

# โครงการศึกษาวิจัย

## ออกแบบสาย Access OFC Nylon-6

### ป้องกันสัตว์กัดแทะที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ

ฝ่ายวิจัยและพัฒนา (วบ.2) บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)

#### 1. ความเป็นมาและสภาพปัญหา

ระเบียบการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ปี พ.ศ. 2563 กำหนดหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารกับเสาของ กฟน. ห้ามแขวนสายสื่อสารทุกชนิดที่มีโลหะ เช่น สายเคเบิล OFC (Optic Fiber Cable) ที่มีสายสะพานรับแรงดีเส้นลวดโลหะ (Messenger Wires) สายเคเบิล OFC ที่โครงสร้างภายในมีโลหะเป็นต้น กับเสาไฟฟ้าของ กฟน. กลุ่มสายเคเบิล OFC มีชนิดสายที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะเป็นให้เลือกใช้งาน แต่กลุ่มสายกระจายเส้นใยแก้วนำแสง (Access OFC) โครงข่าย ODN (Optical Distribution Network) ผู้ให้บริการโทรคมนาคมทุกรายในประเทศไทยสาย Access OFC ใช้เส้นลวดโลหะเป็นสายสะพานรับแรงดึง ในส่วนของ บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) ใช้สาย Access OFC ชนิด OFC Round Type ทั่วไปและป้องกันสัตว์กัดแทะ จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 1 F และ 2 F (Fiber) [1] [2] ใช้เส้นลวดโลหะเป็นสายสะพานรับแรงดึงเหมือนกับผู้ให้บริการโทรคมนาคมรายอื่น ๆ ในประเทศ

จากปัญหาสาย Access OFC ใช้เส้นลวดโลหะเป็นสายสะพานรับแรงดึง ขัดกับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารกับเสาไฟฟ้าของ กฟน. ฝ่ายวิจัยและพัฒนา (วบ.2) และส่วนงานที่เกี่ยวข้องได้รับมอบหมายให้หาแนวทางแก้ปัญหา ผลการศึกษาวิจัยที่ทีมงานพัฒนาออกแบบสาย Access OFC ภายใต้โครงการ “วิจัยพัฒนาออกแบบสาย Access OFC LSZH (Access OFC LSZH Cable Design without Metal Components)” [3] ใช้วัสดุ FRP (Fiber Reinforced Plastic) รับแรงดึงทดแทนเส้นลวดโลหะรองรับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารกับเสาไฟฟ้าของ กฟน.

หลังทดลองติดตั้งสายต้นแบบ Access OFC LSZH ในพื้นที่รับผิดชอบของ กฟน. ผ่านไประยะเวลาหนึ่ง เริ่มมีปัญหาสัตว์กัดแทะสายต้นแบบชำรุดเสียหาย เพื่อแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะสาย Access OFC LSZH วบ.2 ได้รับมอบหมายให้ศึกษาวิจัยหาแนวทางแก้ปัญหาข้างต้น

## 2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยนี้เพื่อศึกษาวิจัยคัดเลือกผลิตภัณฑ์สาย Access OFC หรือ ออกแบบสาย Access OFC ป้องกันสัตว์กัดแทะและไม่มีส่วนประกอบของโลหะ โดยเก็บข้อมูลปัญหา สัตว์กัดแทะสายต้นแบบ Access OFC LSZH ที่ทดลองติดตั้งใช้งานภาคสนาม เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นมาศึกษาวิจัยหาแนวทางแก้ปัญหาพัฒนาออกแบบสาย Access OFC ที่สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะ สายไม่มีส่วนประกอบของโลหะรองรับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารกับเสาไฟฟ้าของ กฟน. สาย Access OFC ที่ออกแบบใหม่นี้ต้องติดตั้งใช้งานสะดวก ไม่เป็นอุปสรรคในการปฏิบัติงานเดิม ต้นทุนต่ำ และไม่ละเมิดทรัพย์สินทางปัญญา

