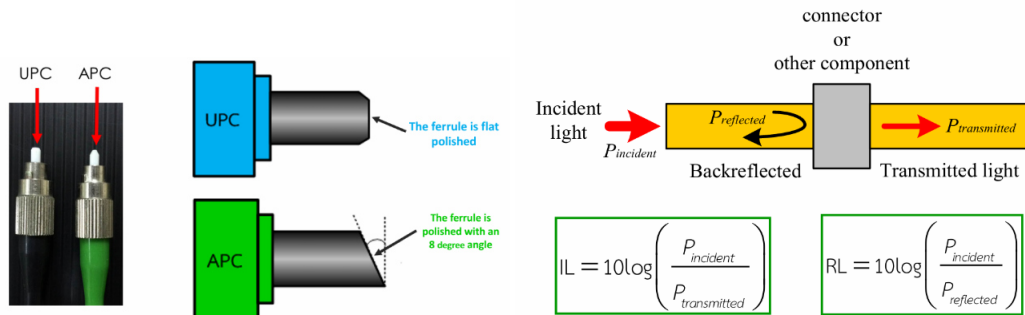
$$\text{Mie Scattering Loss} = \frac{\lambda}{10} \quad (3)$$

**การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending Loss)** ของเส้นใยแก้วนำแสงแบ่งเป็น Micro Bend และ Macro Bend รายละเอียดของ Micro Bend เกิดจากการดัดงอเส้นใยแก้วนำแสงเกินกว่าขีดจำกัด เกิดรอยร้าวหรือการโค้งงอขนาดเล็กภายในเส้นใยแก้ว การบีบอัดเส้นใยแก้วให้แบนราบหรือทำให้เกิดการโค้งงอขนาดเล็ก จากการสั่นสะเทือนของโครงสร้างที่รองรับเส้นใยแก้วอาจทำให้เกิดการโค้งงอซ้ำ ๆ การขูดขีดหรือการกระทบทำให้เกิดรอยขีดข่วน จนทำให้การส่งสัญญาณแสงภายในเส้นใยแก้วมีการสูญเสียหรือการหักเหของแสง



ภาพประกอบที่ 7. แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอ

Macro Bend คือการโค้งงอที่มีขนาดใหญ่กว่า Micro Bend ของเส้นใยแก้วนำแสง เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยถูกงอเกินกว่ารัศมีขั้นต่ำต่ำกว่าที่มาตรฐานสายประเภทนั้น ๆ กำหนดตามภาพประกอบที่ 7. เมื่อเส้นใยถูกงอมากเกินไป แสงที่เดินทางอยู่ภายในแกนกลางของเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการหักเหออกนอกแกนกลางมากขึ้นแสงกระจายตัวออกไปหลายทิศทาง ยิ่งรัศมีการโค้งน้อยลงเท่าไรความรุนแรงของ Macro Bend ก็จะมีมากขึ้นเท่านั้น ทำให้สัญญาณอ่อนลงและสูญเสียข้อมูลไป แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นจะไวต่อการเกิด Macro Bend มากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นยาว การสูญเสียสัญญาณที่เกิดจาก Macro Bend จะทำให้ระยะทางในการส่งข้อมูลลดลง



Credit: Dr. Sammart Sang-Ngern

ภาพประกอบที่ 8. Connection loss

**Connection loss** การสูญเสียแสงที่เกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Connection Loss) เกิดขึ้นจากการเชื่อมต่อที่ไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นบริเวณรอยเชื่อมต่ออาจเกิดช่องว่างขนาดเล็ก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียแสงจากการสะท้อนกลับเรียกว่า "Fresnel Reflection" ทำให้เกิดการสูญเสียที่เรียกว่า "Fresnel Loss" สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$\text{Fresnel loss} = -10 \log(1 - r) \quad (4)$$

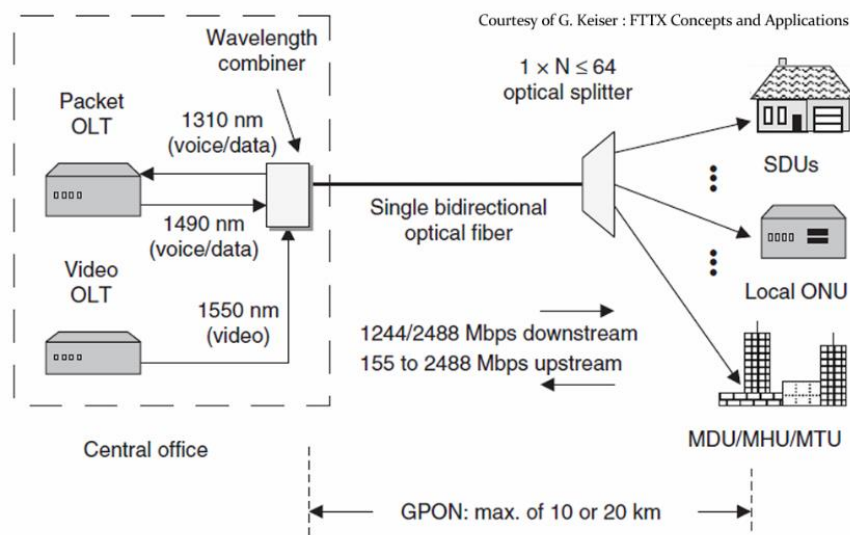
เมื่อ

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

$r$  = ขนาดของ Fresnel Reflection

$n_1$  = ดัชนีการหักเหของ Core

$n$  = ดัชนีการหักเหของตัวกลางที่อยู่ระหว่าง



ภาพประกอบที่ 9. FTTH-GPON Network

บริการ FTTx โครงข่าย ODN มาตรฐานกำหนดค่า Loss ที่สำคัญดังนี้

- 1) Optical Connector Loss  $\leq 0.40 \text{ dB /Point}$
- 2) Splice Loss  $\leq 0.05 \text{ dB /Point}$
- 3) Safety Margin ระหว่างอุปกรณ์ FDF ถึง ODP/SDP  $\geq 3.00 \text{ dB}$
- 4) Differential Optical Path Loss  $\leq 15.00 \text{ dB}$
- 5) Optical Return Loss (ORL)  $\geq 32.00 \text{ dB}$
- 6) Connector SC/APC Return Loss  $\geq 60.00 \text{ dB}$
- 7) Connector SC/UPC Return Loss  $\geq 55.00 \text{ dB}$
- 8) ค่าลดทอนสัญญาณ (Attenuation Loss) ของเส้นใยแก้วนำแสง (ITU G.657A)
  - ความยาวคลื่น 1310 nm  $\leq 0.35 \text{ dB /km}$
  - ความยาวคลื่น 1383 nm  $\leq 0.33 \text{ dB /km}$
  - ความยาวคลื่น 1490 nm  $\leq 0.27 \text{ dB /km}$
  - ความยาวคลื่น 1550 nm  $\leq 0.25 \text{ dB /km}$
  - ความยาวคลื่น 1625 nm  $\leq 0.27 \text{ dB /km}$

## 5.2 ปัญหา High Loss และ Differential Optical Path Loss โครงข่าย ODN

บริการ FTTx เทคโนโลยี GPON (Gigabit Passive Optical Network) มีจำนวน 64 Port/Pon ค่าลดทอนทางแสง (Attenuation Range) ตามมาตรฐาน ITU-T Rec. G.984.2 Class B+ ไม่เกิน 28 dB ความยาวเส้นใยแก้วนำแสงไม่เกิน 20 km จำนวน Splitter ไม่เกิน 2 ชั้น (Order) บริการ FTTx ระหว่าง OLT กับ ONU/ONT รับส่งข้อมูลผ่านโครงข่าย ODN ระบบ TDM (Time Division Multiplexing) สามารถส่งข้อมูลหลายๆ ช่องทางในเวลาเดียวกันผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียวกัน โดยการแบ่งเวลาในการส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้หลายๆ คนได้

โครงข่าย ODN บริการ FTTx ค่า Loss ที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษคือค่า High Loss และค่า DOPL (Differential Optical Path Loss) หรือ Diff. Path Loss

### High Loss

ค่า High Loss โครงข่าย ODN มีปัจจัยการเกิดได้หลายสาเหตุ เช่น ค่า High Loss จากปัญหาจากเส้นใยแก้วนำแสงไม่ได้มาตรฐาน (กรณีนี้เกิดน้อยมาก) เส้นใยแก้วนำแสงมีการโค้งงอ (Bending) หรือถูกกดทับ จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงมีแรงบิดแรงดึงสร้างความเสียหายที่จุดต่อ (Splice Loss) อุปกรณ์ Connector แกน Ferrule ชำรุด หน้าสัมผัสไม่สะอาด (Connector Loss)

การเกิด High Loss สามารถเกิดได้ทั้งในขณะสร้างโครงข่าย ODN หรือหลังจากให้บริการ FTTx ไปแล้วในระยะหนึ่ง ซึ่งมีปัญหาสัญญาณแสงเกิดค่า Loss มากกว่ามาตรฐานของโครงข่าย ODN ทำให้ระบบ FTTx มีสัญญาณแสงลดลงจากการใช้งานปกติ ระบบ FTTx Margin loss เทคโนโลยี GPON  $\leq 28\text{ dB}$  (Management p 31-32 dB) การเกิด High loss จะทำให้สัญญาณแสงที่รับและส่งเกิดการสูญเสียมากหรือน้อยขึ้นกับค่า High Loss ที่เกิด ผลกระทบนี้จะเกิดขึ้นทั้งฝั่ง RX-ONU และ RX-OLT ถ้า High Loss เกิดฝั่งเคเบิล OFC (ก่อนตู้ SDP) ค่าของ RX-ONU และ RX-OLT จะมีค่า Loss สูง เกิดปัญหาเป็นกลุ่มในทิศทางฝั่งเคเบิล OFC แต่ถ้าค่า High Loss เกิดเพียง Port เดียว (หลัง Splice) จากตู้ SDP ไปแล้ว (Drop Wire OFC) จะมีค่า Loss เกิดขึ้นเฉพาะวงจร Port นั้น ๆ

การเกิด High Loss อาจทำให้ขบวนการแปลงข้อมูลจากแสงเลเซอร์เป็นสัญญาณ Digital เกิดการผิดเพี้ยนไม่สามารถวิเคราะห์ค่าแสงที่ได้รับมีค่าเป็น “0”(แสงดับ) หรือ “1”(แสงติด) เมื่อจำนวนการรับส่งที่ผิดเพี้ยนสะสมจำนวนมากที่เรียกว่าเกิด Bit Error Rate (จำนวนข้อมูลที่ผิดเพี้ยนเปรียบเทียบกับจากการรับส่งข้อมูล) บริการ FTTx ใน PON เดียวกันใช้เส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียวให้บริการลูกค้าหลายราย แม้ว่าเกิด High Loss เพียง Port เดียวใน PON นั้น การรับส่งข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ ONU Port นี้จะมีการร้องขอข้อมูลใหม่ซ้ำ ๆ ภาพรวมก่อให้เกิดการทำงานที่ล่าช้าใน PON นี้ ส่งผลกระทบต่อ ONU ตัวอื่นใน PON เดียวกันเกิดความล่าช้าตาม ดังนั้นค่า High Loss ที่เกิดขึ้นเพียง Port เดียวอาจผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการของ FTTx ในภาพรวมของ PON นั้น

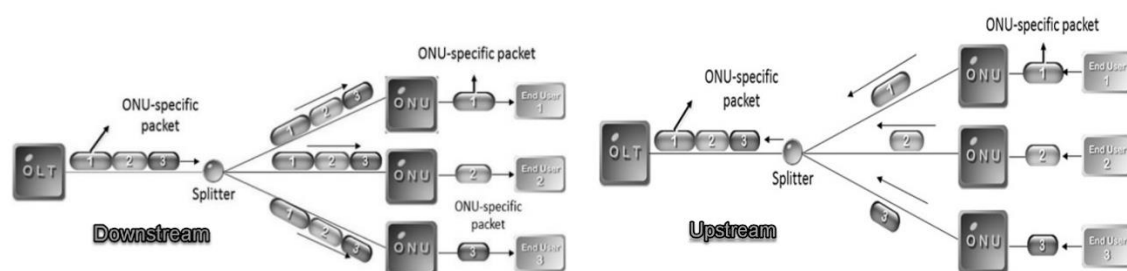
ในบางกรณี ONU ยัง Sync. อยู่แต่ Port นี้มีค่า High Loss สูง เกิด Bit Error Rate สะสมปานกลางถึงสูง อุปกรณ์ OLT จะทำการหยุดการรับส่งข้อมูลกับ ONU ตัวนี้ (ยังมีสัญญาณ Sync.) เพื่อรักษาคุณภาพของ ONU ตัวอื่นใน PON เดียวกัน สัญญาณของ PON นี้ยัง Sync. ปกติทำให้ผู้ปฏิบัติงานที่วิเคราะห์เหตุเสียเข้าใจว่าอุปกรณ์ Hank จึงทำการ “ปิด/เปิด” หรือ Reboot Port ใหม่ เพื่อให้ ONU กลับมาทำงานได้ แต่ค่า High Loss มิได้ถูกแก้ไขจึงเป็นเหตุให้การบริการไม่มีเสถียรภาพ รวมถึงขาดคุณภาพในการให้บริการ ระบบรวม Management System แจ้งเหตุเสียซ้ำ ส่งผลต่อความพึงพอใจในการให้บริการสุดท้ายลูกค้าอาจยกเลิกการใช้บริการ FTTx

### Differential Optical Path Loss

ค่า Differential Optical Path Loss (DOPL) คือค่า Loss ระหว่าง Port ใน PON เดียวกัน มาตรฐานกำหนดค่า  $\text{DOPL} \leq 15\text{ dB}$  ปัญหาค่า DOPL ต้องป้องกันตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ เพราะหาก ONU Port ใดที่ตู้ SDP ของ PON เดียวกันมีค่า Loss ความแตกต่างกับ ONU ตัวอื่นมากกว่า  $15\text{ dB}$  ทำให้เกิดคาบเวลาในการติดต่อสื่อสารระหว่าง OLT กับ ONU ใน PON เดียวกันแตกต่าง ค่า DOPL คำนวณได้ตามสมการที่ (5)

$$\text{Differential Optical Path Loss (dB)} = a \cdot d \quad (5)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย ( $a$ ) = ค่า Loss ( $dB$ ) คำนวณจากสมการ (1)  
 ระยะทาง ( $d$ ) = หน่วยกิโลเมตร (km)



Credit: www.tutorialspoint.com

ภาพประกอบที่ 10. การรับส่งข้อมูล GPON FTTx รับส่งแบบ TDMA

การรับส่งข้อมูลเทคโนโลยี GPON FTTx รับส่งแบบ TDMA (Time Division Multiple Access) ใช้เทคนิคการแบ่งเวลาเพื่อใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน กระบวนการทำงาน OLT จะสร้างตารางเวลาออกเป็นช่วงเล็ก ๆ เรียกว่า "Time Slot" กำหนดให้ ONU แต่ละตัวและ OLT มี Time Slot ของตัวเองตามเวลาที่กำหนดในการรับส่งข้อมูลตามภาพประกอบที่ 10. ONU แต่ละตัวรับส่งข้อมูลตาม Time Slot ที่กำหนด เมื่อ ONU ตัวนี้เกิดปัญหา DOPL ระบบมีค่า Loss มากกว่า  $15\text{ dB}$  แสงใช้เวลาในการเดินทางนานขึ้น ONU ตัวอื่นต้องคอยเวลาตาม Time Slot ในการรับส่งข้อมูล เกิดปัญหาสัญญาณ Delay ออกไป ทำให้คุณภาพบริการของ ONU ตัวอื่นมีคุณภาพด้อยลงเป็นลูกโซ่

ปัญหา DOPL อาจมีสาเหตุมาจากคุณภาพของการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยเครื่อง Fusion Splicer หรือ Connector มีค่า Loss สูง ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงนำแสงที่แตกแขนงออกไปมีความยาวแตกต่างกันมาก ค่า Loss และ/หรือความยาวสายทำให้สัญญาณแสงต้องเดินทางระยะทาง Port นั้นๆ ใน PON แตกต่างออกไปมากกว่า  $15\text{ dB}$  การออกแบบที่ผิดพลาดใส่ Splitter หลายชั้น หรือมีการนำสัญญาณไปให้บริการจาก Splitter ที่ต่างชั้นกัน คุณภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ เช่น Splitter อุปกรณ์ ONU หรือการรบกวนจากภายนอกสายเกิดการโค้งงอ มีผลต่อการสูญเสียสัญญาณได้เช่นกัน

### ความแตกต่างระหว่าง High Loss กับ Differential Optical Path Loss

โดยทั่วไปมักจะสับสนระหว่างค่า High Loss (เกิดหลังใช้งาน) กับค่า Differential Optical Path Loss (เกิดตอนวางระบบ) เพราะเมื่อเอาค่า RX-ONU ใน PON เดียวกันมาเปรียบเทียบแล้ว พบว่ามีค่าเกินกว่า  $15\text{ dB}$  มักจะบอกว่าเกิด DOPL ซึ่งเป็นการเข้าใจผิด แต่ที่แท้จริงแล้วนั่นคือการเกิด High Loss ขึ้นใน PON เนื่องจากค่า Loss รวมในโครงข่าย ODN มากกว่า Margin Loss จากการคำนวณ ค่า Loss เกิดจากจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง (High Loss) ต้องไปแก้ไขปัญหาดังที่ต้นเหตุ เพราะถ้าการออกแบบถูกต้องจะไม่มีโอกาสเกิด DOPL ได้เลย

ตามมาตรฐานนั้นกำหนดการวัด DOPL ใช้วัดค่าที่ OLT มายัง SDP/ODP (จุดอ้างอิง) ค่า Loss แต่ละ Port ต้องแตกต่างกันไม่เกิน 15 dB มิได้ใช้ค่า RX-ONU ใน Port เดียวกันมาเปรียบเทียบ เมื่อพบว่า RX-ONU มีค่าต่างกันเกิน 15 dB แล้วระบุว่าเป็น DOPL เป็นสิ่งที่ไม่ถูกต้อง

### 5.3 รวบรวมปัญหาสาย N-MA for FTTx ภาคสนาม

ส่วนพัสดุได้รับแจ้งปัญหาสาย N-MA for FTTx เกิด High Loss หลังติดตั้งใช้งานไประยะหนึ่ง เพื่อวิเคราะห์ปัญหาส่วนพัสดุประสานงานส่วนมาตรฐานและส่วนทดสอบร่วมเก็บข้อมูลในพื้นที่สำราญราษฎร์ ซึ่งพบปัญหาการใช้งานสาย N-MA for FTTx บริการ FTTx

ข้อมูลเบื้องต้นจากพื้นที่สำราญราษฎร์บริการ FTTx ที่ติดตั้งด้วยสาย N-MA for FTTx ผ่านไปประมาณ 2 อาทิตย์เริ่มมีปัญหา High Loss เกิดขึ้นเมื่อไปตรวจสอบเจอปัญหา High Loss ตำแหน่งจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างสาย N-MA for FTTx กับสายของอุปกรณ์ OFTK ก่อนเข้าสู่ SDP (ไม่ Loop สาย) แต่จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงตำแหน่งก่อนเข้าอุปกรณ์ ONU ทุก Port ไม่มีปัญหา (Loop สาย)

พนักงานซ่อมบำรุงตัดต่อจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงใหม่ผ่านไปประมาณ 2-4 อาทิตย์ ปัญหาเดิมกลับมาอีกถึง 60% เมื่อเกิดปัญหาซ้ำ ๆ พนักงานซ่อมบำรุงได้เปลี่ยนไปใช้สายป้องกันสัตว์กัดแทะ Armoured Round Type รุ่นเดิมทดแทน (ชั่วคราว) พร้อมระงับการใช้งานสาย N-MA for FTTx ชั่วคราวและแจ้งส่วนพัสดุถึงปัญหาที่เกิดขึ้น



ภาพประกอบที่ 11. เก็บข้อมูลปัญหาสาย N-MA for FTTx พื้นที่สำราญราษฎร์

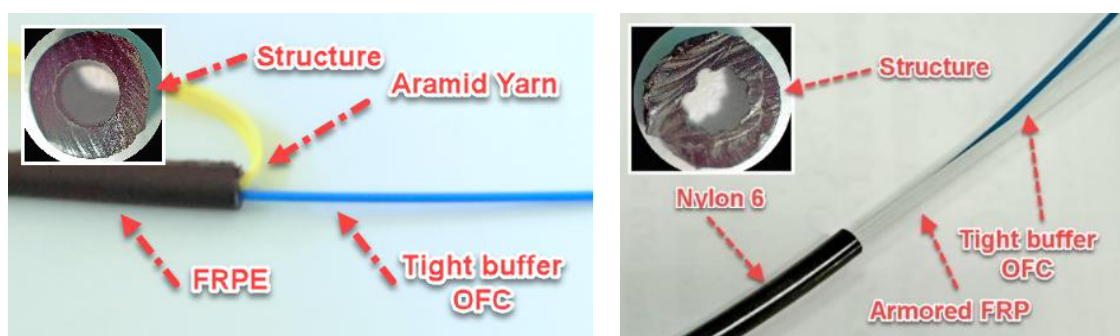
ขณะที่บริษัท NT ศึกษาวิจัยออกแบบสาย N-MA for FTTx (พ.ศ. 2563) กฟน. และ กฟภ. ยังไม่ออกประกาศข้อห้ามเรื่องการloop สายสื่อสารบนเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าทั้งสองจากปัญหาสายสื่อสารบนเสาไฟฟ้ากรงรัง (พ.ศ. 2567) ตามภาพประกอบที่ 12. (ซ้ายมือ) กฟน. ออกประกาศกำหนดเสาแต่ละต้นห้ามมีสายกระจาย (Fiber Drop Cable) เกิน 12 เส้นต่อผู้ให้บริการ จำนวนสายรวมทุกผู้ให้บริการไม่เกิน 60 เส้น ความยาวสายกระจายไม่เกิน 500 m และห้ามมีวงรอบ (Loop)

**ยกเว้นวงรอบเคเบิล (Loop Cable)** อนุญาตเฉพาะจุดตัดต่อสายสื่อสาร (OFC) เท่านั้น ส่วน กฟภ. ระบุรายละเอียดเพิ่มเติม Loop Cable ต้องไม่เกิน 2 วงต่อดัน แต่ละวง OD ไม่เกิน 60 เซนติเมตร (cm) สายในวง Loop ยาวไม่เกิน 15 m



ภาพประกอบที่ 12. สาย Optic Drop Wire ตำแหน่งตู้ SDP ห้าม Loop สาย (ภาพกลาง)

การติดตั้งและเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงสาย N-MA for FTTx ขณะศึกษาวิจัย (พ.ศ. 2563) จะ Loop สาย N-MA for FTTx ก่อนเข้าสู่ตู้ SDP และอุปกรณ์ ONU เพื่อสายไว้สำหรับซ่อมบำรุง (Service) จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองฝั่งอยู่ในวง Loop ต่อมา (พ.ศ. 2567) กฟน. และ กฟภ. ประกาศห้าม Loop สาย Fiber Drop Cable ดังนั้นสาย N-MA for FTTx ก่อนเข้าสู่ตู้ SDP ไม่มี Loop ซึ่งตำแหน่งนี้เกิดปัญหา High loss เกิดที่ตำแหน่งนี้ แต่จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงก่อนเข้าสู่อุปกรณ์ ONU ยังคงมี Loop เหมือนเดิมกลับไม่มีปัญหา High loss จากข้อสังเกตปัญหา High Loss จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างสาย Fiber Drop Cable กับอุปกรณ์ OFTK แตกต่างที่สายมี Loop และสายไม่มี Loop



ภาพประกอบที่ 13. โครงสร้างสาย OFC Round Type เดิมเปรียบเทียบกับสาย N-MA for FTTx

จากปัญหา High Loss บริการ FTTx ที่เกิดขึ้นเฉพาะสาย N-MA for FTTx แต่สาย Armoured Round Type ไม่มีปัญหา เมื่อพิจารณาการติดตั้งใช้งานจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงใช้ชุดอุปกรณ์ OFTK เหมือนกันแต่อุปกรณ์จับยึดและโครงสร้างสายต่างกันตามภาพประกอบที่ 13. กล่าวคือ

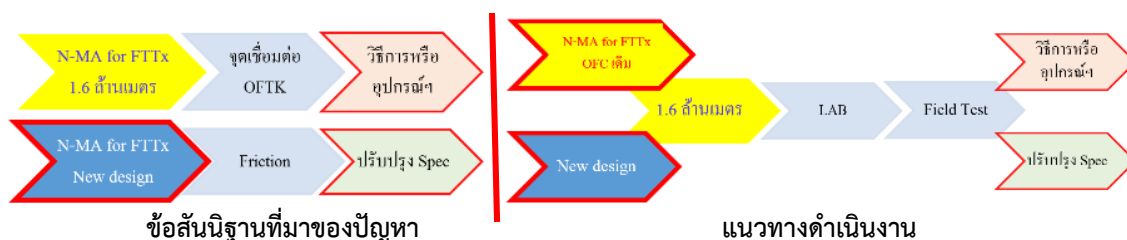
- 1) สาย Armoured Round Type ภายในวาง Tight Buffer พันด้วย Aramid Yarn ฉนวนใช้วัสดุ FRPE จับยึดสายด้วย Drop Wire Clamp
- 2) สาย N-MA for FTTx โครงสร้างภายใน Tight Buffer หุ้มรอบด้วย FRP (Fiber Reinforced Plastic) จำนวน 8 แกน แต่ละแกน OD 0.5 mm ฉนวนใช้วัสดุ Nylon-6 (Tight Buffer ไม่พัน Aramid Yarn) จับยึด N-MA Clamp แนวตรงรูปลิ้ม

ทดลองใช้มือดึง Tight Buffer เปรียบเทียบโครงสร้างสาย Fiber Drop Cable ทั้งสองโครงสร้างพบว่าสาย OFC Round Type โครงสร้างเดิมไม่มีแรงเสียดทาน (Friction) ระหว่าง Tight Buffer กับฉนวนหุ้มเลย ขณะที่สาย N-MA for FTTx มีแรงเสียดทานดึงมือ จึงมีข้อสมมุติฐานเบื้องต้นว่าแรงเสียดทานของ Tight Buffer จะส่งผลต่อจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงหรือไม่

ส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ (ทวช.) ส่วนงานเดิมก่อนปรับโครงสร้างใหม่เป็นส่วนสอบเทียบและบำรุงรักษาอุปกรณ์โทรคมนาคม (ทวฐ.) ได้เรียนเชิญผู้เกี่ยวข้องร่วมระดมสมอง ณ ห้องประชุม ทวช. ประกอบด้วย ส่วนงานพัสดุ ส่วนงานมาตรฐาน ส่วนขายและบริการลูกค้ากรุงเทพกลาง 1 สำราญราษฎร์ (บนน.1.4) ส่วนขายและบริการลูกค้าปทุมธานี 1 (บนน.2.4) ตัวแทนโรงงาน JIANGSU XDT INTERNATIONAL CO., LTD (XDT) ผู้ผลิตสายจากประเทศจีนและตัวแทน บริษัท ไฟเบอร์ ออฟ-ติค คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM) ตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทย โดยมีส่วนงาน ทวช. เป็นเจ้าภาพ



ภาพประกอบที่ 14. ประชุมผู้เกี่ยวข้องกำหนดแนวทางแก้ปัญหา High Loss สาย N-MA for FTTx

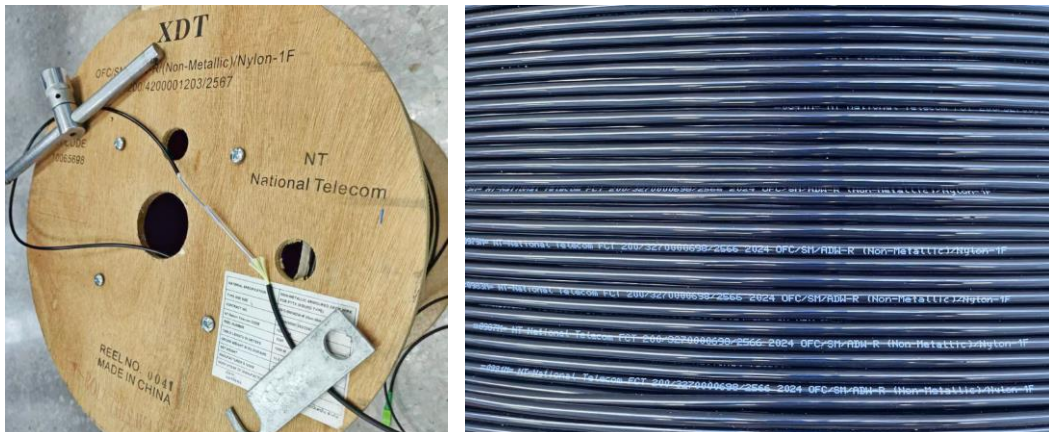


ภาพประกอบที่ 15. กำหนดแนวทางแก้ปัญหา High Loss สาย N-MA for FTTx

ความเห็นที่ประชุมสันนิษฐานความน่าจะเป็นอาจเกิดจากจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างสาย N-MA for FTTx กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK ด้วยเหตุผลตอนทำวิจัยจุดเชื่อมต่อฯ อยู่ในวง Loop แต่ตอนใช้งาน กพน. และ กพภ. ห้าม Loop สายอาจเกิดแรงดึงและแรงบิดจุดเชื่อมต่อฯ อีก

สาเหตุแรงเสียดทานระหว่าง Tight Buffer กับฉนวนหุ้มของสาย Armoured Round Type (ไม่มีแรงเสียดทาน) และสาย N-MA for FTTx (ตึงมือ) แตกต่างกัน มติที่ประชุมร่วมกันกำหนดแนวทางดำเนินงาน ดังนี้

- 1) ศึกษาหาแก้ปัญหาสาย N-MA for FTTx ที่จัดซื้อเข้าคลังพัสดุ 1,600,000 m ที่เกิดปัญหา High Loss หลังติดตั้งใช้งาน
- 2) ปรับปรุงข้อกำหนด (ถ้ามี) หรือศึกษาวิธีการติดตั้งที่เหมาะสมแก้ปัญหาระยะยาว



ภาพประกอบที่ 16. โรงงาน XDT ผลิตสาย N-MA for FTTx ต้นแบบแรงเสียดทานน้อย

ที่ประชุมมอบหมายให้โรงงาน XDT ผลิตสาย N-MA for FTTx ที่มีแรงเสียดทานน้อยจำนวน 1 ไร่ (1,000 m) ตามภาพประกอบที่ 16. เพื่อนำมาทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลและทางแสง เปรียบเทียบกับสาย N-MA for FTTx ที่ บริษัท NT จัดซื้อเข้าคลังพัสดุและสาย Armoured Round Type ป้องกันสัตว์กัดแทะ (มีโลหะ) ในห้องปฏิบัติการ

#### 5.4 ทดสอบสาย Armoured Round Type และ NMA for FTTx ในห้องปฏิบัติการ

ข้อมูลจากพื้นที่ปัญหา High Loss โครงข่าย FTTx เกิดที่ตำแหน่งสาย Fiber Drop Cable เชื่อมต่อกับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK ก่อนเข้าสู่ SDP นอกอาคารและเกิดเฉพาะสาย NMA for FTTx ที่ไม่ Loop สายเท่านั้น วิเคราะห์เบื้องต้นปัญหาอาจมาจาก

- 1) โครงสร้างสายแตกต่างกัน
  - สาย Armoured Round Type แกนกลาง Tight Buffer พันด้วย Aramid Yarn ช่วยรับแรงดึงและแรงบิด หุ้มรอบด้วย Spiral Steel Pipe ฉนวนหุ้ม FRPE คุณสมบัติยืดหยุ่น แกน Tight Buffer มีแรงเสียดทานน้อย เมื่อใช้มือดึง Tight Buffer จะไหลตามมือ (ตัวอย่างยาว 5 m)
  - สาย N-MA for FTTx แกนกลาง Tight Buffer หุ้มรอบ FRP กลม 8 แกน (Tight Buffer ไม่มี Aramid Yarn) แกน FRP ผิวสัมผัสแข็ง ฉนวนหุ้ม Nylon-6 ผิวลื่น

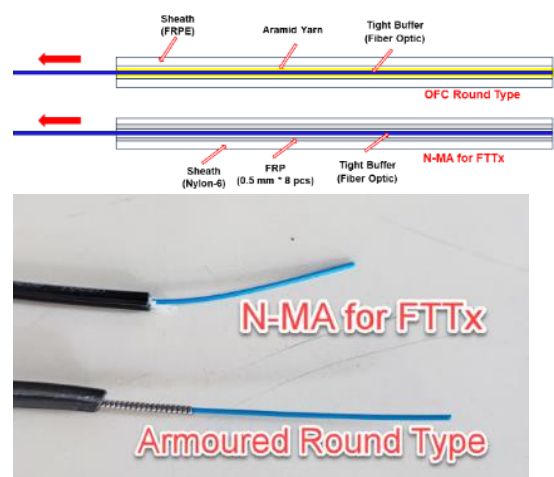
และแข็งแรงมากป้องกันการกัดแทะ เมื่อใช้มือดึง Tight Buffer มีแรงเสียดทานมากกว่า (ตัวอย่างยาว 5 m)

- 2) อุปกรณ์จับยึดแบ่งเป็นสาย Armoured Round Type จับยึดด้วย Drop Wire Clamp ตอนจับยึดแยกเฉพาะสายสะพานออกมาเข้า Clamp แต่สาย N-MA for FTTx จับยึดสายทั้งหมดด้วยอุปกรณ์จับยึด N-MA Clamp แนวตรงรูปลิ้ม
- 3) ทักษะผู้ปฏิบัติงาน จุดเชื่อมต่อด้วยเครื่อง Fusion Splice และคุณภาพสายของชุดอุปกรณ์ OFTK

เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเบื้องต้น นำสาย Armoured Optic Drop Wire for FTTx (สายป้องกันสัตว์กัดแทะมีโลหะ) และสาย N-MA for FTTx (สายป้องกันสัตว์กัดแทะไม่มีโลหะ) มาทดสอบในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้สาย N-MA for FTTx ที่นำมาทดสอบสุ่มตัวอย่างจากสายที่จัดหาเพื่อการวิจัย (Research) รวม 122,000 m (พ.ศ.2564) สายจัดซื้อเข้าคลัง (Warehouse) รวม 1,600,000 m (พ.ศ.2567) และสายที่ XDT ปรับปรุงใหม่ (New Design) (พ.ศ.2567) อย่างละ 1 ระวัง

#### 5.4.1 ทดสอบสายแรงเสียดทาน (Friction)

แรงเสียดทานระหว่าง Tight Buffer กับวัสดุห่อหุ้มเมื่อมีแรงบิดแรงดึงระหว่างจุดเชื่อมต่อจะส่งผลให้เกิด High Loss จุดเชื่อมต่อหรือไม่ ทดสอบค่าแรงเสียดทานตัวอย่างสาย Armoured Optic Drop Wire for FTTx จำนวน 1 ตัวอย่างและสาย N-MA for FTTx จำนวน 3 ตัวอย่าง ด้วยเครื่องวัดแรงดึงละเอียด (Force Gauge) ตามภาพประกอบที่ 17.



ภาพประกอบที่ 17. ทดสอบแรงเสียดทานระหว่าง Tight Buffer กับวัสดุห่อหุ้ม

ตารางที่ 1. ค่าแรงเสียดทานระหว่าง Tight Buffer กับวัสดุห่อหุ้ม

| Sample | Armoured<br>Optic Drop<br>Wire for FTTx | N-MA for FTTx      |                     |                      | Remark                   |
|--------|-----------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|
|        |                                         | Research<br>(2021) | Warehouse<br>(2024) | New Design<br>(2024) |                          |
| 1      | อ่านค่าไม่ได้                           | 46.00              | 19.88               | 3.80                 | sample length<br>100 cm. |
| 2      |                                         | 50.00              | 10.80               | 8.50                 |                          |
| 3      |                                         | 48.20              | 13.50               | 4.20                 |                          |
| Aver   |                                         | 48.07              | 14.73               | 5.50                 |                          |
| Unit   | Newton                                  |                    |                     |                      |                          |

ผลการทดสอบไม่สามารถอ่านค่าแรงเสียดทานของสาย Armoured Optic Drop Wire for FTTx ที่หุ้มรอบด้วย Spiral Steel Pipe ได้เนื่องจากมีค่าแรงเสียดทานน้อยมากเพียงใช้มือดึง Tight Buffer ก็เลื่อนไหลตามมือ สาย N-MA for FTTx อีก 3 ตัวอย่างผลการทดสอบแรงเสียดทานระหว่าง Tight Buffer กับวัสดุห่อหุ้มตามตารางที่ 1.

เปรียบเทียบแรงเสียดทานสาย N-MA for FTTx ทั้ง 3 ตัวอย่าง สายฯ ขณะทำวิจัยค่าแรงเสียดทานสูงสุด (48.07 N) ติดตั้งใช้งานปลายสายสายจุดเชื่อมต่อ Loop ทั้ง 2 ปลาย สายฯ ที่จัดซื้อมาใช้งาน (Warehouse) มีค่าแรงเสียดทานเพียง 30 % (14.73 N) ของสายฯ ขณะทำวิจัย สรุปเบื้องต้นแรงเสียดทานระหว่าง Tight Buffer กับวัสดุห่อหุ้มไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานแต่การ Loop และไม่ Loop จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงมีนัยยะสำคัญต่อปัญหา High Loss

#### 5.4.2 อุปกรณ์จับยึดสาย Fiber Drop Cable

สาย Armoured Round Type โครงสร้าง “Fig.8” สายสะพานรับแรงดึงเส้นลวดโลหะ OD 1.2 mm อยู่ด้านบนมีร่อง (Web) แยกเส้นใยแก้วนำแสงอยู่ด้านล่าง มาตรฐานกำหนดแรงดึงใช้งาน  $\geq 800$  N (81.57 Kgf.) การติดตั้งใช้งานแยกเฉพาะสายสะพานออกมาพันยึดกับ Drop Wire Clamp ส่วนสาย N-MA for FTTx โครงสร้างสายกลมไม่มีโลหะ มาตรฐานกำหนดแรงดึงใช้งาน  $\geq 300$  N (30.59 Kgf.) จับยึดด้วยอุปกรณ์ N-MA Clamp แนวตรึงรูปลิ้ม การจับยึดต้องสอดสายทั้งหมดเข้าร่องของอุปกรณ์ N-MA Clamp มีแรงกดทับบนสายฯ ทั้งนี้แรงกดทับจะผกผันตามแรงดึง พื้นที่ที่มีข้อกังวลถ้ามีแรงดึงถึงจุดหนึ่งเกิดแรงกดทับจะส่งผลให้เกิดค่า High Loss หรือไม่

ทดสอบการจับยึดเพื่อหาค่าแรงดึงและแรงกดทับจากอุปกรณ์จับยึดสายทั้ง 2 โครงสร้างด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแนวนอน (Horizontal Tensile Testing Machine) ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์จับยึด 6 m ความเร็วทดสอบ 50 mm/min ขณะทดสอบป้อนสัญญาณแสงตลอดการทดสอบตามภาพประกอบที่ 18. และ 19.

ผลการทดสอบอุปกรณ์จับยึดสาย Fiber Drop Cable ทั้ง 2 โครงสร้างค่ารับแรงดึงผ่านมาตรฐานการติดตั้งใช้งาน กล่าวคือสาย Armoured Round Type สายสะพานรับแรงดึงเส้นลวดโลหะ OD 1.2 mm รับแรงดึงแบบทำลายเฉลี่ย 1,578 N (160.91 *Kgf.*) สาย N-MA for FTTx ในคลังพัสดุ ตัวอย่างทดสอบรับแรงดึงแบบทำลายเฉลี่ย 608 N (61.99 *Kgf.*) ขณะทดสอบป้อนสัญญาณแสงฝั่งต้นทางด้วยเครื่อง Optical Light Source ปลายทางวัดสัญญาณแสงด้วยเครื่อง Optical Power Meter ทุกตัวอย่างทดสอบไม่มีค่า Loss เกิดขึ้น (ค่าแสง Open เมื่อสายถึงจุดทำลาย)



ภาพประกอบที่ 18. ทดสอบแรงดึงระหว่างอุปกรณ์จับยึดกับสาย Fiber Drop Cable



ภาพประกอบที่ 19. ป้อนสัญญาณแสงตลอดการทดสอบและแสดงตัวอย่างที่เสียหายจากการทดสอบ

จากปัญหารถเกี่ยวสาย Fiber Drop Cable ผู้เกี่ยวข้องต้องการให้อุปกรณ์จับยึดสายสื่อสารปลดสายออกเมื่อมีแรงกระทำระดับหนึ่ง ส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ (พ.ศ. 2564) และส่วนงานที่เกี่ยวข้องออกแบบอุปกรณ์ N-MA Clamp แนวตรรูปลิ่มให้ปลดสาย N-MA for FTTx ออกเมื่อมีแรงกระทำระดับหนึ่งซึ่งการออกแบบสอดคล้องกับผลทดสอบตามตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. แรงดึงระหว่างอุปกรณ์จับกับยัดสาย Fiber Drop Cable

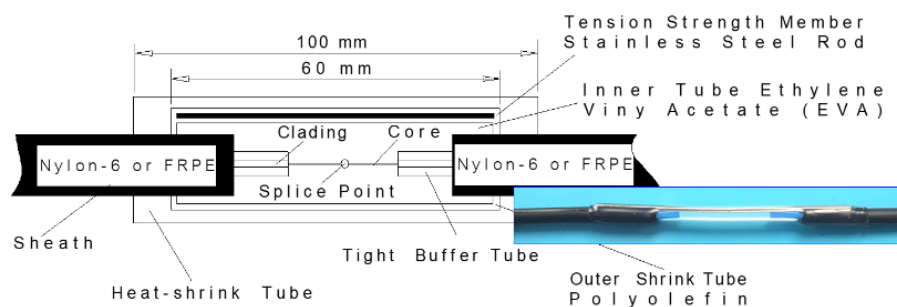
| Sample | Armoured Round Type | N-MA for FTTx   |                  |                   | Remark                                                                                       |
|--------|---------------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                     | Research (2021) | Warehouse (2024) | New Design (2024) |                                                                                              |
| 1      | ++1,578.00          | ++ 573.30       | ** 592.00        | ** 721.40         | Distance 6 meter<br>Speed test 50 mm/min<br>** สายฯ เลื่อนหลุดจาก Clamp<br>++ สายตัวอย่างขาด |
| 2      | ++1,583.00          | ++ 574.20       | ++ 576.60        | ** 668.30         |                                                                                              |
| 3      | ++1,574.00          | ** 598.10       | ** 657.80        | ++ 601.90         |                                                                                              |
| Aver.  | 1,578.33            | 581.87          | 608.80           | 663.87            |                                                                                              |
| Unit   | Newton              |                 |                  |                   |                                                                                              |

สรุปเบื้องต้นอุปกรณ์จับยัดสาย Armoured Round Type และสาย N-MA for FTTx ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งาน โดยเฉพาะสาย N-MA for FTTx ตำแหน่งอุปกรณ์ N-MA Clamp สายที่สอดเข้าภายในอุปกรณ์ถูกกดทับจนเปลี่ยนรูปและสายที่ฉนวนขาดออกจากกันไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน ทุกตัวอย่างทดสอบไม่มีค่า Loss เกิดขึ้นระหว่างทดสอบตามภาพประกอบที่ 19.

#### 5.4.3 จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง

ผลการทดสอบแรงเสียดทานระหว่าง Tight Buffer กับวัสดุห่อหุ้มและแรงดึงระหว่างสายกับอุปกรณ์จับยัดทุกตัวอย่างทดสอบผ่านเกณฑ์ไม่มีค่า Loss เกิดขึ้น ปัจจัยสุดท้ายที่ก่อให้เกิด High Loss คือจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงตามภาพประกอบที่ 20. ข้อแตกต่างตอนทำวิจัยก่อนเข้าสู่ SDP จะ Loop สายเพื่อ Service ในภายหลัง แต่ตอนใช้งานจริง กพน. ห้าม Loop สาย อาจเกิดจุดอ่อน (Weak Point) จากแรงดึงแรงบิด ณ จุดนี้ซึ่งจุดเชื่อมต่อเดิมที่อยู่ใน Loop ไม่ต้องรับแรงดึงแรงบิด

จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย เช่น ผู้ปฏิบัติงานขาดทักษะที่ถูกต้อง เครื่อง Fusion Splice คุณภาพต่ำหรือไม่มีการ Art Test ตามระยะเวลาที่เหมาะสม สุดท้ายคุณภาพชุดอุปกรณ์ OFTK ที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยเฉพาะคุณภาพ Protection Sleeve ที่พื้นที่จัดซื้อแตกต่างกันตั้งแต่สี่ ระยะเวลาในการอบและจุดหลอมเหลวของ EVA (Ethylene Vinyl Acetate)



ภาพประกอบที่ 20. จุดเชื่อมต่อระหว่างสาย Fiber Drop Cable กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK

สาย Armoured Round Type ฉนวนหุ้ม FRPE มีผิวมันหยาบยืดยุ่นสูง สาย N-MA for FTTx ฉนวนหุ้ม Nylon-6 มีผิวลื่นแข็งไม่มีความยืดหยุ่น จากฉนวนหุ้มสายๆ ที่ใช้วัสดุแตกต่างกัน เมื่อนำมาเชื่อมต่อและหุ้มด้วยท่อหดสีดำแบบมีกาว<sup>1</sup> (Heat-shrink Tube) กาวภายในท่อหดสีดำและวัสดุ EVA ของ Protection Sleeve คุณสมบัติในการยึดเกาะมีแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญจนส่งผลให้เกิด High Loss หรือไม่ ทดสอบ “แรงดึง-แรงบิด” ท่อหดสีดำแบบมีกาวกับฉนวนหุ้มที่แตกต่างกัน

นำสายๆ ที่ฉนวนหุ้มเหมือนและแตกต่างกันมาเชื่อมต่อ แยกเป็นจุดเชื่อมต่อหุ้มเฉพาะ Protection Sleeve เพียงอย่างเดียวอย่างละ 3 ตัวอย่าง และหุ้ม Protection Sleeve ตามด้วยท่อหดสีดำแบบมีกาวอีก 3 ตัวอย่าง ทดสอบแรงดึงตามภาพประกอบที่ 21. ผลการทดสอบตามตารางที่ 3.



ภาพประกอบที่ 21. ทดสอบ “แรงดึง” จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง

ตารางที่ 3. แรงดึงจุดเชื่อมต่อระหว่างสาย N-MA for FTTx กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK

| Sample | Splice Protection Sleeve |             |           | Inner Optic Protection Sleeve<br>Covered with Black Heat Shrink Tube |             |           | Remark |
|--------|--------------------------|-------------|-----------|----------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|--------|
|        | Nylon-FRPE               | Nylon-Nylon | FRPE-FRPE | Nylon-FRPE                                                           | Nylon-Nylon | FRPE-FRPE |        |
| 1      | 79.00                    | 88.00       | 85.00     | 78.20                                                                | 223.80      | 109.00    |        |
| 2      | 89.00                    | 78.40       | 82.40     | 99.70                                                                | 224.00      | 107.00    |        |
| 3      | 85.20                    | 85.20       | 84.40     | 113.20                                                               | 220.00      | 111.10    |        |
| 4      | -                        | ***67.00    | -         | -                                                                    | -           | -         |        |
| Aver.  | 84.40                    | 83.87       | 83.93     | 97.03                                                                | 222.60      | 109.03    |        |
| Unit   | Newton                   |             |           |                                                                      |             |           |        |

\*\*\* ตัวอย่างจำลองสถานการณ์หลังเชื่อมต่อใช้ผ้าชุบน้ำลูบให้เย็นตัว

<sup>1</sup> ท่อหดสีดำแบบมีกาวภายในกาวจะละลายเมื่อมีความร้อน เช่น อบร้อนหรือลนไฟ อัตราหดตัว (Shrink Ratio) 3:1

จุดเชื่อมต่อหุ้มเฉพาะ Protection Sleeve รับแรงดึงแบบทำลายเกาะกลุ่มไม่แตกต่างกัน เฉลี่ย 84 N (8.56 *Kgf.*) ทดลองเพิ่มตัวอย่างจุดเชื่อมต่อหุ้มฉนวนระหว่าง Nylon-6 กับ Nylon-6 ใช้ผ้าชุบน้ำชุบ Protection Sleeve ให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ผลการทดสอบค่าแรงดึงลดลงอย่างเป็นนัยยะสำคัญ

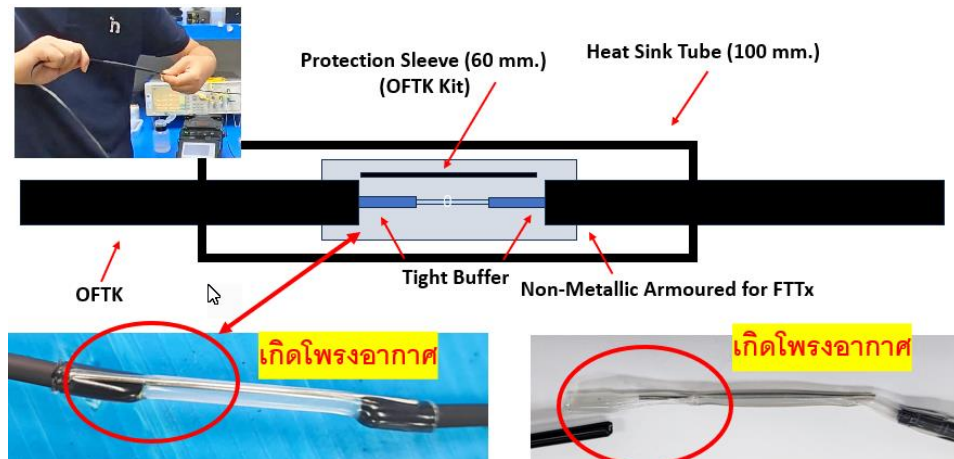
ทดสอบแรงดึงจุดเชื่อมต่อภายใน Protection Sleeve หุ้ม Tight Buffer ก่อนหุ้มทั้งหมด ด้วยท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว ผลการทดสอบจุดเชื่อมต่อระหว่าง Nylon-6 กับ FRPE และระหว่าง FRPE กับ FRPE เกาะกลุ่ม แต่จุดเชื่อมต่อระหว่าง Nylon-6 กับ Nylon-6 มีค่าสูงตามตารางที่ 3.

ทดสอบแรงบิดตัวอย่างเฉพาะจุดเชื่อมต่อระหว่าง Nylon-6 กับ FRPE (จุดเชื่อมต่อที่ใช้งานจริง) บิดจุดเชื่อมต่อระยะใช้มือจับห่าง 300 mm บิดตามและทวนเข็มนาฬิกาจนสุดเกลียว ( $\approx 5-6$  รอบ) ขณะทดสอบป้อนสัญญาณแสง ผลการทดสอบเกิดค่า Loss วิ่งตามแรงบิดค่า Loss 11 ถึง 34 *dB* เมื่อผ่าดูด้านในพร้อมป้อนแสงสีแดงเส้นใยแก้วนำแสงมีจุดร้าวสีแดงปรากฏตามภาพประกอบที่ 22.