## 3. ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย

- 1) สืบค้นและเก็บข้อมูลการใช้งานสายต้นแบบ Access OFC LSZH ที่ทดลองติดตั้งใช้งานภาคสนามกับเสาไฟฟ้าของ กฟน.
- 2) ออกแบบสาย Access OFC ป้องกันสัตว์กัดแทะ ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ รองรับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารกับเสาไฟฟ้าของ กฟน.
- 3) ทดสอบสายต้นแบบ Access OFC ที่ออกแบบในห้องปฏิบัติการ
- 4) ทดสอบสายต้นแบบ Access OFC ที่ออกแบบภาคสนาม
- 5) สรุปผลจัดทำรายงานวิจัยนำเสนอผู้บริหารเพื่อพิจารณากำหนดเป็นมาตรฐาน ของ บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)

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

- 1) มีผลศึกษาวิจัยออกแบบสาย Access OFC ป้องกันสัตว์กัดแทะ ไม่มีส่วนประกอบของโลหะรองรับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารของ กฟน.
- 2) สร้างภาพลักษณ์องค์กรว่ามีหน่วยงานนวัตกรรมที่พร้อมออกแบบผลิตภัณฑ์รองรับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี และ/หรือ หลักเกณฑ์มาตรฐานที่หน่วยงานราชการกำหนด

## 5. ปัญหาภาคสนามและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กฟน. ประกาศหลักเกณฑ์ห้ามติดตั้งสายสื่อสารที่มีโครงสร้างโลหะกับเสาไฟฟ้าของ กฟน. เริ่มบังคับใช้วันที่ 13 มกราคม 2563 ทั้งนี้สายสื่อสารโครงสร้างโลหะที่ติดตั้งก่อนหน้าประกาศได้รับการยกเว้น เพื่อให้ผู้ให้บริการสื่อสารที่เช่าเสาพาดสายของ กฟน. มีเวลาปรับตัว ช่วงแรก กฟน. ผ่อนผันให้กลุ่มสาย Access OFC ที่มีเส้นลวดโลหะรับแรงดึงสามารถติดตั้งใช้งานได้ระยะเวลาหนึ่ง

สายสื่อสารชนิดเส้นใยแก้วนำแสงแบ่งได้ 2 กลุ่ม ๆ กลุ่มแรกสายเคเบิล OFC หลักชนิดแขวนอากาศและติดตั้งใต้ดิน (ฝังตรงหรือร้อยท่อ) ใช้กับโครงข่ายสื่อสารหลัก (Backbone/Core Network) และโครงข่ายรอง (ODN) มีให้เลือกใช้ตามหลากหลาย เช่น โครงสร้าง “มี-ไม่มี” โลหะ ชนิดแขวนอากาศหรือติดตั้งใต้ดิน ใช้งานในพื้นที่ปกติทั่วไปหรือพื้นที่ที่มีปัญหาสัตว์กัดแทะ

กลุ่มสองสายกระจาย OFC (Access OFC) ใช้กับโครงข่ายสื่อสารที่เป็นโครงข่ายการเข้าถึง (Access Network) ไปยังผู้ใช้ปลายทางในอาคารที่พัก อาคารพาณิชย์ในปัจจุบันคือระบบ FTTH (Fiber to The Home) สาย Access OFC โครงสร้างมีทั้งชนิดมีและไม่มีโลหะ สาย Access OFC ชนิดไม่มีโลหะนิยมร้อยท่อติดตั้งภายในอาคาร กรณีติดตั้งภายนอกอาคารต้องดึงสายรับแรงดึงหลักก่อนใช้ห้วงคล้องสาย Access OFC ยึดกับสายรับแรงดึงหลักทุก ๆ 2 - 5 เมตร