ภาพประกอบที่ 22. บิดจุดเชื่อมต่อระหว่างสายๆ เส้นใยแก้วชำรุดเสียหายมีจุดร้าวสีแดงปรากฏ

จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงตามมาตรฐานเดิมปลายของ Protection Sleeve จะหุ้มปลายฉนวนทั้ง 2 ด้าน จุดประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงจุดเชื่อมต่อ ข้อเท็จจริงคุณภาพชุดอุปกรณ์ OFTK มีหลายคุณภาพ ผู้ปฏิบัติ(บางท่าน) ขาดทักษะในการตั้งค่าอุณหภูมิและระยะเวลาอบ Protection Sleeve มากหรือน้อยไป อาจเกิดโพรงอากาศที่ Protection Sleeve ระหว่างฉนวนหุ้มสายกับ Tight Buffer ตามภาพประกอบที่ 23. ผลการทดสอบแรงบิดจุดเชื่อมต่อชำรุดเสียหายสูงถึง 60 % ของตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการ (6 จาก 10 ตัวอย่าง)



ภาพประกอบที่ 23. จุดเชื่อมต่อระหว่างสาย N-MA for FTTx กับสาย OFTK Kit มีไฟพรงอากาศ

โดยสรุปจุดเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx ด้วยชุดอุปกรณ์ OFTK ตามมาตรฐานเดิม ผลการทดสอบสามารถรองรับแรงดึงแนวตรงได้ตามเกณฑ์แต่ “ไม่สามารถรองรับแรงบิดได้”

## 5.5 ศึกษากรรมวิธีเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงรองรับแรงดึงและแรงบิดจุดเชื่อมต่อ

### 5.5.1 ปัญหาจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยชุดอุปกรณ์ OFTK

เชิญเจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องจากพื้นที่สำราญราษฎร์ (บนน.1.4) พื้นที่ปทุมธานี (บนน.2.4) วิศวกรจากโรงงาน XDT และส่วน ทวข. (เจ้าภาพ) ร่วมวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไขปัญหาร่วมทดลองเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx (คลังพัสดุ) ด้วยชุดอุปกรณ์ OFTK ในห้องปฏิบัติการจำนวน 3 ตัวอย่าง จำลองติดตั้งใช้งานเหมือนจริงในสนามตำแหน่งตู้ SDP (ไม่ Loop สาย) จำนวน 5 ตัวอย่าง

ทดลองดึงและบิดจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง (ป้อนสัญญาณแสงตลอดการทดสอบ) ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการเกิด High Loss 2 ตัวอย่าง (จาก 3 ตัวอย่าง) ตัวอย่างทดสอบภาคสนามเกิด High Loss 2 ตัวอย่าง (จาก 5 ตัวอย่าง) สรุปรวมตัวอย่างไม่ผ่านเกณฑ์ 4 ตัวอย่าง (จาก 8 ตัวอย่าง) คิดเป็น 50 % ความเสียหายจุดเชื่อมต่อเกิดจากแรงบิด



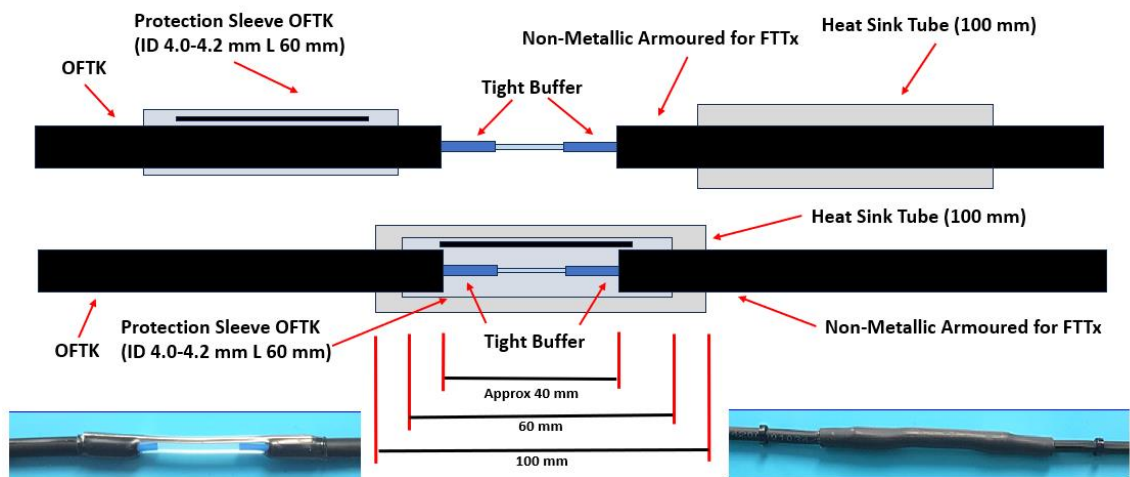
ภาพประกอบที่ 24. ผู้เชี่ยวชาญร่วมติดตั้งสาย N-MA for FTTx กับอุปกรณ์ OFTK ณ สนามจำลอง

ข้อมูลภาคสนามจากปัญหาจุดเชื่อมต่อระหว่างสาย Armoured Round Type กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK ไม่รองรับแรงบิดต่างข้าง บางพื้นที่จุดที่มีกระแสลมรุนแรงหรือจุดเชื่อมต่อไม่อยู่ใน Loop เจอปัญหา High Loss เกิดขึ้น (แรงบิด) ผู้ปฏิบัติงานแก้ปัญหาเพิ่มความแข็งแรงจุดเชื่อมต่อด้วยวิธีหุ้มรัดสายสะพานรับแรงดึงในท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวตำแหน่งจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงตามภาพประกอบที่ 25. ผลการใช้งานสามารถลดปัญหา High Loss ได้อย่างเป็นนัยยะสำคัญ



ภาพประกอบที่ 25. หุ้มรัดสายสะพานรับแรงดึงในท่อหุ้มสีดำจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง

สอดคล้องกับคำแนะนำจากวิศวกรผู้เชี่ยวชาญจากโรงงาน XDT แนะนำแนวทางแก้ปัญหาจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงให้ตามลวดตามโลหะรับแรง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและ Protection Sleeve ควรหุ้มเฉพาะ Tight Buffer ไม่ควรหุ้มฉนวนของสาย เหตุผล OD ระหว่างฉนวนของสายกับ Tight Buffer มีความแตกต่างกันมาก กรณีผู้ปฏิบัติงานอบความร้อนไม่เหมาะสม<sup>2</sup> อาจเกิดโพรงอากาศจากวัสดุ EVA หลอมละลายจับยึดไม่เต็มพื้นที่



ภาพประกอบที่ 26. จุดเชื่อมต่อมาตรฐานเดิมปลาย Protection Sleeve หุ้มปลายฉนวนทั้ง 2 ด้าน

<sup>2</sup> ความร้อนและระยะเวลาในการอบตั้งค่าโปรแกรมได้ที่เครื่อง Fusion Splice

ก่อนศึกษาวิจัยชุดอุปกรณ์ OFTK นั้น สาย Armoured Round Type เชื่อมต่อด้วยท่อ Pre-Heat Shrinkable Tube [5] มี 2 ความยาวคือ 220 mm และ 270 mm ตำแหน่งเชื่อมต่อเส้นใย แก้วนำแสงระยะเปิดสายยาว เนื่องจาก Pre-Heat Shrinkable Tube ออกแบบมาสำหรับสาย OFC Flat Type โครงสร้างเส้นใยแก้วนำแสงฝังอยู่กับเปลือกโดยตรงเส้นใยแก้วนำแสงไม่มีการเคลื่อนตัว แต่ สาย Armoured Round Type โครงสร้างกลม Tight Buffer แยกจากฉนวนเคลื่อนตัวได้เล็กน้อย เมื่อ เชื่อมต่อด้วย Pre-Heat Shrinkable Tube ใช้งานไประยะเวลาหนึ่งเกิด “แรงดึง-แรงผลัก” บริเวณจุด เชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเป็นเหตุให้เส้นใยแก้วชำรุดเสียหาย

ชุดอุปกรณ์ OFTK แก้ปัญหาเปลี่ยนมาใช้ Protection Sleeve ID (Inner Diameter) 4.0-4.2 mm ยาว 60 mm (รุ่นมาตรฐาน ID 3.0 mm ยาว 45 mm) สามารถสวมเข้ากับฉนวนของสาย Armoured Round Type ขนาด OD 3.5 mm ได้ช่วยให้ระยะเปิดสายสั้น ขั้นตอนหุ้ม Protection Sleeve จะหุ้มจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง หุ้ม Tight Buffer และหุ้มปลายฉนวนของสายฯ เข้าไปข้าง ละประมาณ 10 mm ตามภาพประกอบที่ 26.

Protection Sleeve รุ่นมาตรฐานที่ใช้งานโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสง ID 3.0 mm ยาว 45 mm แต่รุ่นที่ใช้กับจุดเชื่อมต่อชุด KIT OFTK ID 4.0-4.2 mm ยาว 60 mm ด้วยเหตุผลต้องการระยะ เปิดสายสั้น แต่มีปัญหาการตั้งค่าห้องอบความร้อน (Heating Chamber) ของเครื่อง Fusion Splice ตามมา ซึ่งเครื่อง Fusion Splice ส่วนมาก Protection Sleeve ขนาด ID 3.0 mm ยาว 45 mm มี โปรแกรมอบความร้อนของมาตรฐานเครื่องฯ แต่ Protection Sleeve ขนาด ID 4.0-4.2 mm ยาว 60 mm ต้องตั้งโปรแกรมอบความร้อนเฉพาะ (เครื่อง Fusion Splice บางยี่ห้อไม่มีโปรแกรมอบนี้) ผู้ปฏิบัติ (บางท่าน) ใช้โปรแกรมอบความร้อนไม่ตรงตามขนาด Protection Sleeve



ภาพประกอบที่ 27. คุณภาพ Protection Sleeve และการตั้งค่าอบความร้อนมีผลกับจุดเชื่อมต่อฯ

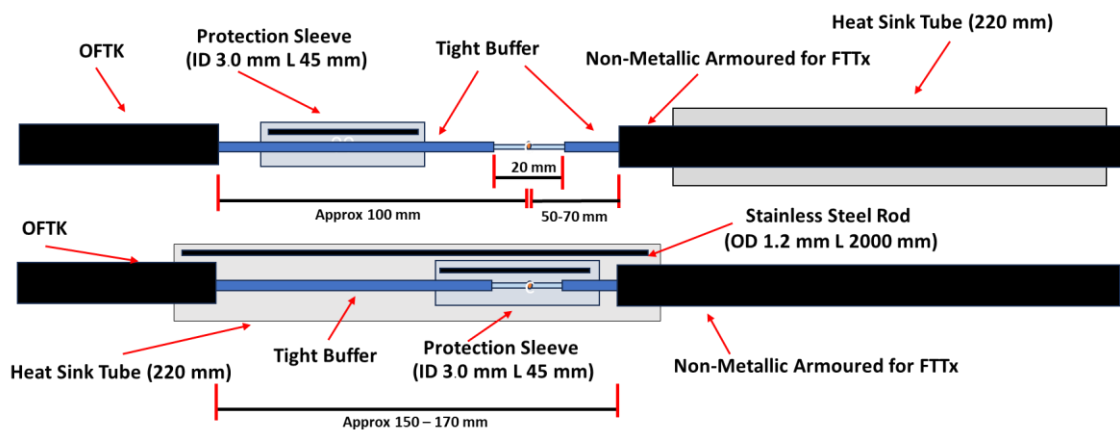
จาก OD ระหว่างฉนวนของสายฯ (3.3-3.5 mm) กับ Tight Buffer (0.9 mm) แตกต่างกัน ถึง 2.4-2.6 mm กรณีอบ Protection Sleeve ด้วยอุณหภูมิและระยะเวลาที่ไม่เหมาะสมหรือคุณภาพ Protection Sleeve ที่ไม่ได้มาตรฐานตามภาพประกอบที่ 27. อาจเกิดโพรงอากาศจากวัสดุ EVA หลอม ละลายจับยึดไม่เต็มพื้นที่ จุดเชื่อมต่อระหว่างสายสาย N-MA for FTTx กับอุปกรณ์ OFTK ที่ไม่ Loop สายเกิดแรงบิด เส้นใยแก้วนำแสงอาจเกิดแรงรั้งดึงจุดเชื่อมต่อเกิดรอยร้าวที่เนื้อแก้วเกิด High Loss ขึ้น

### 5.5.2 แก้ปัญหาจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยการลวดตามโลหะ

ลดปัญหาแรงบิดจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง ลดปัญหาโพรงอากาศจากวัสดุ EVA หลอมละลายจับยึดไม่เต็มพื้นที่ ข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานนำสายสะพานรับแรงดึงสอดหุ้มในท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว (100 mm) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของจุดเชื่อมต่อได้อย่างดี สอดคล้องกับคำแนะนำจากวิศวกรผู้เชี่ยวชาญจากโรงงาน XDT<sup>3</sup> แนะนำแนวทางแก้ปัญหาจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยการลวดตามโลหะ (Stainless Steel Rod) OD 1.2 mm ยาว 200 mm ในท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวยาว 220 mm ตามภาพประกอบที่ 28. ในส่วนของ Protection Sleeve ให้หุ้มเฉพาะ Tight Buffer ไม่ควรหุ้มฉนวนของสาย เพื่อลดปัญหาโพรงอากาศภายใน Protection Sleeve กรณีหุ้มด้วยอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม

ทดลองปรับเปลี่ยนมาใช้ Protection Sleeve ขนาดมาตรฐาน ID 3.0 mm ยาว 45 mm รองรับโปรแกรมอบความร้อนมาตรฐานของเครื่อง Fusion Splice เนื่องจาก ID Protection Sleeve 3.0 mm ไม่สามารถสวมกับฉนวนของสาย N-MA for FTTx (OD 3.3-3.5 mm) ได้ การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยเครื่อง Fusion Splice จำเป็นต้องเปิดปลายสายด้านใดด้านหนึ่งยาวกว่าอีกด้าน

ขั้นตอนเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเริ่มจากเปิดฉนวนสายๆ ด้านใดด้านหนึ่งยาวประมาณ 100 mm ปลายสายๆ อีกด้านเปิดฉนวนยาวประมาณ 50-70 mm จากนั้นนำ Protection Sleeve มาสวมฝั่งที่เปิดฉนวนสายๆ ยาวและสวมท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว ID 7.0-9.5 mm ยาว 220 mm เชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยเครื่อง Fusion Splice ตามขั้นตอนปกติ จากนั้นเลื่อน Protection Sleeve มาสวมจุดเชื่อมต่อและอบความร้อนด้วยห้องอบความร้อนของเครื่อง Fusion Splice (Protection Sleeve หุ้มเฉพาะจุดเชื่อมต่อและ Tight Buffer) ตามภาพประกอบที่ 28.

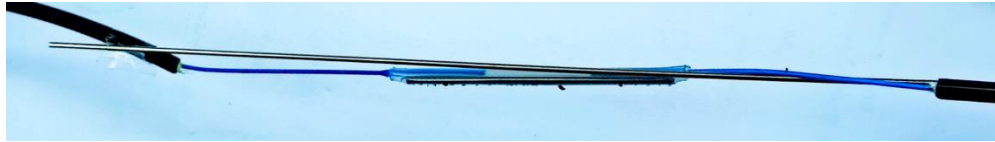


ภาพประกอบที่ 28. แนวทางปรับปรุงจุดเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx กับอุปกรณ์ OFTK

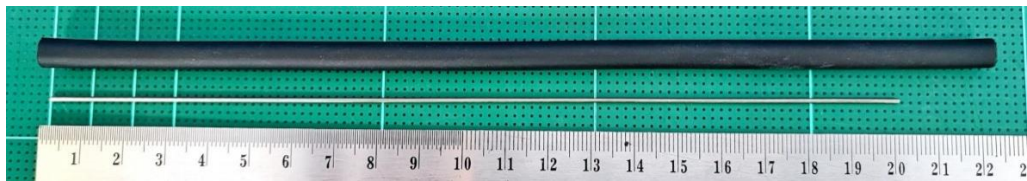
หลังเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงและหุ้ม Protection Sleeve จุดเชื่อมต่อและ Tight Buffer แล้วเสร็จตามภาพประกอบที่ 29.(1) นำลวดตามโลหะ OD 1.2 mm ยาว 200 mm วางจุดกึ่งกลางระยะเปิดฉนวนแนบกับแนว Tight Buffer เลื่อนท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวยาว 220 mm มาสวมลวดตามโลหะ

<sup>3</sup> โรงงาน XDT สนับสนุนเส้นลวดโลหะ OD 1.2 mm ยาว 200 mm และท่อหุ้มสีดำยาว 220 mm ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ตามภาพประกอบที่ 29.(2) สู้ดท้ายลงไฟไล้ความร้อนจากกึ่งกลางไปด้านใดด้านหนึ่งเพื่อไล้อากาศไม่ให้เกิดโพรงอากาศขึ้น ได้จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างสาย N-MA for FTTx กับสายชุดอุปกรณ์ OFTK ที่ตามโลหะห่อหุ้มด้วยท่อหัดสีดำแบบมีกาวตามภาพประกอบที่ 29.(3)



(1)



(2)



(3)

**ภาพประกอบที่ 29.** ขั้นตอนตามลวดตามโลหะในท่อหัดสีดำตำแหน่งจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง

หลังจากทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างสาย N-MA for FTTx กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK ด้วย Protection Sleeve ขนาด ID 3.0 mm ยาว 45 mm ตามลวดโลหะยาว OD 1.2 mm ยาว 200 mm หุ้มจุดเชื่อมต่อและลวดตามโลหะทั้งหมดด้วยท่อหัดแบบมีกาวสีดำ ID 7.0-9.5 mm ยาว 220 mm ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ เพื่อทดสอบแรงดึงและแรงบิดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีดังกล่าวจำนวน 10 ตัวอย่าง นำมาทดสอบแรงดึงแรงบิด (ด้วยมือ) ผลการทดสอบทุกตัวอย่างผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไม่มีค่า Loss เกิดขึ้น สัญญาณแสงเปลี่ยนค่าสลับขึ้นลง 0.01-0.12 dB เมื่อมีแรงบิด แต่เมื่อปล่อยแรงบิดค่า Loss กลับเข้าใกล้ 0 dB

อุปสรรคขั้นตอนหุ้มท่อหัดสีดำแบบมีกาว การควบคุมให้ลวดตามโลหะอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางพอดีค่อนข้างยาก บางตัวอย่างลวดตามโลหะโผล่ออกมาภายนอกท่อหัดแบบมีกาว



**ภาพประกอบที่ 30.** ตัวอย่างลวดตามโลหะโผล่ออกจากท่อสำหรับทดสอบมาตรฐาน IP-x7

การปฏิบัติงานในสนามถ้าจุดเชื่อมต่อหุ้มท่อหุ้มด้าแบบมีกาวแล้วลวดตามโลหะโผล่ออกมานอกท่อหุ้ม น้ำจากภายนอกมีโอกาสรั่วซึมเข้าไปภายในจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงหรือไม่ จากคุณสมบัติของ Protection Sleeve สามารถป้องกันน้ำจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงได้ จากโครงสร้างของ Tight Buffer ชั้นในหุ้มด้วย UV Acrylic ชั้นนอกใช้วัสดุ Nylon, PVC (Polyvinyl Chloride), PU (Polyurethane) หรือ PE (Polyethylene) อย่างใดอย่างหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติป้องกันน้ำและความชื้น (ไม่รองรับการใช้งานสภาวะแช่น้ำระยะเวลานาน ๆ) และตำแหน่งจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงแขวนกลางอากาศถูกแคละองหรือน้ำฝน แต่ถ้าจุดเชื่อมต่อแช่น้ำตลอดเวลา เช่น อยู่ในตำแหน่งกันสาดอาคารที่มีน้ำแช่ขัง น้ำจากภายนอกจะไหลเข้าไปสร้างความเสียหายจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงหรือไม่

จากข้อกังวลข้างต้นเตรียมตัวอย่างจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงตามภาพประกอบที่ 30. ให้ลวดตามโลหะโผล่จากท่อหุ้มด้าทั้ง 2 ข้าง 3 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่ลวดตามไม่โผล่ 3 ตัวอย่าง นำไปทดสอบตามมาตรฐาน IP-x7 แช่น้ำลึก 1 ฟุต (0.30 m) เวลา 15 นาที (IEC-60529 แช่น้ำ  $\leq 1$  m ระยะเวลา  $\leq 30$  min) เมื่อผ่าดูภายในตัวอย่างที่มีลวดตามโผล่ออกมา มีน้ำรั่วซึมทุกตัวอย่างทดสอบ ตัวอย่างที่ลวดตามไม่โผล่ทุกตัวอย่างทดสอบไม่มีน้ำรั่วซึม ดังนั้นการติดตั้งไม่ควรให้ลวดตามโลหะโผล่ออกมานอกท่อหุ้มด้าแบบมีกาว

โดยสรุปวิธีการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างสาย N-MA for FTTx กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK หุ้มจุดเชื่อมต่อด้วย Protection Sleeve ขนาด ID 3.0 mm ยาว 45 mm ตามลวดตามโลหะ OD 1.2 mm ยาว 200 mm หุ้มด้วยท่อหุ้มด้าแบบมีกาว ID 7.0-9.5 mm ยาว 220 mm ป้องกันการเกิด High Loss จุดเชื่อมต่อได้ แต่ต้องจัดหา Protection Sleeve จัดหาท่อหุ้มด้าแบบมีกาว และลวดตามโลหะเพิ่มจากชุดอุปกรณ์ OFTK ที่ NT จัดซื้อมาแล้ว ซึ่งขัดแย้งกับความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการโครงการศึกษาวิจัยครั้งนี้ที่ระบุในการปฏิบัติงานต้องมีต้นทุนต่ำ

### 5.5.3 ประยุกต์นำชุดอุปกรณ์ OFTK มาแก้ปัญหาจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง

ประเด็นคำถามถ้าเปลี่ยนมาใช้ท่อหุ้มด้าแบบมีกาวยาว 220 mm (OFTK ยาว 100 mm) ภายในตามด้วยลวดตามโลหะยาว 200 mm ใช้สายของชุดอุปกรณ์ OFTK เดิม ปัญหาคือ บริษัท NT จัดซื้อชุดอุปกรณ์ OFTK สำรองในคลังแล้วจำนวนมากจะบริหารสินทรัพย์ในคลังพัสดุอย่างไร ทราบจากพื้นที่ว่าปัจจุบัน (มกราคม 2568) มีบางบริษัทจำหน่ายชุดอุปกรณ์ OFTK มีท่อหุ้มด้าแบบมีกาวยาว 150 mm จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำชุดอุปกรณ์ OFTK ที่จัดซื้อมาแล้ว (ท่อหุ้มด้าแบบมีกาว 100 และ 150 mm) มาประยุกต์ใช้งาน เลือกวัสดุใกล้ตัวทดแทนลวดตามโลหะจะได้หรือไม่



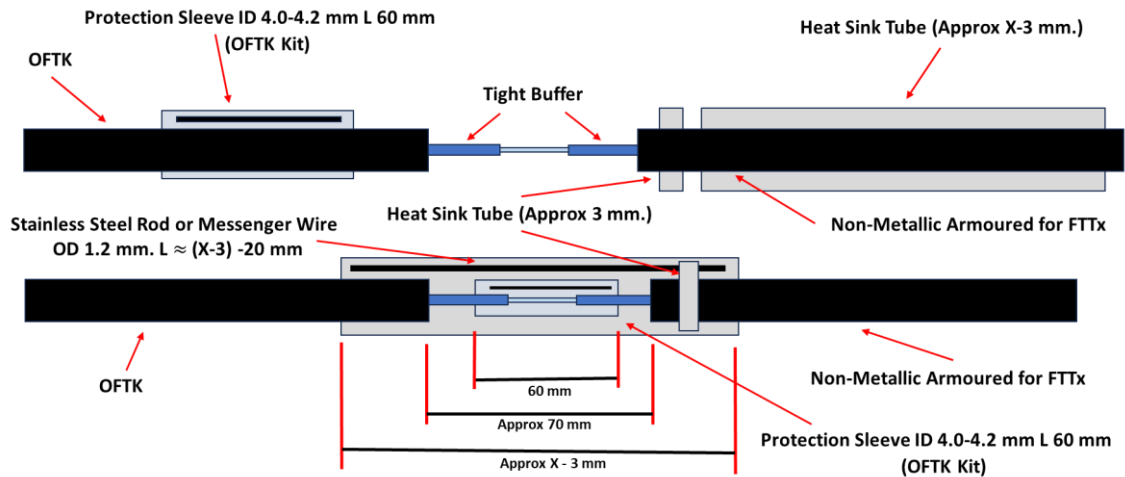
ภาพประกอบที่ 31. ชุดอุปกรณ์ OFTK ท่อหดสีดำแบบมีกาวยาว 100 และ 150 mm

ชุดอุปกรณ์ OFTK ตามข้อกำหนด OES-004-056-06 ภายซองบรรจุอุปกรณ์พร้อมใช้งาน บริการ FTTx 1 Port ตามภาพประกอบที่ 31. ประกอบด้วย