ประเทศไทยการจับยึดสาย Access OFC ระหว่างเสาไฟฟ้าภายนอกอาคาร มีข้อจำกัดในการดึงสายรับแรงดึงหลักเพื่อติดตั้งห้วงคล้อง เนื่องจากบนเสาไฟฟ้าแต่ละต้นมีผู้ให้บริการสื่อสารหลายราย การจับยึดสาย Access OFC ต้องจับยึดตำแหน่งเสาไฟฟ้า ดังนั้นผู้ให้บริการสื่อสารในประเทศไทยจึงเลือกใช้สาย Access OFC สายสะพานรับแรงดึงโลหะเพื่อรับแรงดึงระหว่างเสาไฟฟ้า

### 5.1 สายเคเบิล OFC แขวนอากาศ

สายเคเบิล OFC (Optical Fiber Cable) แขวนอากาศสามารถแบ่งโครงสร้างออกได้หลากหลาย ถ้ามองโครงสร้างในแง่การรับแรงดึงและโครงสร้างที่มีและไม่มีโลหะตัวนำไฟฟ้า

แยกโครงสร้างตามการรับแรงดึงสามารถแบ่งได้ 2 โครงสร้าง ดังนี้

1) โครงสร้างสายเคเบิล OFC ไม่มีโลหะรับแรงดึงภายในด้วยตัวเองด้วยวัสดุพลาสติกเสริมแรงด้วยไฟเบอร์กลาส FRP (Fiber Reinforced Plastic) ตำแหน่งแกนกลาง SCM (Central Strength Member) สามารถใช้ Galvanized Steel Wire รับแรงดึงแทน FRP ได้ ขึ้นกับผู้ใช้งาน

2) โครงสร้างรับแรงดึงด้วยสายสะพานโลหะ Steel Wire ชนิด AP-8 (Alpeth Sheathed Cable) โครงสร้างคล้ายเลข “8” ด้านบนเป็นสายสะพานโลหะด้านล่างเป็นสายสื่อสาร โครงสร้างนี้ปัจจุบันทั้ง กฟน. และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ห้ามติดตั้งบนเสาไฟฟ้า ด้วยเหตุผลสายสะพานโลหะรับแรงดึงสูงเมื่อเกิดเหตุรถเขี่ยชนสายสื่อสารอาจจะดึงเสาไฟฟ้าล้มได้

แยกโครงสร้างตามส่วนประกอบ “มี-ไม่มี” โลหะตัวนำไฟฟ้าสามารถแบ่งเป็น

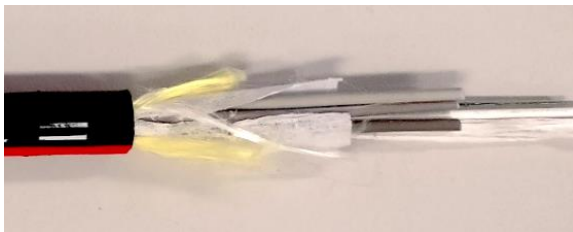
1) โครงสร้างสายเคเบิล OFC ที่ไม่มีโลหะตัวนำไฟฟ้า

- สายชนิด ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable)
- สายชนิด ADSS FRP OFC (ADSS FRP Armoured Optical Fiber Cable) โครงสร้างท่อหุ้มด้วยแผ่น FRP โดยรอบป้องกันสัตว์กัดแทะ

2) โครงสร้างสายเคเบิล OFC ที่มีโลหะตัวนำไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบ (โครงสร้างนี้ กพน. และ กพภ. ไม่อนุญาตให้ติดตั้ง)

- สายชนิด ARSS OFC (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable) โครงสร้างห่อหุ้มด้วยแผ่นเหล็กบางโดยรอบป้องกันสัตว์กัดแทะ
- สายชนิด FRSS OFC (Fire Resistant Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) โครงสร้างห่อหุ้มด้วยแผ่นเหล็กบางโดยรอบป้องกันสัตว์กัดแทะและมีวัสดุทนไฟใช้กับโครงข่ายที่มีปัญหาไฟไหม้สายสื่อสาร