- 1) สาย Fiber Patch Cord ยาว  $\geq 3$  m เส้นใยแก้วนำแสง Tight Buffer OD 0.9 mm ปลายทั้ง 2 ด้านมี Connectors แบบ SC/APC (Ferrule Zirconia Ceramic)
- 2) Protection Sleeve ขนาด ID 4.0-4.2 mm ยาว 60 mm จำนวน 3 ชิ้น
- 3) ท่อหดสีดำแบบมีกาว ID 7.0-9.5 mm ยาว 100 mm 3 ชิ้น (บางพื้นที่จัดซื้อยาว 150 mm)
- 4) Cable Tie จำนวน  $\geq 4$  ชิ้น

ถ้านำชุดอุปกรณ์ OFTK มาเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx โดยประยุกต์สิ่งของใกล้เคียงและใช้ชุดอุปกรณ์ OFTK ที่จัดซื้อมาแล้วให้เกิดประโยชน์สูงสุด สามารถประยุกต์เบื้องต้นได้ดังนี้

- 1) **(OFTK Kit)** สาย Fiber Patch Cord ยาว  $\geq 3$  m
- 2) **(OFTK Kit)** Protection Sleeve ถ้าใช้ขนาด ID 3.0 mm ยาว 45 mm ต้องเปิดฉนวนของสายๆ ยาว ถ้าประยุกต์เลือกใช้ Protection Sleeve ID 4.0-4.2 mm ยาว 60 mm (ชุดอุปกรณ์ OFTK) หุ้มจุดเชื่อมต่อให้ Protection Sleeve หุ้มเฉพาะ Tight Buffer เท่านั้น ระยะเปิดฉนวนของสายๆ ใกล้เคียงมาตรฐานเชื่อมต่อด้วยอุปกรณ์ OFTK เดิม
- 3) **(OFTK Kit)** ท่อหดสีดำแบบมีกาว ยาว 100 mm (บางพื้นที่ยาว 150 mm)
- 4) **(เศษสายๆ)** ลวดตามโลหะ ถ้าใช้สายสะพานรับแรงดึงของสาย Fiber Drop Cable มาตามจุดเชื่อมต่อเชื่อมต่อทดแทนลวดตามโลหะ OD 1.2 mm จะได้หรือไม่

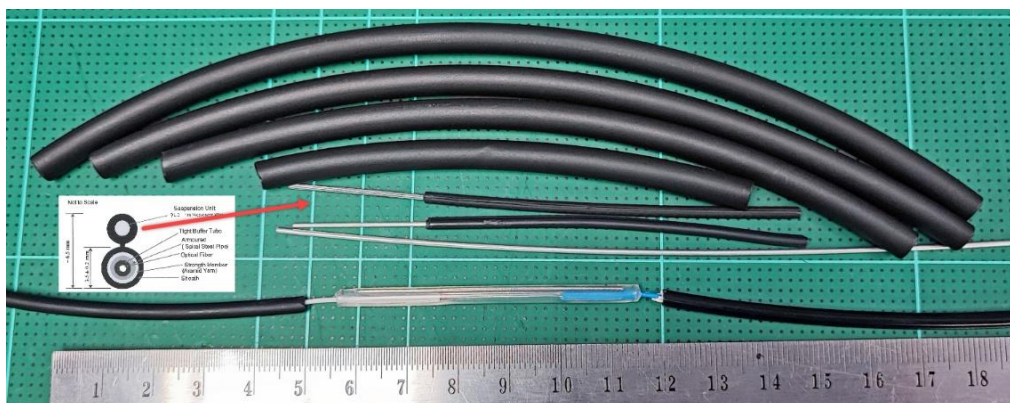


ภาพประกอบที่ 32. ประยุกต์นำชุดอุปกรณ์ OFTK มาเชื่อมต่อสายแบบเปิดจุดเชื่อมต่อสั้น

ทดลองใช้ชุดอุปกรณ์ OFTK ที่ บริษัท NT จัดซื้อมาแล้วนำมาเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx แบบเปิดระยะสายสั้น ปรับเปลี่ยนกรรมวิธีหุ้ม Protection Sleeve เฉพาะ Tight Buffer (ไม่หุ้มฉนวนสายสีดำ) ขั้นตอนเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงสามารถเลื่อน Protection Sleeve ID 4.0-4.2 mm มาสวมกับฉนวนของ N-MA for FTTx ได้ทำให้ระยะเปิด Tight Buffer สั้น (OD สาย 3.5 mm)

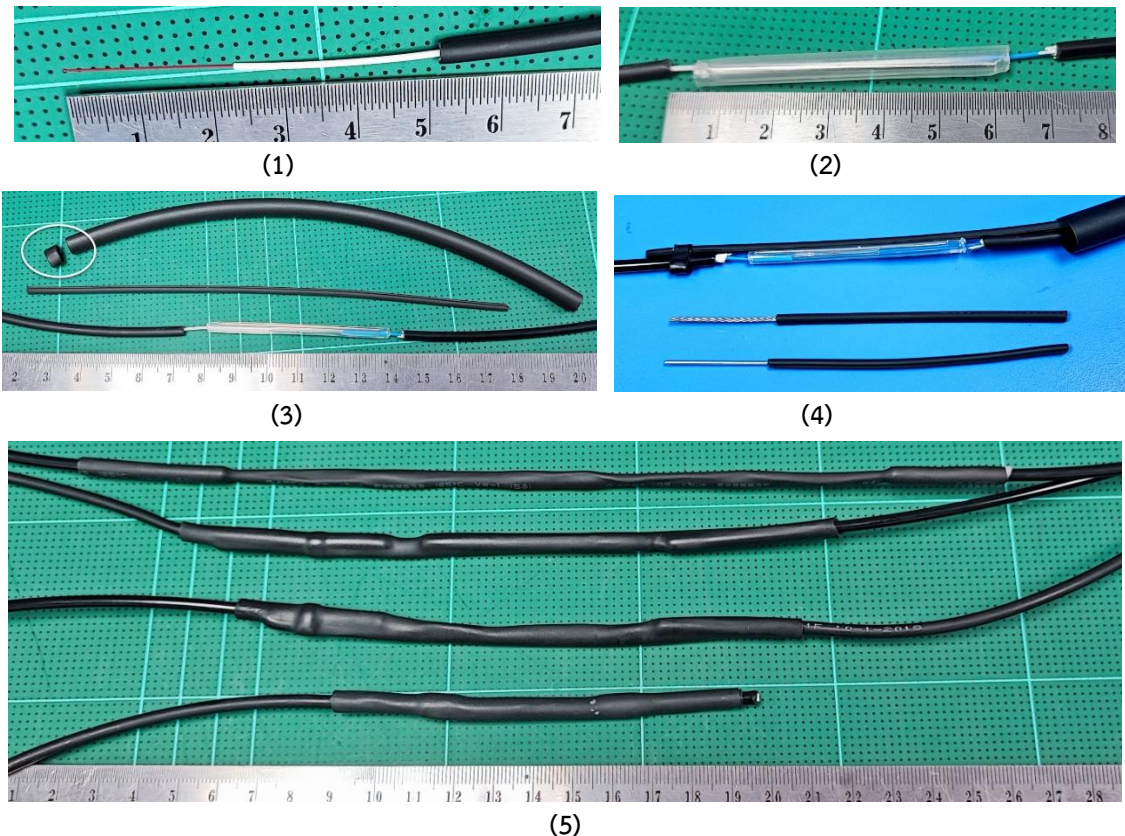
ชุดอุปกรณ์ OFTK ที่สามารถนำมาใช้งานได้เลยคือ 1) สาย Fiber Patch Cord ยาว 3 m 2) Protection Sleeve ขนาด ID 4.0-4.2 mm ยาว 60 mm และ 3) ท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว ID 7.0-9.5 mm ยาว 100 mm บางพื้นที่จัดซื้อยาว 150 mm และ Cable Tie จากชุดอุปกรณ์ OFTK

ที่ต้องจัดหาเพิ่มคือลวดตามโลหะ Stainless Steel Rod OD 1.2 mm ซึ่งที่ผ่านมามีพื้นที่นำสายสะพานรับแรงดึงของสาย Fiber Drop Cable โครงสร้าง Fig “8” มาประยุกต์ใช้งาน ลวดตามรับแรงดึงมี 2 รูปแบบคือเส้นลวดโลหะเส้นเดี่ยวแข็ง (1x 1.2 mm) และเส้นลวดตีเกลียว (0.4 X 7) OD 1.2 mm มาทดแทนได้หรือไม่ ต้องป้องกันหุ้มสีดำออกหรือไม่



ภาพประกอบที่ 33. ประยุกต์นำชุดอุปกรณ์ OFTK และวัสดุที่มีมาเชื่อมต่อแบบเปิดจุดเชื่อมต่อสั้น

ทดลองหุ้มจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวหลายความยาว เตรียมท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว ID 7.0-9.5 mm ความยาว 100 150 180 200 mm เตรียมลวดตามโลหะจากเส้นลวดรับแรงดึงของสาย Fiber Drop Cable แบบเส้นเดี่ยว แบบตีเกลียวและ Stainless Steel Rod และชุดอุปกรณ์ OFTK เพื่อทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงแบบเปิดจุดเชื่อมต่อสั้น นำผลการทดลองมาประยุกต์ใช้ชุดอุปกรณ์ OFTK ที่มีในคลังพัสดุมาใช้งาน



ภาพประกอบที่ 34. ประยุกต์นำชุดอุปกรณ์ OFTK และอุปกรณ์ที่มีมาเชื่อมต่อแบบเปิดจุดเชื่อมต่อสั้น

ทดลองประยุกต์นำชุดอุปกรณ์ OFTK นำมาเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx แบบเปิดระยะสายสั้น หุ้ม Protection Sleeve เฉพาะ Tight Buffer ขั้นตอนเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนปฏิบัติงานมีรายละเอียดดังนี้

#### เตรียมตัวอย่างทดสอบ

- 1) เตรียมท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว (ชั้นที่ 1) ยาว 100 150 180 200 mm
- 2) เตรียมลวดตามจากสายสะพานรับแรงดึงของสาย Fiber Drop Cable เส้นลวดเดี่ยว และเส้นลวดตีเกลียว (ปอกและไม่ปอกฉนวน) ลวด Stainless Steel Rod ลวดตามแต่ละเส้นยาว  $X-20$  mm ( $X$  = ความยาวท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว)

- 3) ตัดท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว (ชั้นที่ 2) ยาวประมาณ 3-5 mm (สำหรับลือคลวดตาม) ถ้าผู้ปฏิบัติงานมีความชำนาญไม่จำเป็นต้องเตรียมข้อนี้
- 4) เตรียมสาย N-MA for FTTx และสายของชุดอุปกรณ์ OFTK

#### ขั้นตอนการเชื่อมต่อ

- 1) สวมท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวทั้ง 2 ชั้น และ Protection Sleeve กับฉนวนของสายๆ ด้านใดด้านหนึ่ง
- 2) เปิดฉนวนหุ้มสาย N-MA for FTTx และสายของชุดอุปกรณ์ OFTK ยาวประมาณ 50 mm จากนั้นปอกฉนวนหุ้มเส้นใยแก้วนำแสง (Tight Buffer) ออกประมาณ 25 mm ตามภาพประกอบที่ 34.(1)
- 3) เชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยเครื่อง Fusion Splicer หุ้ม Protection Sleeve เฉพาะ Tight Buffer (ไม่หุ้มฉนวนของสาย) ขั้นตอนปกติตามภาพประกอบที่ 34.(2)
- 4) นำลวดตามมาแนบกับแนวจุดเชื่อมต่อ เลื่อนท่อหุ้มสี (ชั้นที่ 2) มาหุ้มรัดลวดตามเพื่อลือคให้ลวดตามอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการตามภาพประกอบที่ 34.(4) ถ้าผู้ปฏิบัติงานมีความชำนาญไม่จำเป็นต้องเตรียมข้อนี้
- 5) เลื่อนท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวมาคลุมจุดเชื่อมต่อและลวดตามพร้อมลนความร้อนตามภาพประกอบที่ 34.(4)

**หมายเหตุ** กรณีไม่หุ้มท่อหุ้มสี (ชั้นที่ 2) กับลวดตาม ขั้นตอนเลื่อนท่อหุ้มสีควรระวังอย่าให้ลวดตามโผล่พ้นท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว (ชั้นที่ 1) ออกมาภายนอก

เตรียมตัวอย่างทดสอบท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวแต่ละความยาว ลวดตามใช้เส้นลวดเตี้ยวปกฉนวนและไม่ปกฉนวน เส้นลวดดีเกลียวปกฉนวนและไม่ปกฉนวน ลวดตาม Stainless Steel Rod รวม 5 รูปแบบ ๆ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างทดสอบท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวแต่ละความยาว (100 150 180 200 mm) รวมตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 60 ตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 35. ทดสอบบิดจุดเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx แบบเปิดระยะสายสั้น

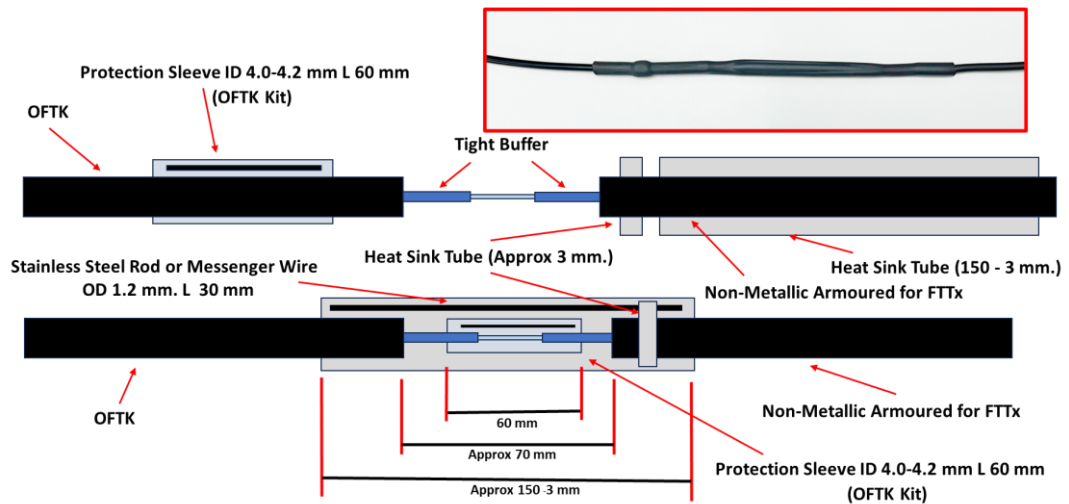
จากตัวอย่างทดสอบจุดเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK ทดลอง ท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว 4 ความยาว (100 150 180 200 mm) ลวดตามนำสายสะพานรับแรงดึงของสาย Fiber Drop Cable เส้นลวดเดี่ยวและตีเกลียว “ปอก-ไม่ปอก” ฉนวนหุ้มและลวดตาม Stainless Steel Rod รวม 60 ตัวอย่าง ป้อนสัญญาณแสงต้นทางด้วยเครื่อง Optical Light Source ปลายทางวัด สัญญาณแสงด้วยเครื่อง Optical Power Meter ตัวอย่างทดสอบ จากนั้นใช้มือจับปลายท่อหุ้มสีดำแบบ มีกาวพร้อมบิดสายทิศทางตรงข้ามตามภาพประกอบที่ 35.

ผลการทดสอบจุดเชื่อมต่อที่หุ้มด้วยท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวความยาว 100 mm ตั้งแต่ขั้นตอน การเตรียมตัวอย่างยุ่งยาก จากระยะจุดเชื่อมต่อที่ไม่หุ้มฉนวนยาว (Tight Buffer) 70 mm ลวดตามยาว 80 mm (100 – 20 mm) ระยะที่ท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวหุ้มฉนวนของสายเพียงข้างละ 15 mm ลวดตาม วางบนฉนวนของสายเพียงข้างละ 5 mm ซึ่งกำหนดให้ลวดตามอยู่จุดกึ่งกลางค่อนข้างยาก ผลการ ทดสอบทางแสงผ่านการทดสอบเพียง 4 ตัวอย่าง จาก 15 ตัวอย่าง ทดสอบแรงบิดด้วยมือตัวอย่าง ทดสอบบางตัวอย่างท่อหุ้มด้านใดด้านหนึ่งการล่อนหลุดจากฉนวนของสายฯ ลวดตามเปลี่ยนตำแหน่ง ตามแรงบิดจุดเชื่อมต่อเกิด Loss

ผลการทดสอบจุดเชื่อมต่อที่หุ้มด้วยท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวยาว 150 180 และ 200 mm ทดสอบทางกล (มือดึงและบิด) และทางแสง ตัวอย่างท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวยาว 180 mm ตาม Stainless Steel Rod 1 ตัวอย่างมีค่า Loss เปลี่ยนแปลงสวิง 3-10 dB เมื่อผ่าวิเคราะห์ท่อหุ้มสีดำเป็น โพรงอากาศ (ให้ความร้อนท่อหุ้มผิวดวง) ตัวอย่างที่เหลือทุกตัวอย่างผ่านการทดสอบ

โดยสรุปจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างสาย N-MA for FTTx กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK จุดเชื่อมต่อ Protection Sleeve หุ้มเฉพาะ Tight Buffer (ไม่หุ้มฉนวนของสาย) ท่อหุ้มจุด เชื่อมต่อทั้งหมดด้วยท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวยาว 150 mm ประยุกต์ลวดตามนำใช้สายสะพานรับแรงดึง ของสาย Fiber Drop Cable เส้นลวดเดี่ยวและเส้นลวดตีเกลียวปอกหรือไม่ปอกฉนวนก็ได้ นำมาทดแทน ลวดตาม Stainless Steel Rod ได้ สามารถนำชุดอุปกรณ์ OFTK เดิมมาใช้ได้ดังนี้

- 1) สาย Fiber Optic Patch Cord OD 3.2 mm ยาว  $\geq 3$  m
- 2) Protection Sleeve ID 4.0-4.2 mm ยาว 60 mm
- 3) Heat Sink Tube ID 7.0-9.5 mm ยาว 150 mm (ชุด OFTK ท่อยาว 100 mm ต้องซื้อ 150 mm เพิ่ม)
- ใช้สายสะพานรับแรงดึงของสาย Fiber Drop Cable เส้นลวดเดี่ยวและเส้นลวดตีเกลียวไม่ ต้องปอกฉนวนยาว 130 mm (150-20 mm) ทดแทนลวดตาม Stainless Steel Rod ได้



ภาพประกอบที่ 36. จุดเชื่อมต่อส้นท่อหัดสีดำแบบมีกาวยาว 150 mm เหมาะสมที่สุด

สรุปผลการทดลองในห้องปฏิบัติการเชื่อมต่อด้วยอุปกรณ์ OFTK ปรับเพียงหุ้ม Protection Sleeve ID 4.0-4.2 mm ยาว 60 mm เฉพาะ Tight Buffer ท่อหัดสีดำแบบมีกาว (Heat Sink Tube) ID 7.0-9.5 mm ยาว 150 mm ตามด้านในด้วย Stainless Steel Rod หรือประยูคต์นำสาย สะพานรับแรงดึงของสาย Fiber Drop Cable แบบลวดเดี่ยวแข็ง (1x 1.2 mm) หรือแบบเส้นลวดตีเกลียว (0.4 X 7) OD 1.2 mm อย่างใดอย่างหนึ่งมาทดแทนก็ได้ (ไม่ต้องปกกฉนวนหุ้มสีดำออก) เป็นวิธีการที่เหมาะสมและต้นทุนต่ำสุดตามภาพประกอบที่ 36.

## 5.6 ทดสอบภาคสนาม

จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK สามารถประยูคต์นำ Protection Sleeve และสายของชุดอุปกรณ์ OFTK มาใช้งานได้ แต่ท่อหัดสีดำแบบมีกาวต้องใช้ความยาว 150 mm กรณีชุดอุปกรณ์ OFTK ความยาว 100 mm ต้องจัดหาท่อหัดเพิ่ม ส่วนลวดตามสามารถประยูคต์นำสายสะพานรับแรงดึงของสาย Fiber Drop Cable แบบเส้นลวดเดี่ยวและเส้นลวดตีเกลียวไม่ต้องปกกฉนวนออกมาใช้ได้



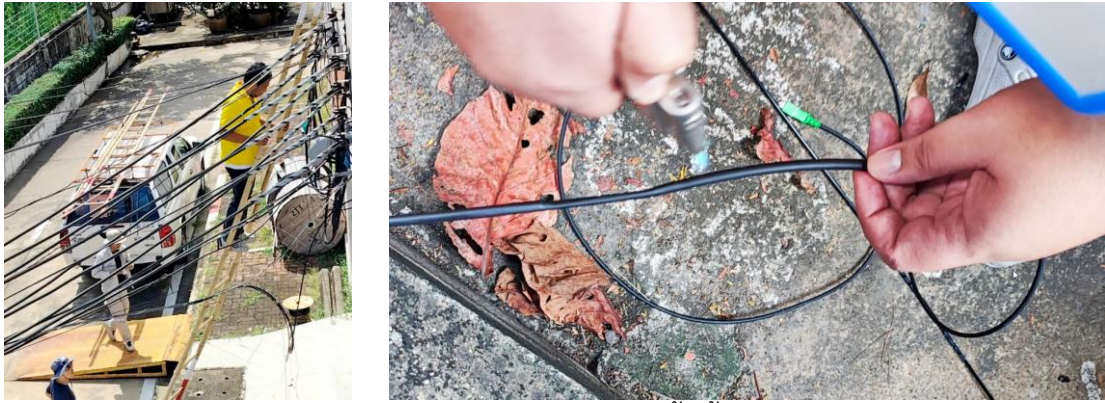
ภาพประกอบที่ 36. แนะนำการเชื่อมต่อสายฯ กับพื้นที่เพื่อนำไปทดลองภาคสนาม

เรียนเชิญตัวแทนพื้นที่สำราญราษฎร์ (บนน.1.4) และปทุมธานี (บนน.2.4) แลกเปลี่ยนองค์ความรู้วิธีการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่ปฏิบัติจริงในพื้นที่ แนะนำการบำรุงรักษาเครื่อง Fusion Splice เบื้องต้น เช่น ถ้าจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงไม่แข็งแรง ยกออกจากเครื่อง Fusion Splice แก้วหักง่าย อาจต้องทำ Art Test หรือเปลี่ยนแท่ง Electrode ตามอายุการใช้งาน เป็นต้น พร้อมสอนการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเปิดฉนวนสั้นและยาว หุ้ม Protection Sleeve เฉพาะ Tight Buffer ตามลวดภายในท่อหัดหัดสีดำแบบมีกาวตามภาพประกอบที่ 36. พร้อมมอบท่อหัดหัดสีดำแบบมีกาวและ Stainless Steel Rod เพื่อนำไปทดลองภาคสนามพื้นที่สำราญราษฎร์ (บนน.1.4) และปทุมธานี (บนน.2.4)



ภาพประกอบที่ 37. จุดเชื่อมต่อเปิดฉนวนยาวพื้นที่สำราญราษฎร์

ผลการทดลองภาคสนามพื้นที่สำราญราษฎร์ จุดเชื่อมต่อแบบเปิดฉนวนยาว (220 mm) ระยะเวลาประมาณ 2 เดือน (ธันวาคม 2567) จำนวนมากกว่า 10 จุด มีเหตุเสียเกิด High Loss 2 จุด ผู้ปฏิบัติงานซ่อมบำรุงเชื่อมต่อแบบเปิดฉนวนยาวใหม่ทั้ง 2 จุด ตามภาพประกอบที่ 37. ยังไม่มีปัญหาเกิดซ้ำ วิเคราะห์เบื้องต้นกรรมวิธีจุดเชื่อมต่อเปิดฉนวนยาวอาจมีจุดอ่อน Tight Buffer ที่เปิดฉนวนยาวมีโอกาสเสียหายเกิดการโค้งงอสะสม ช่วงที่ท่อหัดหัดสีดำแบบมีกาวหุ้ม Tight Buffer ถ้าเครื่องพ่นไฟบนท่อหัดไม่สม่ำเสมอหรือไล่อากาศไม่ดี อาจเกิดโพรงอากาศ (พื้นที่ไม่ได้เก็บตัวอย่างส่งมาวิเคราะห์)



ภาพประกอบที่ 38. จุดเชื่อมต่อแบบสันพื้นที่พักมธานี

ผลการทดลองภาคสนามพื้นที่ที่พักมธานี จุดเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK จำนวน 1 จุด กรรมวิธีเดิมหุ้ม Protection Sleeve คลอบคลุม Tight Buffer และปลายฉนวนของสาย หุ้มท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวยาว 100 mm มีเหตุเสียชำ (High Loss) ไปซ่อมจุดเชื่อมต่อตามกรรมวิธีเดิมจำนวน 3 ครั้ง (เหตุเสียชำประมาณ 3 - 8 วัน) สุดท้ายครั้งที่ 4 เปลี่ยนมาเชื่อมต่อด้วยกรรมวิธี Protection Sleeve หุ้มเฉพาะ Tight Buffer (ไม่หุ้มฉนวนของสาย) ใช้ลวดตามหุ้มจุดเชื่อมต่อทั้งหมดด้วยท่อหุ้มสีดำแบบมีกาวยาว 150 mm ผ่านมาเดือนเศษไม่มี High Loss เกิดขึ้น

สรุปผลการทดลองเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx กับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK ภาคสนาม ข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานสามารถนำสายและ Protection Sleeve ของชุดอุปกรณ์ OFTK มาใช้ได้เลย ลวดตามประกอมนำสายสะพานรับแรงดึงของสาย Fiber Drop Cable แบบเส้นลวดเดี่ยวและเส้นลวดตีเกลียวไม่ต้องปกกฉนวนออกมาใช้ได้ (ทดลองบางจุด) ระยะเวลาทดลองประมาณ 2 เดือน จำนวนมากกว่า 10 จุด มีเหตุเสียจากจุดเชื่อมต่อ 2 จุด เปรียบเทียบกรรมวิธีเชื่อมต่อแบบเดิม (ไม่ตามหลัก) ที่เกิด High Loss ถึง 60% ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ

## 6. สรุป

ตามที่ กฟน. ออกระเบียบห้ามติดตั้งสายสื่อสารที่มีส่วนประกอบของโลหะกับเสาของ กฟน. บริษัท NT เปลี่ยนสาย Fiber Drop Cable โครงข่าย ODN บริการ FTTx จากสาย Armoured Round Type โครงสร้างสายสะพานรับแรงดึงผลิตจากเส้นลวดโลหะมาเป็นสาย N-MA for FTTx ป้องกันสัตว์กัดแทะไม่มีโลหะรองรับระเบียบของ กฟน. พร้อมจัดซื้อนำมาใช้ในองค์กรจำนวน 1,600,000 m งบประมาณ 13,000,000 บาท และได้ออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายแนวดิ่ง N-MA Clamp ซึ่งเป็นทรัพย์สินทางปัญญาของ บริษัท NT รองรับสาย N-MA for FTTx

โครงข่าย ODN บริการ FTTx สาย N-MA for FTTx เชื่อมโยงระหว่างตู้ SDP/ODP หลัง Splitter ภายนอกอาคารมายังอุปกรณ์ ONU ภายในอาคาร ปลายสาย N-MA for FTTx ทั้งสองด้าน

เชื่อมต่อกับสายของชุดอุปกรณ์ OFTK หลังจากพื้นที่เบิกสาย N-MA for FTTx ไปติดตั้งใช้งานระยะหนึ่ง พื้นที่เริ่มแจ้งปัญหาเกิด High Loss กับ Port FTTx ที่นำสาย N-MA for FTTx ไปใช้งาน

ส่วนงานซ่อมบำรุงเข้าไปตรวจสอบสัญญาณด้วยเครื่องมือวัด OTDR เจอปัญหา High Loss ตำแหน่งเชื่อมต่อระหว่างสาย N-MA for FTTx กับอุปกรณ์ OFTK ตำแหน่งตู้ SDP นอกอาคารผ่านไปประมาณ 2 อาทิตย์เศษ ปัญหาเดิมกลับมาอีกถึง 60% เมื่อเกิดปัญหาซ้ำ ๆ ส่วนงานซ่อมบำรุงเปลี่ยนไปใช้สายป้องกันสัตว์กัดแทะ Armoured Round Type รุ่นเดิมทดแทนชั่วคราวพร้อมระงับการใช้งานสาย N-MA for FTTx และแจ้งส่วนพัสดุถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ข้อเสนอแนะตอนศึกษาวิจัยจุดเชื่อมต่อสายฯ อยู่ใน Loop แต่ตอนนำสายฯ ไปติดตั้งใช้งาน กฟน. และ กฟภ. ห้าม Loop สายตำแหน่งตู้ SDP ภายนอกอาคารซึ่งมีปัญหา High Loss เกิดขึ้น แต่ตำแหน่ง ONU ภายในอาคารจุดเชื่อมต่ออยู่ใน Loop ไม่มีปัญหา High Loss เกิดขึ้น

ส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ (ทวช.) ส่วนงานเดิมก่อนปรับโครงสร้างใหม่เป็น ส่วนสอบเทียบและบำรุงรักษาอุปกรณ์โทรคมนาคม (ทวฐฐ.) เชิญผู้เกี่ยวข้องประกอบด้วย ส่วนงานพัสดุ ส่วนงานมาตรฐาน ส่วนขายและบริการลูกค้ากรุงเทพมหานคร 1 สำราญราษฎร์ (บนน.1.4) ส่วนขายและบริการลูกค้าปทุมธานี 1 (บนน.2.4) ตัวแทนโรงงาน JIANGSU XDT INTERNATIONAL CO., LTD (XDT) ผู้ผลิตสายจากประเทศจีนและตัวแทน บริษัทไฟเบอร์ ออฟติค คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM) ตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทยโดยมีส่วนงาน ทวช. เป็นเจ้าภาพร่วมหารือแนวทางแก้ปัญหา สรุปผลมาจากจุดเชื่อมต่อระหว่างสาย N-MA for FTTx กับชุดอุปกรณ์ OFTK ร่องรับแรงดึงแต่ไม่รองรับแรงบิดของสาย ตำแหน่งสายที่ไม่มี Loop

ทีมงานร่วมศึกษาแนวทางแก้ปัญหาตามลวดจุดเชื่อมต่อฯ ประยุคนำชุดอุปกรณ์ OFTK มาใช้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย สามารถนำสายสะพานรับแรงดึงของสาย Fiber Drop Cable แบบลวดเดี่ยวแข็ง (1x 1.2 mm) หรือแบบเส้นลวดตีเกลียว (0.4 X 7) OD 1.2 mm มาลวดตามแทนก็ได้ จัดหาเพิ่มเติมเพียงท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว ID 7.0-9.5 mm ยาว 150 mm ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและภาคสนามผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

สรุปผลจากโครงการศึกษาวิจัยแก้ไขปัญหสาย Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx เกิดสัญญาณแสงสูญเสียในระบบหลังติดตั้งใช้งานสามารถแก้ไขปัญหตามเป้าหมายที่กำหนด จากนั้นให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเผยแพร่ผลการศึกษานี้ให้ผู้เกี่ยวข้องทราบ เพื่อนำไปแก้ปัญหาและปรับปรุงข้อกำหนดชุดอุปกรณ์ OFTK เปลี่ยนท่อหุ้มสีดำแบบมีกาว ID 7.0-9.5 mm จากความยาว 100 mm เป็น 150 mm และเพิ่มลวดตาม Stainless Steel Rod OD 1.2 mm ยาว 130 mm

Clip VDO การเชื่อมต่อสาย N-MA for FTTx <https://www.youtube.com/watch?v=24ILTiSjfGw>

### ผู้บริหารที่สนับสนุนโครงการฯ บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)

นายทินกร นาทองลาย                      ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่กลุ่มโครงสร้างพื้นฐาน (รัฐ.)  
 นายธวัชชัย ล้อจงเฮง                      ผู้จัดการฝ่ายอาคารและการกำลัง (รัฐ.)

### ที่ปรึกษาโครงการวิจัยฯ ผู้เชี่ยวชาญทางวิชาการ

รศ.ดร.อริคม ฤกษ์บุตร                      มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร  
 ผศ.ดร.สมมาตร แสงเงิน                      มหาวิทยาลัยนเรศวร  
 ผศ.ดร.กฤษณะ พงศ์พันธ์ศรี                      มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น

### ที่ปรึกษาโครงการวิจัยฯ อดีตพนักงาน บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)

นายณฤทธิ์สมเจริญ สำเภาพล                      นายศักดิ์สิทธิ์ จิระเสวี                      นายดิเรก เย็นนภา  
 นายสุรัฐ เจริญเจริญ                      นายสุวันชัย เจริญนนทวัฒน์                      นายพิสันต์ พงษ์ไชยโสภณ  
 นายสรรเสริญ ทรงเผ่า

### ผู้ร่วมโครงการฯ

นายชัยฤทธิ์ ศรีดาวงษ์ - หัวหน้าคณะทำงาน  
 ว่าที่ร้อยตรี ชัชวาล จันทกุล                      นายกฤษ ศรีวิลาศ                      นายไพศาล เพ่งเจริญ  
 นายกิตติโชค บุญชัยยะ                      นางสุภามาส เพ่งเจริญ                      นายเมธี สุมานะนันท์  
 นายทัพพเทพ โชคชัยวิศิษฐ์                      นายสุชาติ เหมือนจีน                      นายกนกศักดิ์ อารังลักษณ์รัตน์  
 น.ส. ศรีสุตา สันทนะโยธิน                      น.ส. ฉัตรแก้ว จันทมนชัย

### ทีมทดลองภาคสนาม

#### ส่วนขายและบริการลูกค้า กรุงเทพมหานคร 1 สำราญราษฎร์ (บนน.1.4)

นายกริพล พัวตะมะ                      นายสมเกียรติ บุญรัตน์                      นายศิริชัย จุลเจือ  
 นายบุญ นิลลิต

#### ส่วนขายและบริการลูกค้า ปทุมธานี 1 (บนน.2.4)

นายสมควร นนทการการ                      นายไพบูลย์ ปิ่นประดับ                      นายขวัญชัย แซ่เฮ้ง  
 นายวิทยา สร้อยพลู                      นายวาทัญญู แซ่มหิรัญ

#### บริษัท ไฟเบอร์ ออฟติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM)

นายสุรชัย เสรีวิริยะกุล                      นางพิบูลย์ศรี สมบูรณ์                      นายกิตติพงษ์ เสรีวิริยะกุล  
 นายเอกลักษณ์ ปินยัง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] 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)”
- [2] National Telecom Public Company Limited, Fixed Line and Broadband Products Development Sector Specification No. OES-004-068-01 Issued; July 2023 “Non-Metallic Armoured Optical Fiber Cable Drop Cable (Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2 F)”
- [3] Telecommunication Standardization Sector of ITU, Characteristics of a Bending-Loss Insensitive Single-Mode Optical Fiber and Cable, Series G (Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks) G 657 (11/2016)
- [4] National Telecom Public Company Limited, Fixed Line and Broadband Products Development Sector Specification No. GES-172-018-01 Issued; August 2023 “Drop Wire Clamp for Non-Metallic Armoured Optical Fiber Drop Cable (Drop Wire Clamp for Non-Metallic Armoured Round Type)”
- [5] โครงการวิจัย “แก้ปัญหาโครงข่าย ODN ปลายทางของระบบ FTTx ด้วยอุปกรณ์ OFTK (Optical Fiber Termination Kit)” สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) พฤศจิกายน 2560

# Research Study

## Addressing Issues with Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx Signal Loss in the System After Installation

### 1. Background and Problem Statement

The Metropolitan Electricity Authority (MEA) published a royal gazette regarding MEA regulations on the guidelines for installing communication cables on electricity poles (June 28, 2023). The regulations define "communication cables" as cables used for telecommunications or broadcasting, including main communication cables (OFC: Optical Fiber Cable) and distribution cables. "Main communication cables" refer to the primary cables of the network with an outer diameter (OD) of less than 18.0 millimeters (mm), and "distribution cables" (Drop Wire) refer to cables branching from the main communication cables to deliver signals to end users, with an OD of less than 7.0 mm. All communication cables must not contain any metallic components.

According to MEA regulations, the installation of communication cables with metallic components on MEA poles is prohibited. This affects National Telecommunications Public Company Limited (NT), particularly the Optical Distribution Network (ODN) for FTTx (Fiber to the x) services. The Fiber Drop Cable (FDC) or Last Mile uses OFC Round Type cables with a metal wire tension-bearing structure [1].

To comply with MEA regulations, the Testing and Calibration Service Division under the Research and Development Department (formerly) and related departments collaborated to research and design a self-supporting, non-metallic, animal-resistant optical fiber drop cable under the name Non-Metallic Armoured for FTTx (Non-Metallic Armoured Optical Fiber Cable Drop Cable (Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2 F)) [2], following ITU-T G.657(A2/B2) standards [3], in compliance with MEA regulations.

After laboratory and field testing in MEA areas totaling 100,000 meters (m) and Provincial Electricity Authority (PEA) areas totaling 22,000 m (April 2020), the test results met the set targets. NT then issued specifications [2] and procured 1,600,000 meters of Non-Metallic Armoured for FTTx cables with a budget of 13,000,000 baht. NT also designed a straight-line drop wire clamp (Drop Wire Clamp for Non-Metallic Armoured Round Type) [4] or N-MA Clamp, which is NT's intellectual property, to support the Non-Metallic Armoured for FTTx cables.

The ODN network for FTTx services uses Non-Metallic Armoured for FTTx (N-MA for FTTx) cables to connect between terminal closures or SDP/ODP (Splitter Distribution Point) cabinets, installed outside buildings, and ONU (Optical Network Unit) equipment installed inside buildings. Both ends of the N-MA for FTTx cables are connected to the Optical Fiber Termination Kit (OFTK) [5] outside the building at the SDP/ODP cabinet (left side of Figure 1) and inside the building at the ONU equipment (right side of Figure 1).



**Figure 1.** OFTK cables connected at the SDP/ODP cabinet and ONU equipment

After the installation of N-MA for FTTx cables, some areas reported high signal loss (High Loss), requiring maintenance. In some cases, the problem repeated, and the area had to temporarily replace with former animal-resistant cables. Upon receiving these reports, the procurement, standards, and testing divisions collected data to analyze and find a permanent solution to the High Loss issues after the installation of N-MA for FTTx cables.

## **2. Objectives of the Research Study**

The objective of this research study is to address the issue of high signal loss (High Loss) in N-MA for FTTx cables after installation. The study will begin by surveying and collecting data to identify the causes of the issues, such as whether the problems stem from the N-MA for FTTx cable structure, the clamps, or the connection points. The data will then be analyzed to determine the causes and find solutions that are convenient, do not hinder existing operations, have low costs, and do not infringe on intellectual property.

## **3. Research Methodology**

- 1) Survey and collect data on the issues with the 1,600,000 meters of N-MA for FTTx cables procured, focusing on areas experiencing High Loss after installation.
- 2) Summarize the data collected from the survey on the use of N-MA for FTTx cables.
- 3) Test prototype N-MA for FTTx cables (if available) or newly designed equipment or methods (if any) in the laboratory.
- 4) Conduct field tests on prototype N-MA for FTTx cables (if available) or newly designed equipment or methods (if any).
- 5) Summarize the results and prepare a research report for management to consider as a standard for National Telecommunications Public Company Limited.

## **4. Benefits for National Telecommunications Public Company Limited**

- 1) Resolve the issue of High Loss in the 1,600,000 meters of N-MA for FTTx cables procured with a budget of 13,000,000 baht after installation.
- 2) Provide a research report on resolving High Loss issues in N-MA for FTTx cables after installation as organizational knowledge.
- 3) Design Fiber Drop Cables or equipment to address High Loss issues (if any).

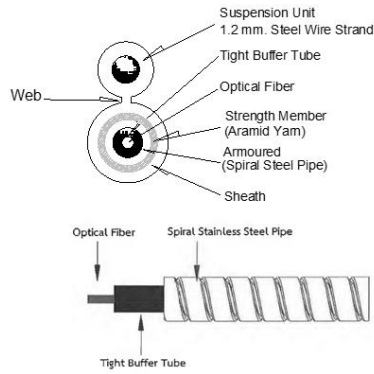
- 4) Enhance the organization's image as an innovative entity capable of designing products to adapt to technological changes and/or regulatory standards set by government agencies.

## 5. Field Issues and Related Theories

In the early stages of providing FTTx services, TOT Public Company Limited (at that time) used OFC Flat Type Fiber Drop Cables. After some time, areas with long cable runs and coastal areas with strong tidal currents began reporting issues with damaged optical fibers. The stakeholders consulted with experts from Japan, who advised that OFC Flat Type Fiber Drop Cables are designed for short-distance installations and are not suitable for TOT's long cable runs of up to 300 meters (maximum installation standard).

Following the issues with OFC Flat Type cables, TOT designed a "Fig-8" structured Fiber Drop Cable and procured Optical Fiber Drop Cable (Round Type) (Optic Drop Wire for FTTx (Round Type (1-2 F)) or OFC Round Type cables, both standard and animal-resistant versions, to support long-distance runs and reduce issues caused by wind forces.

The animal-resistant OFC Round Type cables (Spiral Steel Pipe) are made from SUS-304 grade stainless steel, fully encasing the optical fibers. The suspension unit is made from a single 1\*1.2 mm wire, and the sheath is made from ERPE (Flame Retardant Polyethylene). The "Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type))" is shown in Figure 2, which is the result of research by the Testing and Calibration Service Division and related departments. The OFTK equipment for connecting both ends of the OFC Round Type cables is shown in Figure 3.



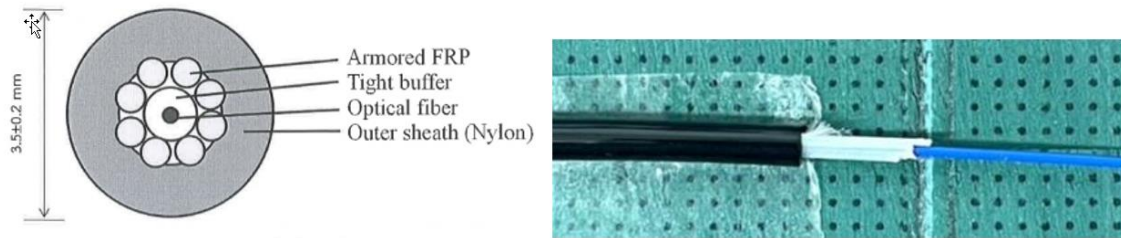
**Figure 2.** Armoured Round Type cable encased in Spiral Steel Pipe



**Figure 3.** OFC Round Type cable connected to OFTK equipment

After MEA announced the prohibition of installing communication cables with metallic structures on MEA poles, the Provincial Electricity Authority (PEA) followed suit. Therefore, standard OFC Round Type cables with metal suspension wires and Armoured Round Type cables with metal suspension and animal-resistant armor violate MEA and PEA regulations.

To comply with MEA and PEA regulations, NT researched and designed a non-metallic, animal-resistant optical fiber drop cable named Non-Metallic Armoured Optical Fiber Cable Drop Cable (Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2 F) or N-MA for FTTx [2]. The round structure provides some level of animal resistance, as shown in Figure 4. NT also designed the N-MA Clamp [4] to support the round cable structure, as shown in Figure 5.



**Figure 4.** N-MA for FTTx cable with non-metallic animal resistance



**Figure 5.** Straight-line N-MA Clamp made from Nylon-6 and ABS

In 2024, NT procured 1,600,000 meters of non-metallic, animal-resistant N-MA for FTTx cables with a budget of 13,000,000 baht. After some areas began using the N-MA for FTTx cables, they reported High Loss issues with the FTTx ports using these cables. Upon receiving complaints from FTTx users, the maintenance team used an OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) to measure the signal and found High Loss at the connection points between the N-MA for FTTx cables and the OFTK equipment at the SDP cabinets installed on electricity poles outside buildings. After reconnecting the problematic points, the issues reoccurred in about 60% of cases after approximately two weeks. The maintenance team temporarily replaced the cables with the former Armoured Round Type cables and suspended the use of N-MA for FTTx cables, notifying the procurement division of the issues.

During the research and design of the N-MA for FTTx cables, the connection points between the N-MA for FTTx cables and the OFTK equipment were in a loop. However, when installing the N-MA for FTTx cables, MEA and PEA prohibited looping the cables at the SDP cabinets outside buildings, where High Loss issues occurred. In contrast, the connection points at the ONU equipment inside buildings, which were in a loop, did not experience High Loss issues.

## 5.1 Signal Attenuation or Optical Loss

Signal attenuation in optical fibers, compared to other communication media, is superior in terms of distance and signal capacity. Optical fibers have low signal attenuation per unit distance, measured in decibels (dB), and can be calculated using equation (1):

$$\text{Signal Attenuation} = 10 \log \frac{P_i}{P_o} \quad (1)$$

The main causes of optical loss in fibers are:

- 1) Absorption loss
- 2) Scattering loss

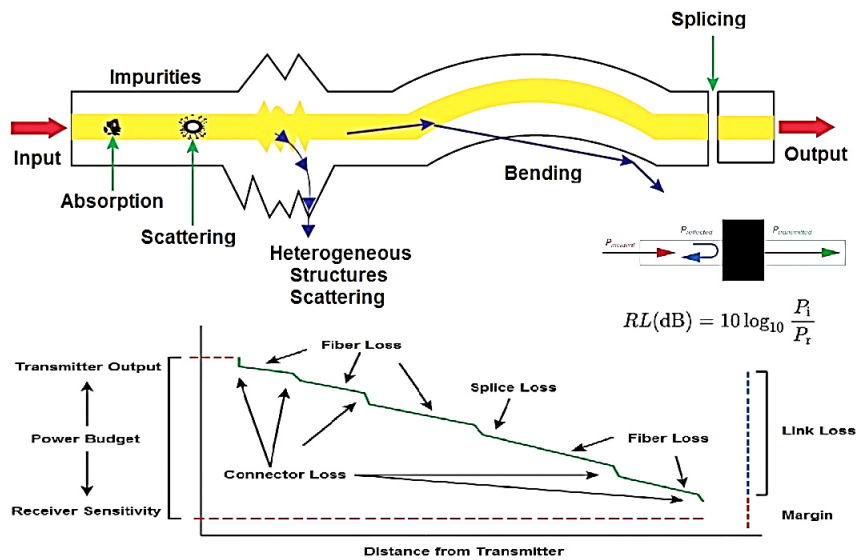


Figure 6. Optical signal loss (Loss) in an optical fiber network

**1) Absorption Losses:** These are the losses of optical signals due to the absorption of light by the materials used in the construction of optical fibers. These losses depend on the chemical composition of the materials and the fabrication process of optical fibers. When optical signals are transmitted through the fibers, the light energy disperses, and some of it is converted into heat within the fiber. This results in the loss of light energy due to absorption. The factors causing absorption losses can be divided into two main cases:

- **Intrinsic Absorption:** This refers to the absorption of light by the pure materials used to make optical fibers. For example, pure silica glass, which is commonly used in optical fibers, absorbs light, particularly ultraviolet light at a wavelength of  $0.1\ \mu m$  and infrared light at a wavelength of  $10\ \mu m$
- **Extrinsic Absorption:** This refers to the absorption of light due to impurities present in the optical fibers. These impurities, often metal ions, are introduced during the melting process of fiber. Even a small concentration of these impurities, such as 1 ppb (parts per billion), can significantly attenuate the light signal. This type of loss can be minimized by using highly pure raw materials.

**2) Scattering Losses:** These are losses of light caused by the scattering of light as it travels through the optical fiber. When light is scattered, it causes the light traveling within the fiber to change modes. This mode change results in the light beam spreading out from the core to outside the core.

Scattering losses can be divided into two types: Rayleigh Scattering and Mie Scattering. Both types are caused by imperfections in the physical characteristics of the optical fiber due to manufacturing processes. Current technology cannot completely eliminate these issues. The details of these scattering losses are as follows:

- **Rayleigh Scattering:** This occurs when light traveling through the fiber encounters particles that are similar in size to the wavelength of the light. This causes the light to scatter in various directions. Impurities in the glass, introduced during the manufacturing process, contribute to this effect. The fiber is heated to around  $2,000^{\circ}C$  to melt the glass preform, which is then rapidly cooled to  $20^{\circ}C$ . This rapid cooling process creates density variations in the glass, leading to the formation of small particles. Rayleigh scattering losses are inversely proportional to the wavelength of the light, as shown in equation (2).

$$\text{Rayleigh Scattering Loss} = \frac{1}{\lambda^4} \quad (2)$$

The light loss due to Rayleigh scattering is approximately  $0.3\ dBkm^{-1}$  at a wavelength of 1300 nm and 0.18 dB/km at a wavelength of 1550 nm, following the equation.

## Mie Scattering

Mie Scattering, also known as Uniformity Loss, occurs due to irregularities in the structural uniformity of the optical fiber. These imperfections create micro-fluctuations in the refractive index between the core and cladding, leading to increased light scattering within the fiber. The degree of scattering depends on the wavelength of light and the irregularity pattern along the fiber's axis, resulting in energy loss due to the scattered light escaping. The scattering loss is proportional to the wavelength and is given by the equation:

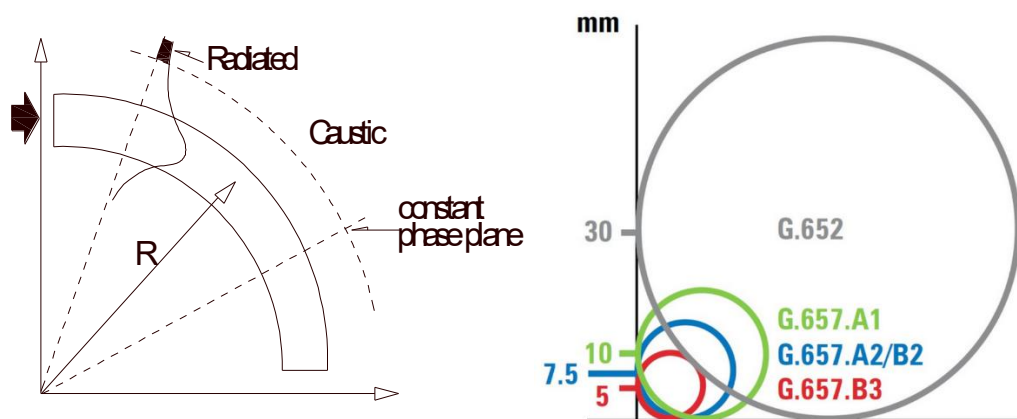
$$\text{Mie Scattering Loss} = \frac{\lambda}{10} \quad (3)$$

## Bending Loss

Bending loss in optical fiber is categorized into Micro Bend and Macro Bend.

Micro Bend occurs due to small-scale, localized bends along the fiber caused by external pressure or mechanical stress. These microscopic bends alter the refractive index, causing light leakage and resulting in signal loss. Variations in fiber coating thickness or structural inconsistencies also contribute to this loss.