การคัดเลือกชนิดสายเคเบิล OFC ขึ้นกับการออกแบบโครงข่าย หลักเกณฑ์การอนุญาตติดตั้งสายสื่อสารของ กพน. กพภ. โครงข่ายสื่อสารที่เชื่อมต่อระหว่างเมืองเน้นความแข็งแรง ความเสถียรของโครงข่าย สายเคเบิล OFC จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงในประเทศ 48 *F* ถึง 312 *F* ขึ้นกับการใช้งาน บางเส้นทางเน้นคุณสมบัติป้องกันสายกัดแทะ ปัญหาไฟไหม้ข่ายสายเพิ่มเติม



ADSS OFC



ARSS OFC



ADSS FRP OFC



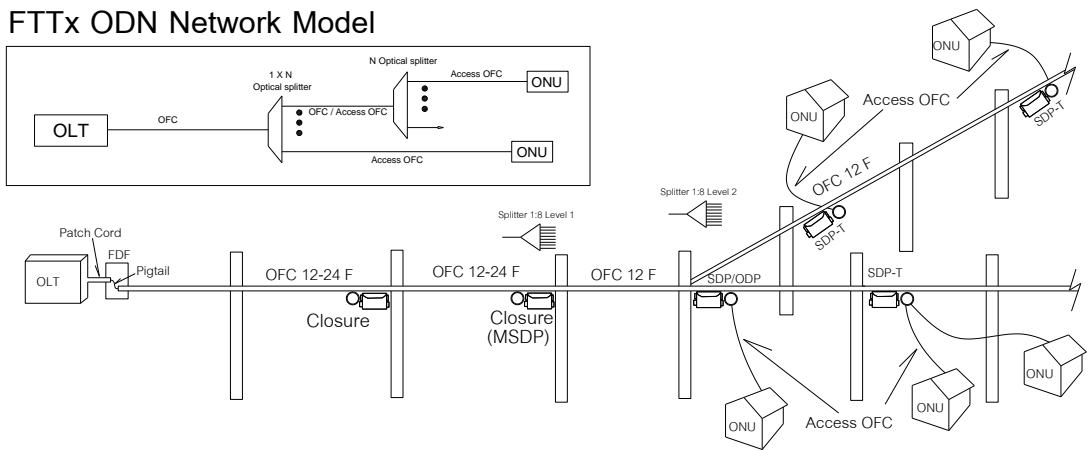
FRSS OFC

ภาพประกอบที่ 1. ชนิดสายเคเบิล OFC แขนงอากาศ

โครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงแบ่งเป็นโครงข่ายหลักที่เชื่อมต่อระหว่างเมืองหรือระหว่างชุมสายหลัก และโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงรองหรือโครงข่าย ODN รองรับบริการ FTTx ที่ใช้งานภายในชุมชน พิจารณาจากการกระจายสัญญาณจาก OLT (Optical Line Terminal) ไปยัง ONU (Optical Network Unit) สายเคเบิล OFC โครงข่ายหลักและโครงข่ายรองมีโครงสร้างเหมือนกัน ต่างกันเพียงโครงข่ายหลักจำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 48 *F* ถึง 312 *F* โครงข่ายรอง 12 *F* ถึง 24 *F*