The diagram below illustrates how light propagates when the fiber is bent.

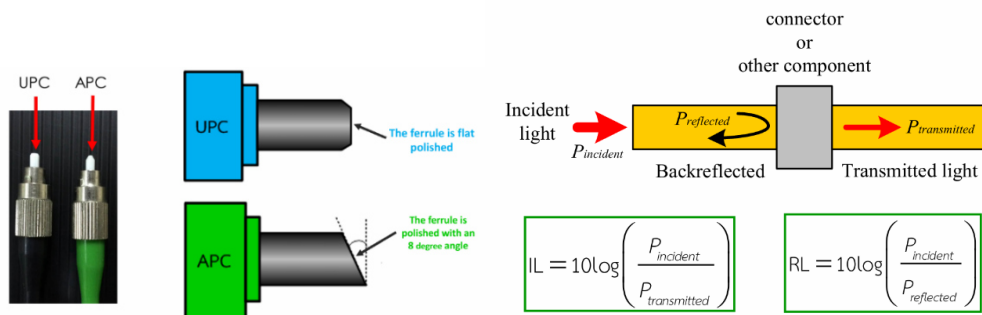


**Figure 7.** Light Propagation in a Bent Optical Fiber

**Macro Bend** refers to larger bends in the optical fiber that exceed a critical radius. This phenomenon occurs when the fiber is bent beyond the minimum bending radius

defined by industry standards (as shown in the diagram). When the fiber is excessively bent, the light traveling within the core leaks out, leading to additional signal attenuation.

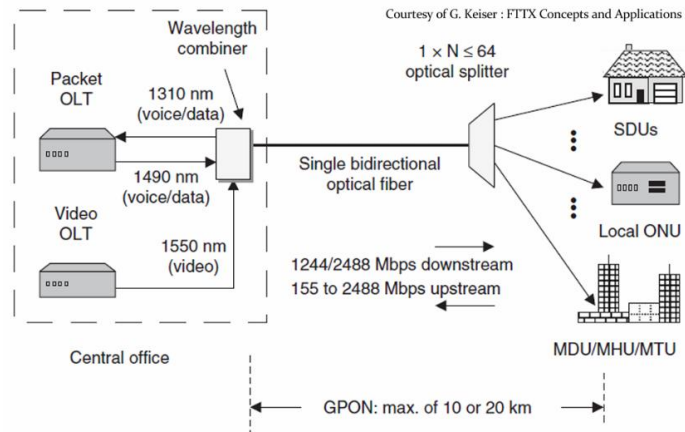
Light is refracted out of the core more, causing it to scatter in multiple directions. The smaller the radius of curvature, the greater the intensity of Macro Bend, leading to weaker signals and data loss. Light with shorter wavelengths is more susceptible to Macro Bend than light with longer wavelengths. Signal loss due to Macro Bend reduces the distance over which data can be transmitted.



**Figure 8.** Connection Loss

**Connection Loss** occurs due to incomplete connections in optical fiber links. Additionally, small gaps at the connection points can cause light loss due to reflection, known as "Fresnel Reflection," resulting in what is called "Fresnel Loss." This can be calculated using equation (4).

$$\begin{aligned} \text{Fresnel loss} &= -10 \log(1 - r) & (4) \\ \text{When} &= \left[ \frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right]^2 \\ r &= \text{Size of Fresnel Reflection} \\ n_1 &= \text{Refractive index of Core} \\ n &= \text{Refractive index of the medium that is far away} \end{aligned}$$



**Figure 8.** FTTx-GPON network

The FTTx service ODN network has the following standard loss values:

- 1) Optical Connector Loss: Standard specifies  $\leq 0.40$  dB/Point
- 2) Splice Loss: Standard specifies  $\leq 0.05$  dB/Point
- 3) Safety Margin between FDF equipment and ODP/SDP:  $\geq 3.00$  dB
- 4) Differential Optical Path Loss:  $\leq 15.00$  dB
- 5) Optical Return Loss (ORL):  $\geq 32.00$  dB
- 6) SC/APC Connector Return Loss:  $\geq 60.00$  dB
- 7) SC/UPC Connector Return Loss:  $\geq 55.00$  dB
- 8) Signal Attenuation Loss (ITU G.657A Optical Fiber):
  - Wavelength 1310 nm:  $\leq 0.35$  dB/km
  - Wavelength 1383 nm:  $\leq 0.33$  dB/km
  - Wavelength 1490 nm:  $\leq 0.27$  dB/km
  - Wavelength 1550 nm:  $\leq 0.25$  dB/km
  - Wavelength 1625 nm:  $\leq 0.27$  dB/km

## 5.2 High Loss and Differential Path Loss Issues in ODN Networks

FTTx service using GPON (Gigabit Passive Optical Network) technology supports up to 64 Ports/PON. The optical attenuation range, according to ITU-T Rec. G.984.2 Class B+, should not exceed 28 dB, with the optical fiber length not exceeding 20 km and no more than 2 levels of splitters. FTTx service between OLT and ONU/ONT transmits data through the ODN network using TDM (Time Division Multiplexing), allowing multiple data

channels to be sent simultaneously over the same optical fiber by dividing the transmission time among multiple users.

In FTTx ODN networks, special attention should be given to High Loss and DOPL (Differential Path Loss).

### **High Loss**

High Loss in ODN networks can be caused by various factors, such as non-standard optical fibers (rare), bending or compression of the fiber, damage at splice points due to twisting or pulling, damaged connector ferrules, or dirty contact surfaces.

The occurrence of High Loss can happen during the construction of ODN or after providing FTTx services. This issue arises because signal quality deteriorates due to excessive Loss beyond standard ODN structure levels, leading to significantly reduced optical signal transmission in FTTx systems. The FTTx system has a normal operational Margin, and the ODN loss for GPON should be  $\leq 28$  dB (with a management range of 31-32 dB). High Loss causes optical signals to weaken, resulting in increased attenuation or complete loss of transmission.

High Loss can occur in various locations, including RX ONU and RX OLT. If High Loss happens at the OFC (near the SDP cabinet), both RX ONU and RX OLT will experience severe signal loss. If High Loss is at the OFC joint but only in one Port (such as a bad Splice), Drop Wire OFC will then suffer signal degradation at specific Ports.

The increase in High Loss can also disrupt data transmission and digital signal display. This results in the inability to correctly read binary values of "0" (low signal) and "1" (high signal), leading to an increase in cumulative transmission errors known as Bit Error Rate (BER), which represents incorrect data bits.

In FTTx services via PON, multiple customers share the same fiber transmission line. Even if only one Port experiences High Loss, it can cause signal problems. However, if the ONU Port has severe High Loss before data transmission occurs, it can impact the

entire PON. If one ONU cannot function properly due to High Loss, it may also affect others in the PON system, reducing service quality.

In this case, the ONU may still remain in Sync, but if High Loss increases and the Bit Error Rate rises significantly, the OLT device may start blocking the ONU signal (causing loss of Sync). Since the ONU is linked with other ONUs in the same PON, the signal disruption may affect overall transmission quality.

A common issue is that devices appear to be "frozen" or require frequent reboots to reconnect. However, High Loss can cause permanent disruptions in the service, leading to ongoing quality issues and difficulties in identifying the exact source of the problem. In some cases, customers may even cancel the service due to repeated failures.

### Differential Optical Path Loss

Differential Path Loss (DOPL) refers to the loss difference between PON Ports within the standard limit of  $DOPL \leq 15$  dB. Preventing DOPL issues must start at the design phase, as different ONU Ports in a PON system can have varying loss values. If the loss difference between ONUs exceeds 15 dB, signal transmission can become unstable due to inconsistent optical connection quality between the OLT and ONUs in the PON system.

$$\text{Differential Path Loss (dB)} = a \cdot d \quad (5)$$

Loss coefficient (  $a$  ) = Loss (dB) calculated from equation (1)

Distance (  $d$  ) = Kilometers (km)

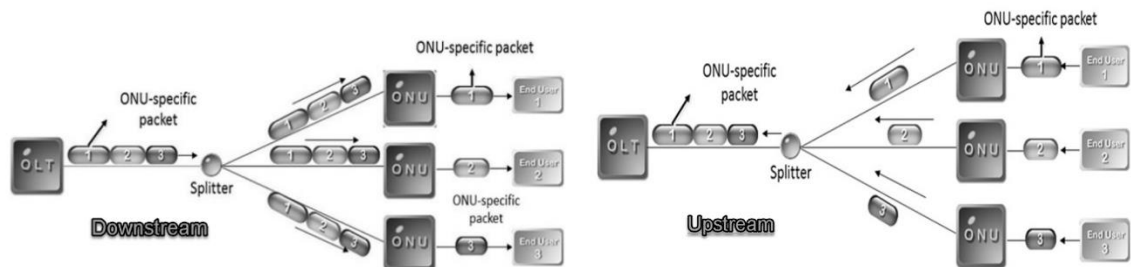


Figure 10. GPON FTTx Data Transmission using TDMA

Data transmission in GPON FTTx using TDMA (Time Division Multiple Access) employs time division techniques to share the signal channel. The OLT (Optical Line Terminal) creates a schedule divided into small intervals called "Time Slots," assigning each ONU (Optical Network Unit) and the OLT a specific time slot for data transmission, as shown in Figure 10. Each ONU transmits and receives data alternately within the assigned time slots. When an ONU connected to the system has a loss greater than 15 dB, the light takes longer to travel, causing other ONUs to wait for their time slots, resulting in delays and degraded service quality for another ONUs.

The DOPL issue may arise from the quality of fiber optic connections made with a Fusion Splicer or Connector, which can have high loss. The length of the branched fiber optic cables may vary significantly, causing the light signal to travel different distances, leading to a loss exceeding 15 dB for that port in the PON (Passive Optical Network). Design errors, such as using multiple layers of splitters or providing service from different splitters, can also contribute to the problem. The quality of equipment used in the system, such as splitters, ONU devices, or external interference causing fiber bending, can also affect signal loss.

### **Difference Between High Loss and Differential Path Loss**

High Loss (occurring after use) and Differential Path Loss (occurring during system installation) are generally confused because when comparing the RX ONU values in the same PON and finding that the value is greater than 15 dB, it is often said that Differential Path Loss has occurred, which is a misunderstanding. But in fact, it is High Loss occurring in the PON because if the design is correct, there is no chance of Differential Path Loss. According to the standard, the Differential Path Loss measurement is used to measure the value from the OLT to the SDP/ODP. The Loss value of each Port must differ by no more than 15 dB. The RX ONU values in the same Port are not used for comparison. When the RX ONU values differ by more than 15 dB, it is stated that it is Differential Path Loss, which is incorrect.

### **5.3 Compilation of N-MA Cable Issues for FTTx in the Field**

The logistics department has been notified of issues with N-MA cables for FTTx, where high loss occurs after installation and use for a period. To analyze the problem, the logistics department coordinated with the standards and testing departments to collect data in the field. The survey was conducted in areas where residents experienced issues with N-MA cables for FTTx in FTTx services.

Initial data from the surveyed areas where FTTx services were installed using N-MA cables for FTTx showed that high loss issues began to occur approximately two weeks after installation. Upon inspection, high loss was found at the connection points of the fiber optic cables between the N-MA cables for FTTx and the OFTK equipment before entering the SDP cabinet (without looping the cables). However, there were no issues at the connection points of the fiber optic cables before entering the ONU equipment on all ports (with looping the cables).

Maintenance staff reconnected the fiber optic cable connections, and the problem reappeared after approximately 2-4 weeks in 60% of the cases. When the problem persisted, the maintenance staff temporarily switched to using the original Armoured Round Type animal bite protection cables as a replacement. They also suspended the use of N-MA cables for FTTx and informed the logistics department about the issue.

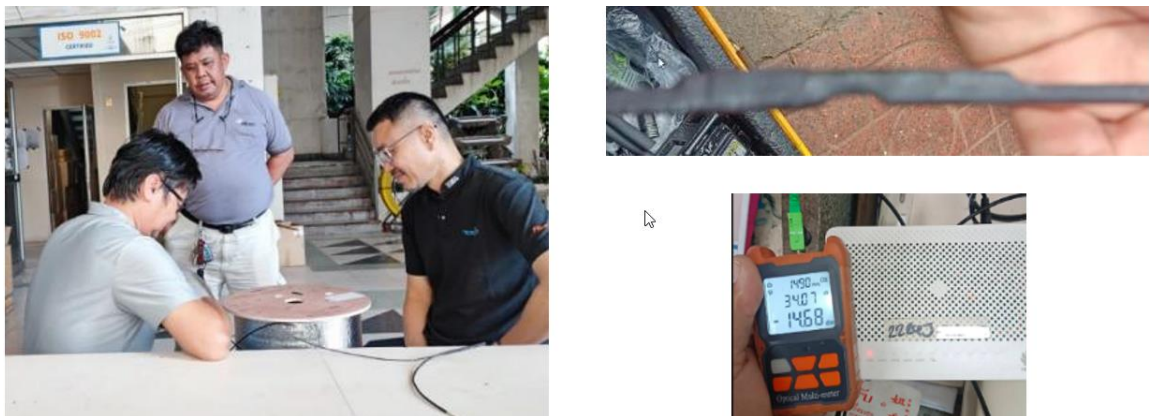


Figure 11. Data Collection on N-MA Cable Issues for FTTx in the Surveyed Area

While NT Company is researching and designing N-MA cables for FTTx (2020), the Metropolitan Electricity Authority (MEA) and the Provincial Electricity Authority (PEA) have not yet issued any prohibitions regarding looping communication cables on

electric poles. This is due to the problem of cluttered communication cables on electric poles (2024), as shown in Figure 12. (Manually) MEA has issued a regulation stating that each pole must not have more than 12 Fiber Drop Cables per service provider, with a total of no more than 60 cables from all providers. The length of the drop cables must not exceed 500 meters, and looping is prohibited, except for loop cables, which are only allowed at communication cable connection points (OFC). PEA has provided additional details, stating that loop cables must not exceed two loops per pole, with each loop having an outer diameter (OD) of no more than 60 centimeters (cm), and the length of the cable in the loop must not exceed 15 meters.



**Figure 12.** Optic Drop Wire Position at SDP Cabinet, No Looping Allowed (Middle Image)

Installation and connection of N-MA fiber optic cable for FTTx during research (2020)  
 Looping the N-MA cable for FTTx before entering the SDP cabinet and ONU equipment was intended to provide slack for future maintenance (Service). Later (2024), the Metropolitan Electricity Authority (MEA) and the Provincial Electricity Authority (PEA) announced a prohibition on looping Fiber Drop Cables. As a result, the N-MA cable for FTTx before entering the SDP cabinet does not have a loop, which has caused high loss issues at this point. However, the connection point of the fiber optic cable before entering the ONU equipment still has a loop and does not experience high loss. Observations indicate that the high loss issue at the connection point between the Fiber Drop Cable and the OFTK equipment differs depending on whether the cable is looped or not.

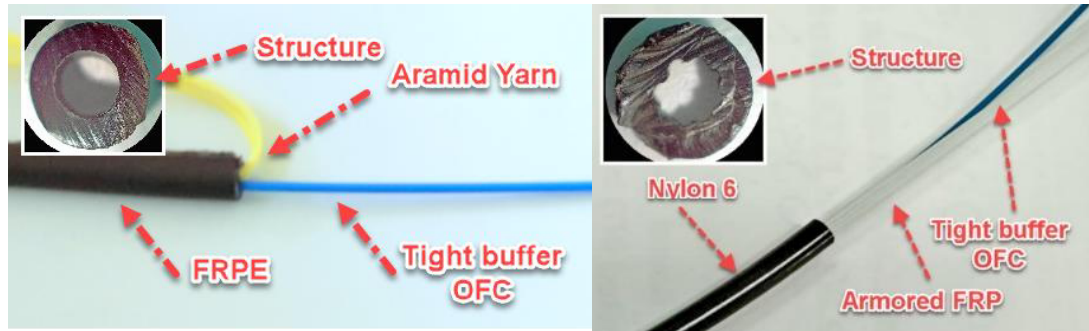


Figure 13. Comparison of the Original Round Type OFC Cable Structure with the N-MA for FTTx Cable

The high loss issue in FTTx services occurs specifically with the N-MA for FTTx cable, but not with the Armoured Round Type cable. When considering the installation and usage of the fiber optic connection points, the same OFTK equipment set is used, but the cable clamping devices and structures differ as shown in Figure 13. Specifically:

- 1) The Armoured Round Type cable internally contains Tight Buffer OFC wrapped with Aramid Yarn, with insulation made of FRPE material, and the cable is secured with a Drop Wire Clamp.
- 2) N-MA cable for FTTx, internal structure: Tight Buffer OFC, wrapped around FRP (Fiber Reinforced Plastic), 8 cores, OD of each core 0.5 mm, insulation using Nylon-6 (Tight Buffer OFC, not wrapped with Aramid Yarn), N-MA Clamp is held in a straight wedge shape.

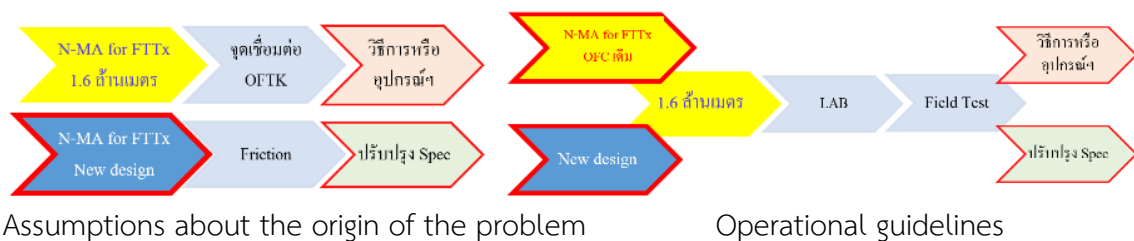
When testing by hand-pulling Tight Buffer OFC to compare the structures of both Fiber Drop Cable designs, it was found that the OFC Round Type structure had no friction between the Tight Buffer OFC and the insulation. In contrast, the N-MA for FTTx cable exhibited noticeable friction when pulled by hand. This led to the initial hypothesis that the friction of the Tight Buffer OFC might affect the fiber optic connection points.

The Testing and Calibration Service Division (TWS), previously known as the Filling Division before the restructuring, has been renamed the Telecommunications Equipment Calibration and Maintenance Division (TWT). They invited relevant stakeholders to a brainstorming session in the TWS meeting room. Participants included

the Procurement Division, Standards Division, Bangkok Central 1 Sales and Customer Service Division (Bonn.1.4), Pathum Thani 1 Sales and Customer Service Division (Bonn.2.4), representatives from JIANGSU XDT INTERNATIONAL CO., LTD (XDT), a cable manufacturer from China, and representatives from Fiber Optic Communication Co., Ltd. (FOCOM), the distributor in Thailand. The TWS division hosted the meeting.



**Figure 14.** Meeting with stakeholders to determine solutions for High Loss in N-MA for FTTx cables

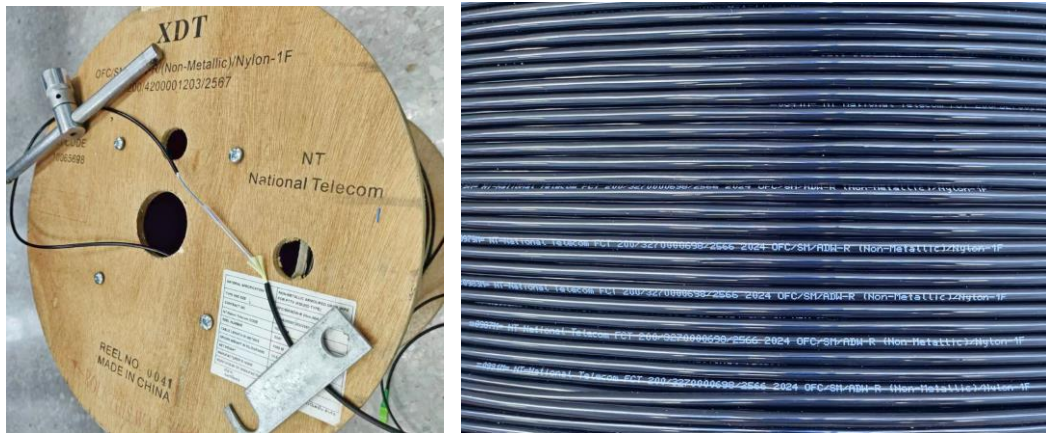


**Figure 15.** Determining solutions for High Loss in N-MA for FTTx cables

The meeting concluded that the high loss issue might likely be due to the connection points between the N-MA for FTTx cables and the OFTK equipment set. During the research phase, the connection points were in a loop, but during actual use, the Metropolitan Electricity Authority (MEA) and the Provincial Electricity Authority (PEA) prohibit looping the cables, leading to tension and torsion at the connection points. Another reason is the difference in friction between the Tight Buffer OFC and the insulation of the Armoured Round Type cable (no friction) and the N-MA for FTTx cable (noticeable friction when pulled). The meeting agreed on the following operational approaches:

- 1) Investigate and find solutions for the N-MA for FTTx cables, totaling 1,600,000 meters, that were purchased and stored, which exhibited high loss after installation.

- 2) Revise the specifications (if necessary) or study appropriate installation methods to address the issue in the long term.



**Figure 16.** XDT Factory Producing Low-Friction N-MA Cable for FTTx

The meeting assigned the XDT factory to produce 1,000 meters of low-friction N-MA cable for FTTx, as shown in Figure 16. This cable is to be used for comparative testing of mechanical and optical properties against the N-MA cable for FTTx purchased by NT Company and stored in the inventory, as well as against the Armoured Round Type cable (with metal) designed to prevent animal bites in the laboratory.

#### 5.4 Testing Armoured Round Type and NMA for FTTx Cables in the Laboratory

Data from the high-loss problem area in the FTTx network indicates that the issue occurs at the connection point between the Fiber Drop Cable and the OFTK equipment before entering the outdoor SDP cabinet. The problem is specific to the NMA for FTTx cables that are not looped. Preliminary analysis suggests that the issue may stem from:

- 1) Differences in cable structure:

- **Armoured Round Type Cable:** The core consists of Tight Buffer OFC wrapped with Aramid Yarn to withstand tension and torsion, surrounded by a Spiral Steel Pipe and insulated with FRPE. This structure provides flexibility, and the Tight Buffer OFC has low friction, allowing it to slide easily when pulled by hand (sample length: 5 meters).

- **N-MA for FTTx Cable:** The core consists of Tight Buffer OFC surrounded by FRP with 8 cores (Tight Buffer OFC without Aramid Yarn). The FRP core has a hard surface, and the insulation is made of Nylon-6, which is very smooth and hard to prevent biting. When pulled by hand, the Tight Buffer OFC exhibits higher friction (sample length: 5 meters).

## 2) Clamping devices:

- The Armoured Round Type cable is clamped using a Drop Wire Clamp, which separates the bridge cable for clamping.
- The N-MA for FTTx cable is clamped using an N-MA Clamp, which clamps the entire cable in a straight, wedge-shaped design.

3) Technician skills: The connection points are made using a Fusion Splice machine, and the quality of the OFTK equipment cables.

To analyze the initial causes of the problem, Armoured Optic Drop Wire for FTTx (rodent-resistant cable with metal) and N-MA for FTTx (rodent-resistant cable without metal) were tested in the laboratory. The N-MA for FTTx cables tested were randomly sampled from cables procured for research (122,000 m in 2021), cables stored in the warehouse (1,600,000 m in 2024), and cables newly designed by XDT (2024), with one sample from each category.

### 5.4.1 Friction Test

Friction between the Tight Buffer OFC and the surrounding material when subjected to twisting and pulling forces at connection points can result in high loss at the connection points. The friction force was tested on one sample of Armoured Optic Drop Wire for FTTx and three samples of N-MA for FTTx using a precision force gauge, as shown in Figure 17.

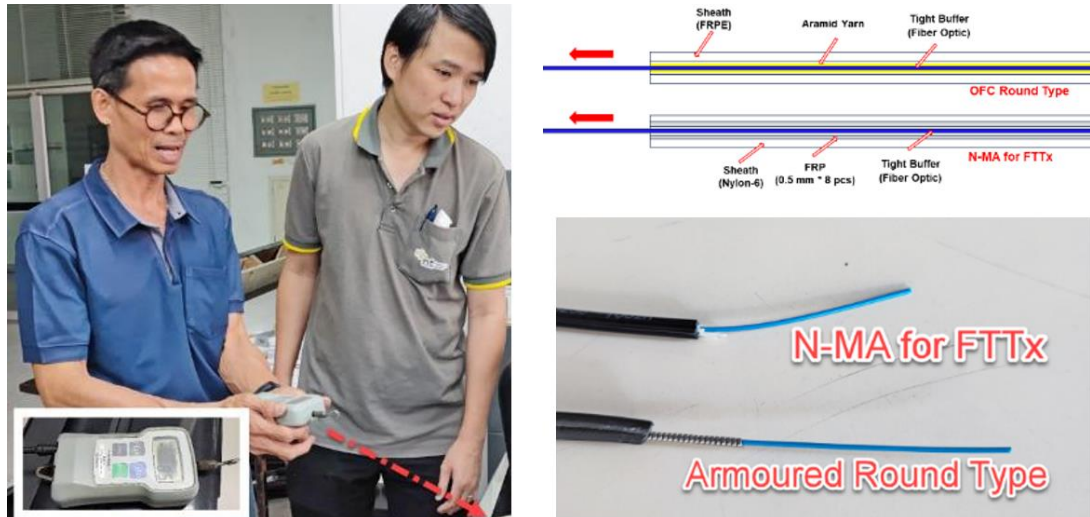


Figure 17. Testing friction between Tight Buffer OFC and surrounding material

Table 1. Friction force between Tight Buffer OFC and surrounding material

| Sample | Armoured<br>Optic Drop<br>Wire for FTTx | N-MA for FTTx      |                     |                      | Remark                   |
|--------|-----------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|
|        |                                         | Research<br>(2021) | Warehouse<br>(2024) | New Design<br>(2024) |                          |
| 1      | Unable to<br>read value                 | 46.00              | 19.88               | 3.80                 | sample length<br>100 cm. |
| 2      |                                         | 50.00              | 10.80               | 8.50                 |                          |
| 3      |                                         | 48.20              | 13.50               | 4.20                 |                          |
| Aver   |                                         | 48.07              | 14.73               | 5.50                 |                          |
| Unit   | Newton                                  |                    |                     |                      |                          |

#### 5.4.2 Fiber Drop Cable Fastening Equipment

The Armoured Round Type cable, with a "Fig.8" structure, has a metal tension-bearing bridge with an OD of 1.2 mm on top and a groove (web) separating the optical fibers below. The standard specifies a working tension of  $\geq 800$  N (81.57 kgf). During installation, only the tension-bearing bridge is separated and wrapped around the Drop Wire Clamp. The N-MA for FTTx cable, with a round structure and no metal, has a standard working tension of  $\geq 300$  N (30.59 kgf). It is fastened using an N-MA Clamp with a straight wedge shape. The entire cable must be inserted into the groove of the N-MA Clamp, and pressure is applied to the cable. The pressure is inversely proportional to the tension. There is a concern that if the tension reaches a certain point, the applied pressure could cause high loss.