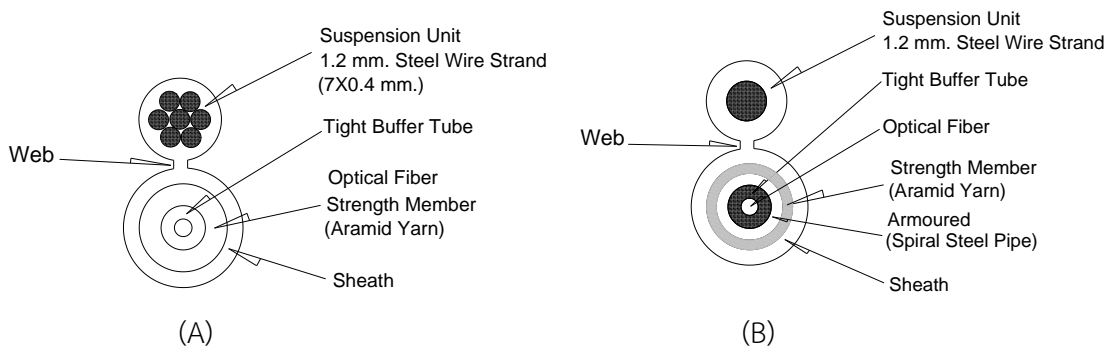
5.2 สาย Access OFC

โครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงรอง (โครงข่าย ODN) ของบริการ FTTx เริ่มจากอุปกรณ์ OLT เชื่อมต่อไปอุปกรณ์ ONU/ONT ด้วยสายเคเบิล OFC ผ่านอุปกรณ์ Optic Splitter ที่ติดตั้งภายในตู้ SDP/ODP (Splitter Distribution Point) หรือภายในตู้ OFCCC (Outdoor Fiber Cross Connecting Cabinet) เพื่อกระจายสัญญาณผ่านสาย Access OFC ไปยังอุปกรณ์ ONU/ONT ตำแหน่งปลายทางที่ติดตั้งภายในอาคารตามภาพประกอบที่ 2. ทั้งนี้สาย Access OFC ชนิด OFC Round Type ที่มีเส้นลวดโลหะรับแรงดึงตามมาตรฐานของ บมจ.ทีโอที (เดิม) ไม่สามารถติดตั้งกับเสาไฟฟ้าของ กฟน. ได้



ภาพประกอบที่ 2. โครงข่าย ODN บริการ FTTx

สาย Access OFC ชนิด OFC Round Type มี 2 รูปแบบคือแบบปกติทั่วไปและแบบป้องกันสัตว์กัดแทะ โครงสร้างภายในของสาย OFC Round Type ทั้งสองรูปแบบเหมือนกัน แบ่งโครงสร้างออกเป็นเส้นใยแก้วนำแสง 1F ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (OD: Outside Diameter) เส้นใยแก้วนำแสงหลังห่อหุ้มด้วย Tight-Buffered Fiber OD 900  $\mu\text{m}$  ตามภาพประกอบที่ 3. (A)



ภาพประกอบที่ 3. สาย Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1F (A) ชนิดป้องกันสัตว์กัดแทะ OFC Armoured Round Type 1F (B)

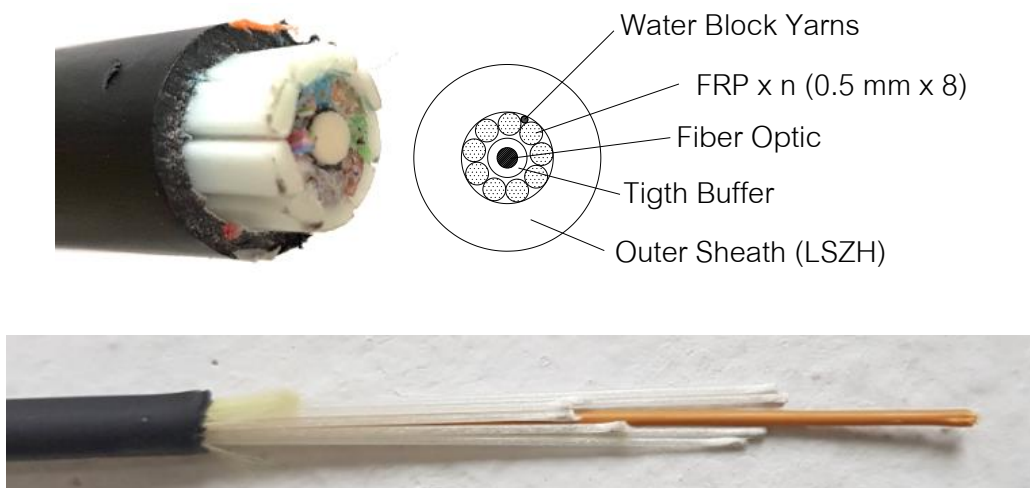
สาย OFC Round Type แบบป้องกันสัตว์กัดแทะโครงสร้างเพิ่มโลหะห่อหุ้ม (Spiral Steel Pipe) ผลิตจาก Stainless Steel เกรด SUS-304 สายสะพานรับแรงดึง (Suspension) เปลี่ยนจากเส้นลวดตีเกลียว  $7 \times 0.4 \text{ mm}$  เป็นเส้นลวดเดี่ยว  $1 \times 1.2 \text{ mm}$  ฉนวนห่อหุ้ม (Sheath) ใช้วัสดุ LSZH (Low Smoke Zero Halogen) ตามภาพประกอบที่ 3. (B) ภายใต้ชื่อ “Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type))”

สาย OFC Round Type ที่ บมจ.ทีโอที(เดิม) ใช้งานทั้ง 2 รูปแบบ โครงสร้างมีเส้นลวดโลหะรับแรงดึงขัดกับหลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารของ กพท. ปี พ.ศ. 2563 วบ.2 ได้รับมอบหมายให้วิจัยพัฒนาออกแบบสาย Access OFC ที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะระยะติดตั้ง  $\geq 60$  เมตร ป้องกันสัตว์กัดแทะได้ ติดตั้งใช้งานสะดวก ต้นทุนต่ำและไม่ละเมิดทรัพย์สินทางปัญญา

### 5.2.1 ออกแบบสาย Access OFC

ทีมงานวิจัยออกแบบสาย Access OFC โดยศึกษารูปแบบสายเคเบิล “ADSS FRP Armoured Optical Fiber Cable (ADSS FRP OFC)” [4] โครงสร้างไม่มีโลหะ ใช้เกราะ FRP ป้องกันสัตว์กัดแทะ ด้วยแนวคิดย่อส่วนสาย ADSS FRP OFC ให้มีขนาดเล็กลง ภายในบรรจุเส้นใยแก้วนำแสง Tight Buffer Fiber OD  $900 \mu\text{m}$  ตามมาตรฐานที่ใช้ในงานในสาย OFC Round Type

วัสดุที่นำมาห่อหุ้มสายเคเบิล OFC นิยมใช้วัสดุ HDPE (High Density Polyethylene) ทนความร้อน 80 ถึง  $100^{\circ}\text{C}$  ทนสารเคมี กรณีใช้งานกลางแจ้งนิยมผสมผงคาร์บอนเพื่อป้องกันรังสี UV ซึ่งผงคาร์บอนที่ผสมลงไปเป็นเชื้อไฟ สายต้นแบบ Access OFC คุณสมบัติมาตรฐานต้องไม่ลามไฟทีมงานจึงเลือกใช้วัสดุ LSZH แทน HDPE



ภาพประกอบที่ 4. โครงสร้าง ADSS FRP OFC และต้นแบบ Access OFC LSZH

สายต้นแบบ Access OFC LSZH ที่ย่เป็นส่วนจากสาย ADSS FRP OFC แกนในสุดวางเส้นใยแก้วนำแสง 1F ชนิด Tight Buffer Fiber 900  $\mu\text{m}$  ตามมาตรฐาน ITU-G657A/A1 พันรอบด้วย Water Block Yarns ก่อวางแกน FRP ทรงกลม OD 0.5  $\text{mm}$  จำนวน 8 แกน ล้อมรอบ Tight Buffer Fiber เพื่อป้องกันสัตว์กัดแทะ ฉนวนห่อหุ้มชั้นนอกสุด (Outer Sheath) ใช้วัสดุ LSZH (Low Smoke Zero Halogen) ป้องกันการลามไฟ OD สายรวม 3.5  $\text{mm}$  รูปทรงภายนอกกลมรับน้ำหนักและแรงดึงด้วยตัวเองระยะติดตั้งใช้งาน  $\geq 60$  เมตร สิ่งผลิตสายต้นแบบ Access OFC LSZH ยาว 1,000 เมตร เพื่อทดสอบเบื้องต้น ณ โรงงานผู้ผลิตและห้องปฏิบัติการของ วบ.2 ผลการทดสอบผ่านมาตรฐานทุกหัวข้อทดสอบตามภาพประกอบที่ 4.