A test was conducted to determine the tension and pressure from the fastening equipment for both cable structures using a Horizontal Tensile Testing Machine. The distance between the fastening devices was 6 meters, and the test speed was 50 mm/min. During the test, an optical signal was continuously fed, as shown in Figures 18 and 19.

The test results of Fiber Drop Cable clamping devices, both structures, the tensile strength passed the installation standards, namely, the Armoured Round Type cable, metal tensile bridge cable, OD 1.2 mm, received an average destructive tensile force of 1,578 N (160.91 Kgf.), the N-MA for FTTx cable in the test sample warehouse received an average destructive tensile force of 608 N (61.99 Kgf.) while testing, feeding the light signal at the source with an Optical Light Source, the destination measuring the light signal with an Optical Power Meter, all tested samples had no loss values (Open light value when the cable reaches the breaking point).



**Figure 18.** Tensile Test Between Fastening Equipment and Fiber Drop Cable



**Figure 19.** Optical Signal Fed Throughout the Test and Display of Damaged Samples from the Test

Due to issues with vehicles snagging Fiber Drop Cables, stakeholders requested that the fastening equipment release the cable when a certain level of force is applied. The Testing and Calibration Service Division (2021) and related departments designed a straight wedge-shaped N-MA Clamp to release the N-MA for FTTx cable when a specific force is applied. This design aligns with the test results shown in Table 2.

**Table 2.** Tensile Force Between Fastening Equipment and Fiber Drop Cable

| Sample | Armoured Round Type | N-MA for FTTx   |                  |                   | Remark                                                                                                               |
|--------|---------------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                     | Research (2021) | Warehouse (2024) | New Design (2024) |                                                                                                                      |
| 1      | ++ 3,565.69         | ++ 573.30       | ** 592.00        | ** 721.40         | Distance 6 meter<br>Speed test 50 mm/min<br>** The cable slipped out of the clamp.<br>++ The sample cable is broken. |
| 2      | ++ 3,553.92         | ++ 574.20       | ++ 576.60        | ** 668.30         |                                                                                                                      |
| 3      | ++ 3,593.15         | ** 598.10       | ** 657.80        | ++ 601.90         |                                                                                                                      |
| Aver.  | 3,570.92            | 581.87          | 608.80           | 663.87            |                                                                                                                      |
| Unit   | Newton              |                 |                  |                   |                                                                                                                      |

Preliminary Summary of Armoured Round Type Cable Fastening Equipment and N-MA Cable for FTTx [1]

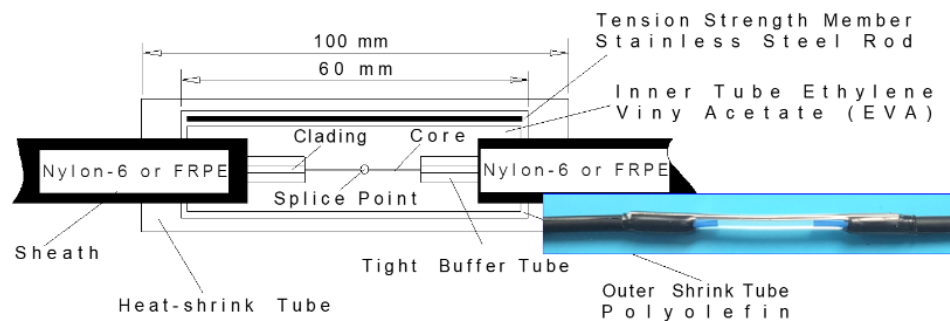
The installation and usage are not affected, especially for N-MA cables for FTTx. The position of the N-MA Clamp cable inserted into the equipment is compressed until it deforms, and the cable insulation breaks apart. All the tested samples showed no loss during testing, as illustrated in Figure 19.

#### 5.4.3 Fiber Optic Connection Points

The test results for friction resistance between Tight Buffer OFC and the covering material, as well as the tensile force between the cable and the fastening equipment, showed that all samples met the criteria with no loss occurring. The final factor causing high loss is the fiber optic connection point, as illustrated in Figure 20. The difference during the research phase before entering the SDP was that the cable was looped when servicing later. However, in actual usage, the MEA prohibits looping the cable, which

may create a weak point due to tensile and torsional forces at this point. The connection point within the loop does not need to withstand such forces.

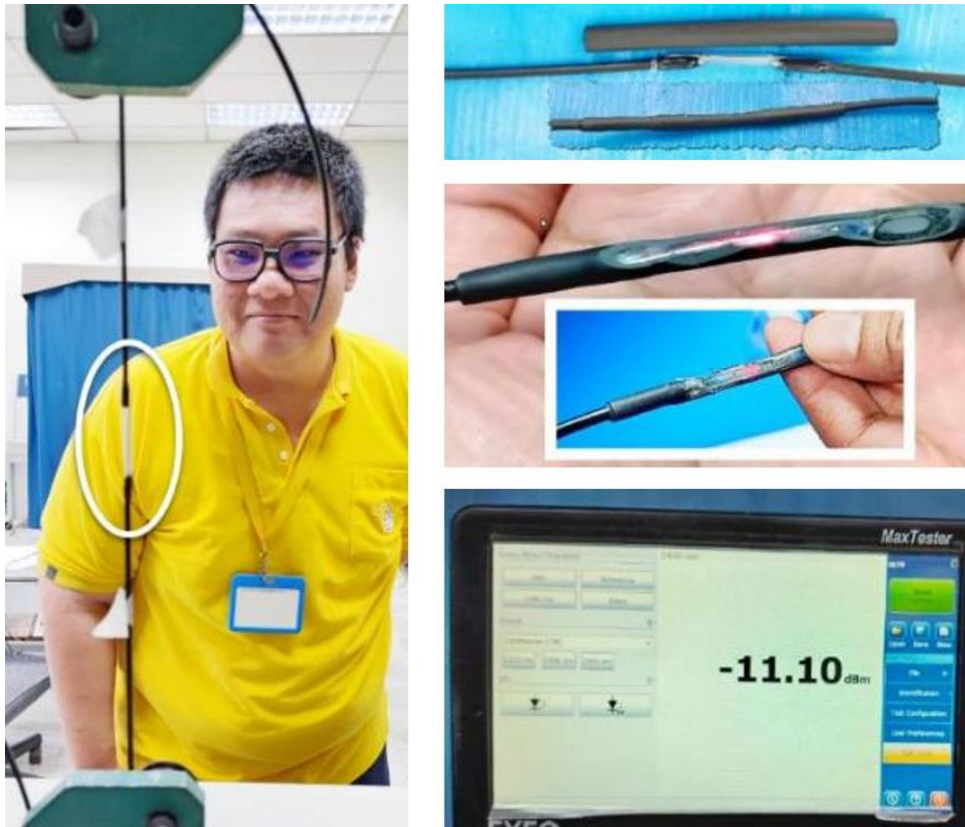
Several factors are related to fiber optic connection points, such as the lack of proper skills among operators, low-quality fusion splice machines, or the absence of regular Art Testing at appropriate intervals. Finally, the quality of the OFTK equipment set, especially the quality of the Protection Sleeve, cannot be controlled, as the procurement area varies in terms of color, curing time, and the melting point of EVA (Ethylene Vinyl Acetate).



**Figure 20.** Connection Point between Fiber Drop Cable and OFTK Equipment Set Cable

The Armoured Round Type cable has FRPE insulation with a smooth, highly flexible surface. The N-MA cable for FTTx has Nylon-6 insulation with a hard, non-flexible surface. When these cables with different insulation materials are connected and covered with a black heat-shrink tube, the adhesive inside the black heat-shrink tube and the EVA material of the Protection Sleeve will have significantly different adhesion properties, potentially leading to high loss. The "tensile-torsion" test was conducted on the black heat-shrink tube with different insulation materials.

Take the wires with the same and different insulation and connect them. Separate them into connection points and wrap only the Protection Sleeve for 3 samples and wrap the Protection Sleeve followed by the black heat shrink tube with adhesive for another 3 samples. Test the tensile force and torque as shown in Figure 21. The test results are shown in Table 3.



**Figure 21.** Testing "Tensile-Torsional" forces at fiber optic connection points

**Table 3.** Tensile force at connection points between N-MA cables for FTTx and OFTK equipment set cables

| Sample | Splice Protection Sleeve |             |           | Inner Optic Protection Sleeve<br>Covered with Black Heat Shrink Tube |             |           | Remark |
|--------|--------------------------|-------------|-----------|----------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|--------|
|        | Nylon-FRPE               | Nylon-Nylon | FRPE-FRPE | Nylon-FRPE                                                           | Nylon-Nylon | FRPE-FRPE |        |
| 1      | 79.00                    | 88.00       | 85.00     | 78.20                                                                | 223.80      | 109.00    |        |
| 2      | 89.00                    | 78.40       | 82.40     | 99.70                                                                | 224.00      | 107.00    |        |
| 3      | 85.20                    | 85.20       | 84.40     | 113.20                                                               | 220.00      | 111.10    |        |
| 4      | -                        | ***67.00    | -         | -                                                                    | -           | -         |        |
| Aver.  | 84.40                    | 83.87       | 83.93     | 97.03                                                                | 222.60      | 109.03    |        |
| Unit   | Newton                   |             |           |                                                                      |             |           |        |

The connection point of the Protection Sleeve alone received an average destructive tensile force of 84 N (8.56 Kgf.) An additional sample of the insulated connection point between Nylon-6 and Nylon-6 was tested by wiping the Protection Sleeve with a wet cloth to quickly cool it. The test results showed a significant reduction in tensile force.

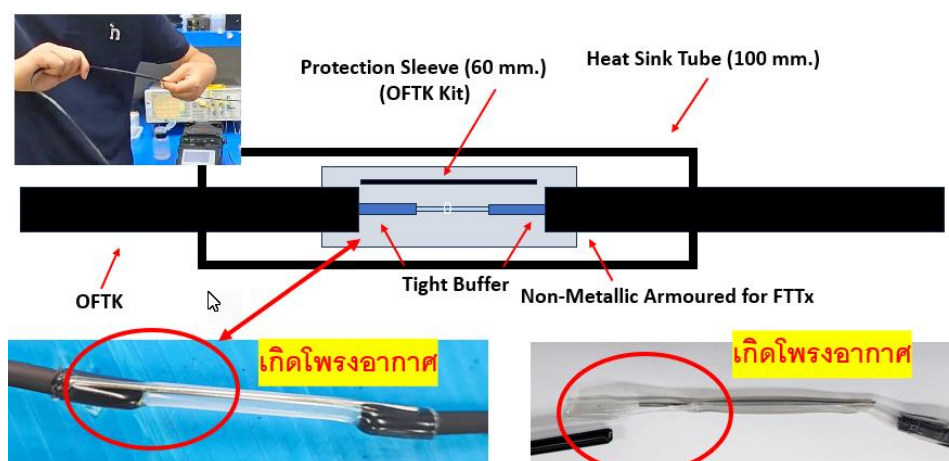
The connection points of Protection Sleeve and black heat shrink tube with adhesive are clustered between Nylon-6 and FRPE and between FRPE and FRPE, but the connection points between Nylon-6 and Nylon-6 are high as shown in Table 3.

Torque test of the specific connection point between Nylon-6 and FRPE (actual connection point). Twist the connection point with a handgrip distance of 300 mm, twist clockwise and counterclockwise until the threads stop ( $\approx 5-6$  turns). While testing, inputting a light signal, the test results show a Loss value running according to the torque, Loss value 11 to 34 *dB*. When cutting to see inside with inputting red light, a red crack appears on the fiber as shown in Figure 22.



**Figure 22.** Twisted connection points between the fiber optic cable showing damage with red crack points visible.

According to the original standard, the connection points of the optical fiber are covered by the Protection Sleeve at both ends of the insulation. The purpose is to increase the strength of the connection points. In reality, the quality of the OFTK equipment varies. Some operators lack the skills to set the correct heat and duration for baking the Protection Sleeve, which can result in too much or too little air pockets between the cable insulation and the Tight Buffer, as shown in Figure 23. The torsion test results showed that up to 60% of the samples tested in the laboratory were damaged (6 out of 10 samples).



**Figure 23.** Connection points between N-MA for FTIX cable and OFTK Kit showing air pockets.

In summary, the N-MA for FTTx cable connection point with the original standard OFTK equipment set, the test results can support the straight tensile force according to the criteria but “cannot support the torque”.

In summary, the connection points of N-MA cables for FTTx using the standard OFTK equipment set can support direct tensile force according to the criteria but "cannot support torsional force."

## 5.5 Study of Fiber Optic Connection Methods to Support Tensile and Torsional Forces at Connection Points

### 5.5.1 Issues with Fiber Optic Connection Points Using OFTK Equipment Set

Invite relevant experts from the Suan Ruang Rat area (Section 1.4) and the Pathum Thani area (Section 2.4), engineers from the XDT factory, and the TWC division (host) to jointly analyze and find solutions to the problem. Conduct laboratory tests by connecting N-MA cables for FTTx (from the warehouse) using the OFTK equipment set on 3 samples. Simulate real-field installation at SDP cabinet positions (without looping the cables) on 5 samples. Test the tensile and torsional forces on the fiber optic connection points (with continuous optical signal input during the test).

In the laboratory, 2 out of 3 samples showed high loss. In the field tests, 2 out of 5 samples showed high loss. In total, 4 out of 8 samples failed to meet the criteria, accounting for 50%. The damage at the connection points was caused by torsional force.



**Figure 24.** Experts installing N-MA cables for FTTx with OFTK equipment at the simulated field.

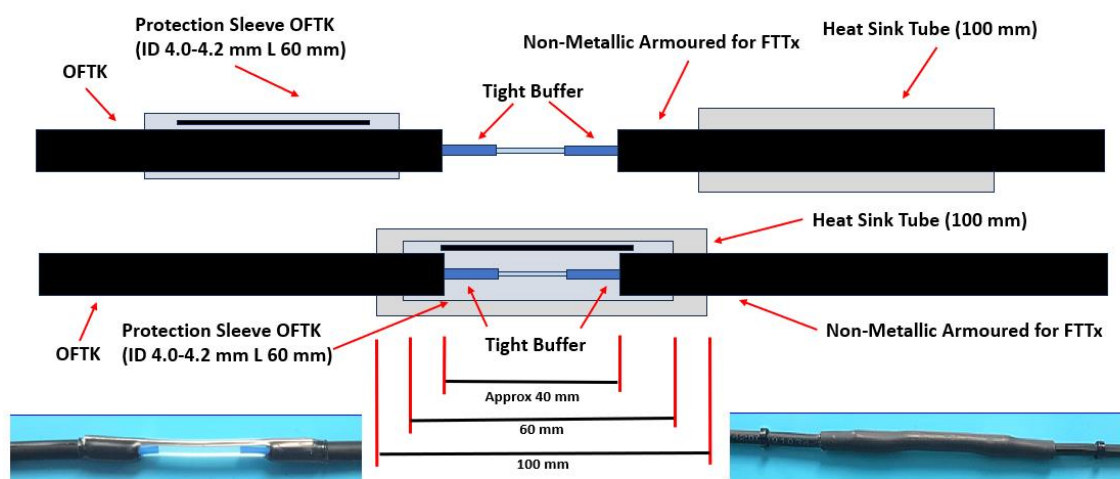
Field data indicates that the connection points between Armoured Round Type cables and OFTK equipment set cables do not support lateral torsional force. In some areas with strong currents or non-looped connection points, high loss issues (due to torsional force) were encountered. Field operators addressed the issue by reinforcing the connection points using a method of wrapping the bridge cable with a tensile force-receiving tube and applying adhesive at the fiber optic connection points, as shown in Illustration 25. This method significantly reduced the high loss problem.



**Figure 25.** Wrapping the bridge cable with a tensile force-receiving tube at the fiber optic connection points.

In line with the recommendations from the expert engineers of XDT factory, the solution for fiber optic connection points is to reinforce the wire with metal reinforcement to increase strength and the Protection Sleeve should cover only the Tight Buffer, not the cable insulation. The reason is that the OD between the cable

insulation and the Tight Buffer is very different. If the operator does not heat it properly, air pockets may occur from the EVA material melting and not fully holding the area.



**Figure 26.** Original standard connection point, Protection Sleeve end, insulated on both ends

Before studying the OFTK equipment set, the Armoured Round Type cable was connected with Pre-Heat Shrinkable Tube [5] with 2 lengths: 220 mm and 270 mm. The connection position of the optical fiber is the long open cable. Pre-Heat Shrinkable Tube is designed for OFC Flat Type cable. The structure of the optical fiber is embedded directly in the sheath. The optical fiber does not move. But the Armoured Round Type cable, the round structure of the Tight Buffer is separated from the insulation and can move slightly. When connected with Pre-Heat Shrinkable Tube, after a period of use, it occurs. “Pull-pull” force at the fiber optic connection point causes fiber optic damage.

OFTK kit solves this problem by changing to Protection Sleeve ID (Inner Diameter) 4.0-4.2 mm, length 60 mm (standard model ID 3.0 mm, length 45 mm). It can be inserted into the insulator of Armoured Round Type cable OD 3.5 mm, helping to shorten the cable opening distance. In the wrapping process, the Protection Sleeve will wrap the insulation into each side by about 10 mm, as shown in Figure 26.

The standard Protection Sleeve used with fiber optic networks has an ID of 3.0 mm and is 45 mm long. However, the version used with the KIT OFTK connection point has an ID of 4.0-4.2 mm and is 60 mm long because of the need for a short cable opening distance. There is a problem setting up the heating chamber of the Fusion Splice machine. Most Fusion Splice machines have a heating program for the standard Protection Sleeve with an ID of 3.0 mm and is 45 mm long. In the case of heating ID 4.0-4.2 mm and is 60 mm long, a special program must be set (some brands of Fusion Splice machines have this heating program). Some operators use a heating program that is not consistent with the size of the Protection Sleeve.



**Figure 27.** Protection Sleeve quality and heat setting affect the connection point.

From the OD between the cable insulation (3.3-3.5 mm) and Tight Buffer (0.9 mm) differ by 2.4-2.6 mm. In the case of heating the Protection Sleeve with improper heat and time or the quality of the Protection Sleeve that is not up to standard as shown in Figure 27, there may be air pockets from the EVA material melting and not fully holding the area. The connection point between the N-MA for FTTx cable and the OFTK device that does not loop the cable may be twisted. The fiber optics may pull and cause cracks in the glass, resulting in High Loss.

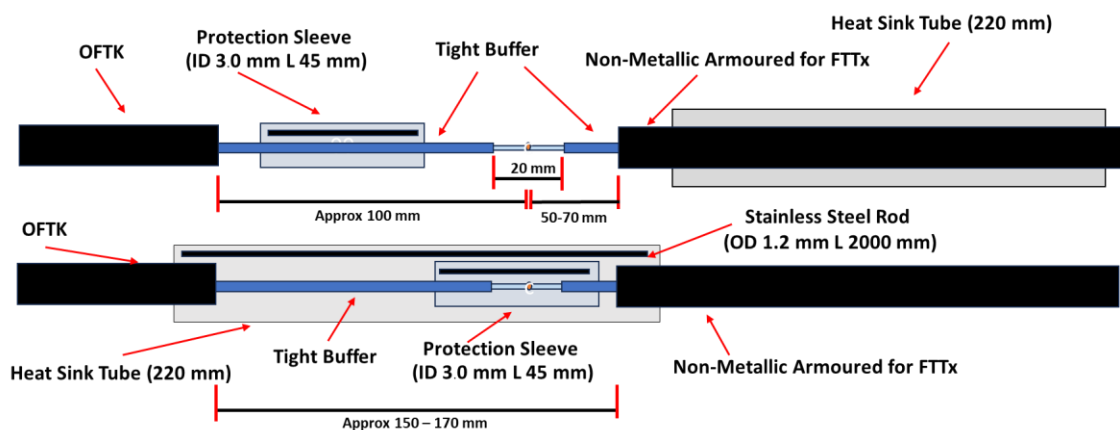
### 5.5.2 Solve the problem of fiber optic connection by metal wire reinforcement

Reduce the problem of twisting the fiber optic connection, reduce the problem of air cavities from the EVA material melting and not fully holding the area. Information from the operator brings the tensile bridge wire wrapped in a black heat shrink tube with adhesive (100 mm), which helps to increase the strength of the connection point very well. Consistent with the advice from the expert engineer from the XDT factory,

recommends a solution to the problem of fiber optic connection by splicing a metal wire (Stainless Steel Rod) OD 1.2 mm, length 200 mm in a black heat shrink tube with adhesive length 220 mm as shown in Figure 28. In the Protection Sleeve, only the Tight Buffer should be wrapped. The insulation of the wire should not be wrapped to reduce the problem of air cavities inside the Protection Sleeve in case of improper heating.

Try to modify using a standard Protection Sleeve with ID 3.0 mm and length 45 mm, supporting the standard heating program of the Fusion Splice machine. Because the ID Protection Sleeve 3.0 mm cannot be worn with the insulation of the N-MA for FTTx cable (OD 3.3-3.5 mm), when connecting the optical fiber with the Fusion Splice machine, one end of the cable must be opened longer than the other.

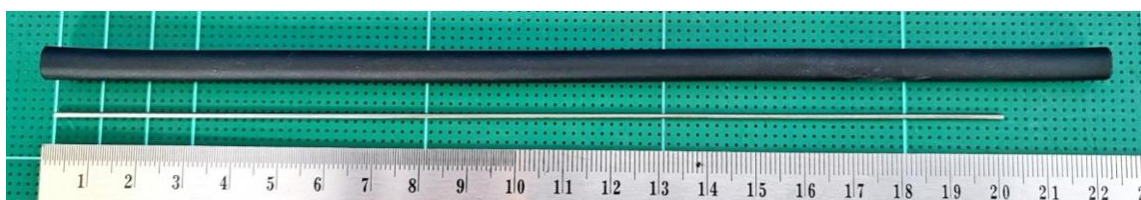
The procedure for connecting optical fibers starts with opening the OFTK cable insulation for a length of about 100 mm, the N-MA for FTTx cable end opens the insulation for a length of about 50-70 mm, then put the Protection Sleeve on the OFTK side and put on the black heat shrink tube with adhesive ID 7.0-9.5 mm, length 220 mm, connect the optical fibers with the Fusion Splice machine according to the normal procedure, then slide the Protection Sleeve to put on the connection point and heat it with the heating chamber of the Fusion Splice machine (Protection Sleeve covers only the connection point and Tight Buffer) as shown in Figure 28.



**Figure 28.** Guidelines for improving the N-MA cable connection point for FTTx with OFTK equipment.



(1)



(2)



(3)

**Figure 29.** Steps for installing metal splice wires in black heat shrink tube at the fiber optic connection point.

After connecting the optical fibers and covering the splice point and Tight Buffer with the Protection Sleeve, as shown in Figure 29.(1), place a metal tracer wire with an OD of 1.2 mm and a length of 200 mm at the center of the exposed insulation area aligned with the Tight Buffer. Slide the black heat-shrink tube with a length of 220 mm over the metal tracer wire, as shown in Figure 29. (2). Finally, apply heat from the center towards one end to ensure proper adhesion.

Air Duct: Finally, the connection point of the optical fiber between the N-MA for FTTx cable and the OFTK equipment set was established. The metal sheath was covered with a black heat-shrink tube with adhesive along its entire length, as shown in Figure 29. (3)

The optical fiber connection between the N-MA for FTTx cable and the OFTK equipment set was tested using a Protection Sleeve with an ID of 3.0 mm and a length of 45 mm. A metal wire with an OD of 1.2 mm and a length of 200 mm was used to cover the connection point and the entire metal wire with a black heat-shrink tube with an ID of 7.0-9.5 mm and a length of 220 mm. Ten samples were tested for tensile and torsional strength (by hand) in the laboratory. All samples met the specified criteria with

no signal loss. The optical signal loss varied between 0.01–0.12 dB under torsion, and the loss approached 0 dB when the torsion was released.

The process of covering with a black heat-shrink tube while ensuring the metal wire remains centered is quite challenging. In some samples, the metal wire protruded outside the heat-shrink tube.



**Figure 30.** Example of a metal wire protruding from the tube for IP-x7 standard testing.

If the connection is covered with a black heat-shrink tube with adhesive and the metal wire protrudes outside the tube, is there a possibility of external moisture leaking into the optical fiber connection point? In reality, the optical fiber connection point is covered with a Protection Sleeve, which has water-resistant properties. The inner layer is insulated with a Tight Buffer, and the outer layer is covered with UV Acrylic. Materials such as Nylon, PVC (Polyvinyl Chloride), PU (Polyurethane), or PE (Polyethylene) are used, which have water and moisture resistance properties (not suitable for prolonged submersion in water). The optical fiber connection point is suspended in the air and only exposed to rain or water droplets.

There is a concern that if the metal wire protrudes outside the black heat-shrink tube and the connection point is submerged in water, external moisture might leak inside. Samples were prepared as shown in Figure 30, with the metal wire protruding from both ends of the black heat-shrink tube in 3 samples, and 3 samples where the metal wire did not protrude. These were tested according to the IP-x7 standard, submerged in water at a depth of 1 foot (0.30 m) for 15 minutes (IEC-60529: water submersion  $\leq 1$  m for  $\leq 30$  minutes). Upon inspection, all samples with protruding metal wires showed water leakage, while all samples without protruding metal wires showed no water



The OFTK kit, according to specification OES-004-056-06, includes the following components ready for use in FTTx 1 Port service, as shown in Figure 31:

- 1) Fiber Patch Cord with a length of  $\geq 3$  m, Tight Buffer OD 0.9 mm optical fiber, with SC/APC Connectors (Ferrule Zirconia Ceramic) on both ends.
- 2) Protection Sleeve with ID 4.0-4.2 mm, length 60 mm, 3 pieces.
- 3) Heat shrink tube with ID 7.0-9.5 mm, length 100 mm, 3 pieces (some areas purchase 150 mm length).
- 4) Cable Tie,  $\geq 4$  pieces.

If the OFTK kit is used to connect N-MA for FTTx by applying nearby materials and maximizing the use of the already purchased OFTK kits, the following preliminary applications can be considered:

- 1) (OFTK Kit) Fiber Patch Cord with a length of  $\geq 3$  m.
- 2) (OFTK Kit) Protection Sleeve: If using ID 3.0 mm, length 45 mm, the insulation of the cable must be opened. If applying, choose Protection Sleeve with ID 4.0-4.2 mm, length 60 mm. (OFTK Kit) Cover the connection point with a Protection Sleeve, covering only the Tight Buffer. The insulation stripping length of the cable is close to the standard for connection using the OFTK kit.
- 1) **(OFTK Kit)** Black heat-shrink tube, 100 mm long (in some areas, 150 mm long).
- 2) **(Cable Scraps)** Metal wire. If using the tensile strength wire from the Fiber Drop Cable at the connection point, can it replace the metal wire with an OD of 1.2 mm?

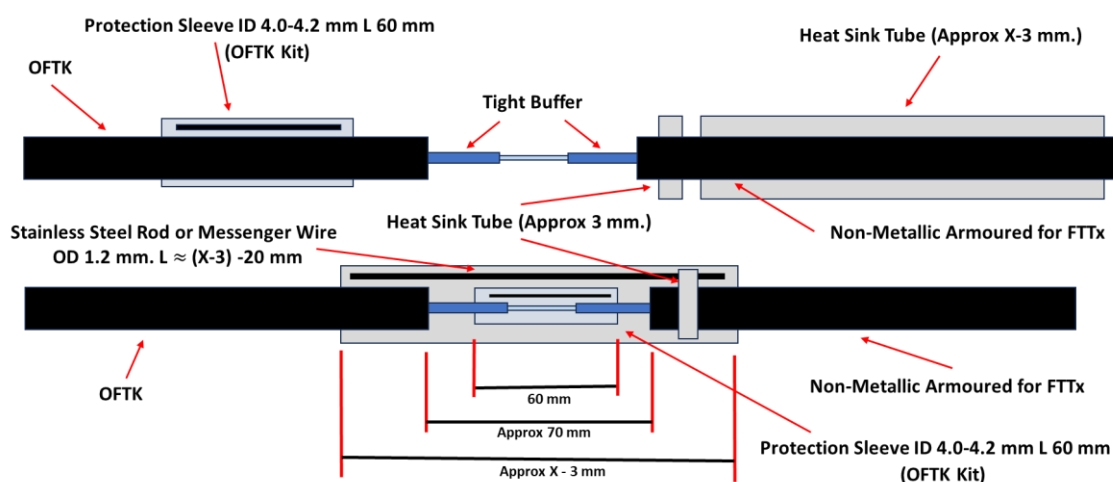
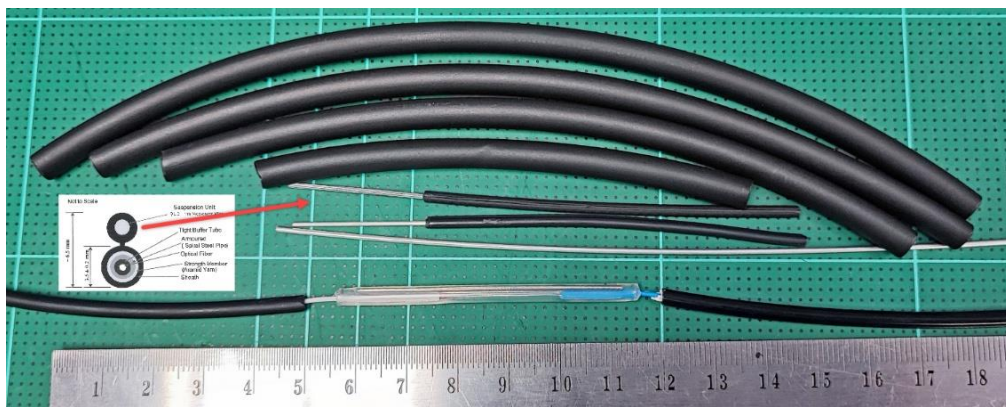


Figure 32. Application of the OFTK kit for short open connection points.

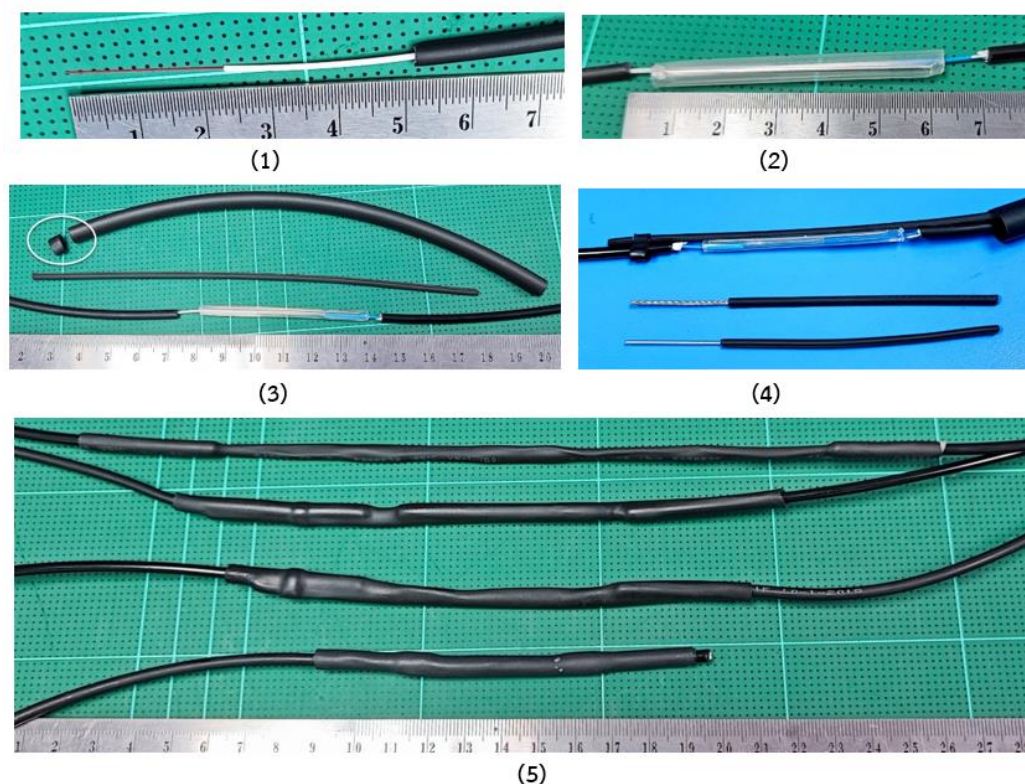
The OFTK kit purchased by NT Company was used to connect N-MA for FT1x with a short open cable length. The process was adjusted to only cover the Tight Buffer with the Protection Sleeve (without covering the black insulation). The fiber optic connection process allows the Protection Sleeve to slide over the insulation of N-MA for FT1x, making the Tight Buffer opening shorter (cable OD 3.5 mm, Protection Sleeve ID 4.0-4.2 mm).

The OFTK kit ready for use includes a 3 m long Fiber Patch Cord, a Protection Sleeve with an ID of 4.0-4.2 mm and 60 mm long, a black heat-shrink tube with an ID of 7.0-9.5 mm and 100 mm long (in some areas, 150 mm long), and Cable Ties. Additional items needed from the OFTK kit are the stainless-steel rod with an OD of 1.2 mm. Previously, the tensile strength wire from the "Fig 8" structure Fiber Drop Cable was used. There are two types of tensile strength wires: a single solid metal wire (1×1.2 mm) and a stranded wire (0.4×7) with an OD of 1.2 mm. Can these be used as replacements? Does the black insulation need to be stripped?



**Figure 33.** Application of the OFTK kit and available materials for short open connection points.

Prepare black heat-shrink tubes with an ID of 7.0-9.5 mm, lengths of 100, 150, 180, and 200 mm. Prepare metal wires from the tensile strength wire of the Fiber Drop Cable, both single and stranded, and stainless steel rods. Use the OFTK kit as shown in Figures 31 and 33 to test short open connection points and gather data on the application of the existing OFTK kit.



**Figure 34.** Application of the OFTK kit and available equipment for short open connection points.

Experiment with the application of OFTK equipment to connect the N-MA for FTTx cable in a short open cable distance, covered with a Protection Sleeve only Tight Buffer. The sample preparation steps and operation steps are detailed as follows:

### Test Sample Preparation

1. Prepare black heat-shrink tubes (Item 1) with lengths of 100, 150, 180, and 200 mm as shown in Figure 34. (3)
2. Prepare tensile strength wires from the Fiber Drop Cable, both single and stranded (with and without insulation stripping), and stainless-steel rods. Each wire should be  $X-20$  mm long ( $X$  = length of the black heat-shrink tube) as shown in Figure 34. (3)
3. Cut the black heat-shrink tube (Item 2) to approximately 3-5 mm long (for locking the wire) as shown in Figure 34. (3) This step is optional for experienced workers.
4. Prepare N-MA for FTTx cables and the OFTK kit cables.

### Connection Procedure

1. Slide both black heat-shrink tubes and the Protection Sleeve onto one end of the cable insulation.
2. Strip the insulation of the N-MA for FTTx and OFTK kit cables to approximately 50 mm, then strip the Tight Buffer of the fiber optic cable to about 25 mm as shown in Figure 34. (1)
3. Connect the fiber optic cables using a Fusion Splicer and cover only the Tight Buffer with the Protection Sleeve (without covering the cable insulation) as shown in Figure 34. (2)
4. Attach the wire to the connection point and slide the locking tube (Item 2) over the wire to lock it in place as shown in Figure 34.(4). This step is optional for experienced workers.
5. Slide the black heat-shrink tube over the connection point and the wire, then apply heat as shown in Figure 34. (4)

**Note:** If the locking tube (Item 2) is not used, be careful not to let the wire protrude from the black heat-shrink tube (Item 1)

Prepare test samples of black heat shrink tubing with adhesive for each length, divided into single wire reinforcement with insulation stripped 1 type, unstripped 1 type, twisted wire with insulation stripped 1 type, unstripped 1 type, stainless steel rod reinforcement 1 type, total of 5 types, 3 samples each. Black heat shrinks tubing with adhesive for each length, total of 15 samples, black heat shrinks tubing with adhesive 4 lengths, total of  $15 \times 4 = 60$  test samples.



**Figure 35.** Testing the twisting of the N-MA cable connection point for short-range open FTTx cable.

From the test sample of the N-MA for FTTx cable connection point with the OFTK equipment set, test 4 lengths of black heat shrink tube with adhesive (100, 150, 180, 200 mm), the tensile bridge wire of the Fiber Drop Cable, single wire and twisted, "stripped-not stripped", insulated and Stainless Steel Rod, total 60 samples, feed the light signal from the source with an Optical Light Source, measure the light signal at the destination with an Optical Power Meter, test sample. Then hold the end of the black heat shrink tube with adhesive and twist the wire in the opposite direction as shown in Figure 35.

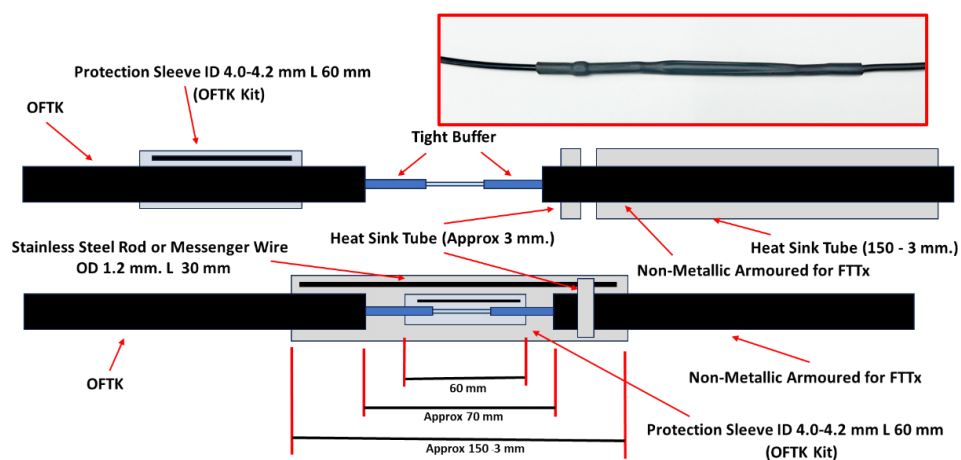
The test result of the connection point covered with black heat shrink tube with adhesive length 100 mm. Starting from the complicated sample preparation process, from the distance of the connection point not covered with insulation (Tight Buffer) 70 mm, the splice wire is 80 mm long (100 – 20 mm), the distance that the black heat shrink tube with adhesive covers the wire insulation only 15 mm on each side, the splice wire is placed on the wire insulation only 5 mm on each side, which determines that the splice wire is at the center is quite difficult. The optical test result passed only 4 samples. For the other 11 samples (out of 15 samples), the heat shrink tube on one side of the wire insulation peeled off, the connection point has a loss, the splice wire changes position according to the torque.

The results of the mechanical (hand pulling and twisting) and optical tests of the black heat shrink tube with adhesive on the connections of 150, 180 and 200 mm long were tested. One sample of 180 mm long black heat shrink tube with adhesive on a stainless-steel rod showed a swing loss value of 3–10 *dB* when the black heat shrink tube was analyzed for cavitation (improper heating of the tube). All other samples passed the tests.

In summary, the connection point of the fiber optic cable between the N-MA for FTTx cable and the OFTK equipment set, the connection point, the Protection Sleeve covers only the Tight Buffer (not the insulation of the cable), wraps all connection points with a 150 mm long black heat shrink tube with adhesive, applies the reinforcement wire, uses the tension bridge wire of the Fiber Drop Cable, single wire and twisted wire, stripped or not stripped insulation to replace the Stainless Steel Rod reinforcement wire, solving the initial problem, can use the original OFTK equipment set.

- 1) Fiber Optic Patch Cord OD 3.2 mm, length  $\geq 3$  m
- 2) Protection Sleeve ID 4.0-4.2 mm, length 60 mm
- 3) Heat Sink Tube ID 7.0-9.5 mm, length 150 mm (the 100 mm OFTK set needs to purchase an additional 150 mm)

The wire can be used with the cable bridge to withstand the tensile force of the Fiber Drop Cable, with a 130 mm (150-20 mm) unstripped wire, replacing the stainless steel rod.



**Figure 36.** The 150 mm long black heat shrink tube with adhesive is the most suitable connection point

In conclusion, the laboratory test results for connecting the OFTK equipment set showed that covering only the Tight Buffer with a 60 mm long Protection Sleeve ID 4.0-4.2 mm and using a 150 mm long black heat shrink tube (Heat Sink Tube) ID 7.0-9.5 mm with a stainless steel rod inside, or alternatively using a single-core hard wire (1× 1.2 mm) or a stranded wire (0.4 X 7) OD 1.2 mm from the Fiber Drop Cable's tensile bridge (without stripping the black insulation), is the most suitable and cost-effective method, as shown in Figure 36.

### 5.6 Field Testing

Based on the laboratory test results, connecting the N-MA for FTE<sub>x</sub> cable with the OFTK equipment set can utilize the Protection Sleeve and the OFTK equipment set's cable. However, the black test tube requires a length of 150 mm. For the OFTK equipment set, a length of 100 mm requires additional test tubes. The wire can be adapted to use the tension-bearing bridge wire of the Fiber Drop Cable, whether single or stranded wire, without needing to strip the insulation.



**Figure 36.** Demonstration of cable connection for field testing

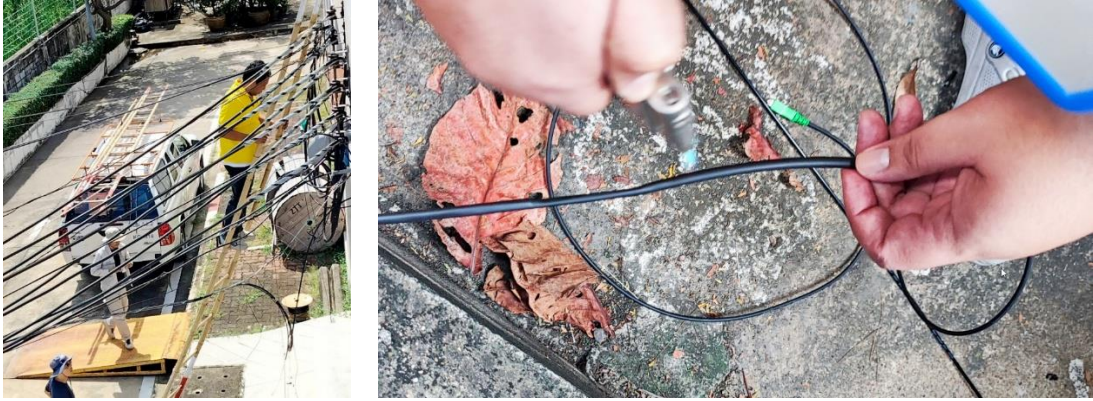
Inviting representatives from the Suan Luang area (Section 1.4) and Pathum Thani (Section 2.4) to exchange practical knowledge on fiber optic connection methods in the field. Introducing basic maintenance of the Fusion Splice machine, such as if the fiber optic connection point is not strong, it may break easily when removed from the Fusion Splice machine, requiring an Art Test or replacing the Electrode rod based on usage

lifespan. Teaching short and long fiber optic connections with stripped insulation, covering with a Protection Sleeve specifically for Tight Buffer, as shown in Figure 36. Providing black test tubes and stainless-steel rods for field testing in the Suan Luang (Section 1.4) and Pathum Thani (Section 2.4) areas.



**Figure 37.** Long insulation connection point in Samranrat area

Results of field experiments in Samranrat area, open insulation connection points (220 mm) for a period of approximately 2 months (December 2024), more than 10 points, there were 2 High Loss failures. The maintenance personnel connected new open insulation connections at both points, as shown in Figure 37. There were no recurring problems. Preliminary analysis: The open insulation connection method may have weaknesses in the Tight Buffer that opens the long insulation. There is a chance of damage from accumulated bending. During the period when the black heat shrink tube with adhesive is wrapped in the Tight Buffer, if the flamethrower on the shrink tube is not consistent or the air is not expelled well, air cavities may occur (area not collected for analysis)



**Figure 38.** Short Connection Point in Pathum Thani Area

Results of field experiments in Pathum Thani area, connection point of N-MA for FTTx cable with OFTK equipment set, 1 point, the old method of wrapping Protection Sleeve, covering Tight Buffer and insulating end of cable, wrapped with black heat shrink tube with adhesive 100 mm long, there was repeated failure (High Loss), repaired the connection point using the old method 3 times (repeated failure approximately 3 - 8 days). Finally, the 4<sup>th</sup> time, changed to connect using Protection Sleeve method, covering only Tight Buffer (not wrapping the insulation of the cable), using wire to cover all connection points with black heat shrink tube with adhesive 150 mm long, more than a month passed, no High Loss occurred.

Summarize the results of the experiment connecting the N-MA for FTTx cable with the OFTK equipment set in the field. The data from the operators can use the cable and Protection Sleeve of the OFTK equipment set immediately. The applied reinforcement wire can use the tension bridge wire of the single wire Fiber Drop Cable and twisted wire without having to peel off the insulation (tested at some points). The experimental period was approximately 2 months, more than 10 points, there was damage from 2 connection points. Compared to the original connection method (not reinforced with steel) which caused High Loss up to 60%, it is still within the acceptable criteria.

## 6. Summary

As per the regulations issued by the Metropolitan Electricity Authority (MEA) prohibiting the installation of communication cables with metal components on MEA poles, NT

Company has modified the Fiber Drop Cable for the ODN network in the FTTx service. The change involves replacing the Armoured Round Type cable, which has a metal tension-bearing structure, with the Non-Metallic Armoured (N-MA) cable for FTTx. This new cable is resistant to animal bites and complies with MEA regulations. NT has procured 1,600,000 meters of this cable at a budget of 13,000,000 THB and has designed a straight-line N-MA Clamp, which is an intellectual property of NT, to support the N-MA for FTTx cable.

The ODN network for FTTx service using N-MA for FTTx cable connects between the SDP/ODP cabinet and the outdoor splitter to the ONU device inside the building. Both ends of the N-MA for FTTx cable are connected to the OFTK equipment set. After deploying the N-MA for FTTx cable for some time, issues of high loss were reported on the FTTx ports where the N-MA for FTTx cable was installed.

The maintenance team used an OTDR to investigate the signal and identified high loss at the connection points between the N-MA for FTTx cable and the OFTK equipment at the outdoor SDP cabinet. After about two weeks, the problem recurred in 60% of the cases. The maintenance team temporarily replaced the N-MA for FTTx cable with the original Armoured Round Type cable and suspended the use of the N-MA for FTTx cable, notifying the procurement department of the issue. It was observed during the study that the connection points were in a loop, but the cable was still deployed. MEA regulations prohibit looping cables at the outdoor SDP cabinet where high loss occurs, but there were no high loss issues at the ONU connection points inside the building, which were also in a loop.

The Testing and Calibration Service Division (TCSD), which was recently restructured into the Calibration and Maintenance of Telecommunications Equipment Division (CMTED), invited relevant parties, including the procurement department, standards department, Bangkok Central 1 Sales and Customer Service Division (Bangkok 1.4), Pathum Thani 1 Sales and Customer Service Division (Pathum Thani 2.4), representatives from JIANGSU XDT INTERNATIONAL CO., LTD (XDT), the cable manufacturer from China, and Fiber Optic Communication Co., Ltd. (FOCOM), the distributor in Thailand, to discuss solutions.

The issue was identified at the connection points between the N-MA for FTTx cable and the OFTK equipment set, which could withstand tension but not torsion at the non-looped cable positions.

The team jointly studied the solution to the problem of splicing wires at the connection points, applying the OFTK equipment set to save costs. It is possible to use the tension bridge wire of the Fiber Drop Cable, single solid wire type (1x 1.2 mm) or twisted wire type (0.4 X 7) OD 1.2 mm to replace the splicing wire. Just provide additional black heat shrink tube with adhesive, ID 7.0-9.5 mm, length 150 mm. The results of laboratory and field tests passed the specified criteria.

Summary of the research study project to solve the problem of Non-Metallic Armored Optic Drop Wire for FTTx, which has a loss of light signal in the system after installation, can solve the problem according to the set goals. From now on, the relevant agencies should publish the results of this study for those involved to know in order to solve the problem and improve the specifications of the OFTK equipment set. Change the black heat shrink tube with adhesive ID 7.0-9.5 mm from the length of 100 mm to 150 mm and add a Stainless-Steel Rod OD 1.2 mm, length 130 mm.

Video clip of connecting N-MA cable for FTTx <https://www.youtube.com/watch?v=24ILTISJfGw>

## References

- [1] 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)”
- [2] National Telecom Public Company Limited, Fixed Line and Broadband Products Development Sector Specification No. OES-004-068-01 Issued; July 2023 “Non-Metallic Armoured Optical Fiber Cable Drop Cable (Non-Metallic Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2 F)”
- [3] Telecommunication Standardization Sector of ITU, Characteristics of a Bending-Loss Insensitive Single-Mode Optical Fiber and Cable, Series G (Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks) G 657 (11/2016)
- [4] National Telecom Public Company Limited, Fixed Line and Broadband Products Development Sector Specification No. GES-172-018-01 Issued; August 2023 “Drop Wire Clamp for Non-Metallic Armoured Optical Fiber Drop Cable (Drop Wire Clamp for Non-Metallic Armoured Round Type)”
- [5] Research project “Solving the problem of ODN network at the end of the FTTx system with OFTK (Optical Fiber Termination Kit)” TOT Innovation Institute (TOT), TOT Public Company Limited, November 2017