ภาพประกอบที่ 5. สัตว์กัดแทะสายต้นแบบ Access OFC LSZH

สิ่งผลิตสายต้นแบบ Access OFC LSZH จำนวน 90,000 เมตร (ม้วนละ 1,000 เมตร) เพื่อทดลองภาคสนาม หลังติดตั้งใช้งานไปประมาณเดือนเศษได้รับแจ้งจากพนักงานในพื้นที่ที่ทดลองภาคสนามแจ้งว่าสายต้นแบบ Access OFC LSZH ไม่สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ [3] ตามภาพประกอบที่ 5. แนวทางแก้ไขปัญหาสัตว์กัดแทะสายต้นแบบ Access OFC LSZH ต้องออกแบบสาย Access OFC ที่สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้

### 5.2.2 ออกแบบสาย Access OFC ป้องกันสัตว์กัดแทะ

ผลการทดลองภาคสนามสายต้นแบบ Access OFC LSZH ไม่สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ วิเคราะห์ตัวอย่างที่เก็บจากสนาม ตั้งสมมุติฐานอาจเนื่องมาจากแกน FRP ที่พันรอบ Tight Buffer Fiber มีขนาดเล็ก (OD 0.5  $\text{mm}$ ) เมื่อสัตว์กัดแทะฉนวนห่อหุ้ม LSZH เปิดออก ตำแหน่งที่ฉนวนห่อหุ้ม LSZH มีแผลเล็ก ๆ แกน FRP เกาะตัวไม่แยกตัวออกจากกันสามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ แต่ตำแหน่งใดที่ฉนวนห่อหุ้ม LSZH มีแผลเปิดกว้างแกน FRP แยกตัวออกจากกลุ่มมีช่องว่างสัตว์สามารถกัดแทะเส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหาย โครงการวิจัยนี้ศึกษาวิจัยออกแบบสาย Access OFC หัววัสดุห่อหุ้มป้องกันสัตว์กัดแทะ ป้องกันไฟลาม สนับสนุนองค์กร

### 5.2.2.1 วัสดุห่อหุ้มป้องกันการลามไฟ

วัสดุที่จะนำมาห่อหุ้มสาย Access OFC เพื่อป้องกันสัตว์กัดแทะ วัสดุนั้นต้องป้องกันการลามไฟ (Fire Retardant) ด้วยเหตุผลสาย Access OFC การติดตั้งจะลากโยงจากภายนอกอาคารเข้าไปภายในอาคาร กรณีเกิดไฟไหม้สายสื่อสารภายนอกอาคารไฟต้องไม่ลุกลามผ่านสายสื่อสารจากภายนอกเข้ามาภายในอาคาร วัสดุป้องกันการลามไฟที่นำมาห่อหุ้มสายเคเบิลพื้นฐานทั้งสายไฟฟ้าและสายสื่อสารแบ่งออกได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

1) **ทนความร้อน** (Heat Resistant) คุณสมบัติวัสดุใช้งานตำแหน่งที่อุณหภูมิสูงแต่ชำรุดเสียหายเมื่อเกิดเหตุไฟไหม้ เช่น สายไฟฟ้าในอาคาร บ้านพักอาศัย เป็นต้น สายเคเบิลพื้นฐานทั่วไปรองรับอุณหภูมิการใช้งาน  $70^{\circ}\text{C}$  ถึง  $120^{\circ}\text{C}$  สายเคเบิลทนความร้อนกำหนดใช้งานอุณหภูมิ  $> 125^{\circ}\text{C}$  ตัวอย่างเช่น วัสดุ PTFE ที่นำมาผลิตฉนวนห่อหุ้มสามารถใช้งานต่อเนื่องถึงอุณหภูมิ  $260^{\circ}\text{C}$  แต่ไม่เกิน  $400^{\circ}\text{C}$  ทนความร้อนระยะเวลาสั้น ๆ

2) **ทนไฟ** (Fire Resistant) คุณสมบัติวัสดุใช้งานต่อเนื่องได้ตามปกติในสภาวะที่เกิดไฟไหม้ (ตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนด) ภายในสภาวะที่เกิดเพลิงไหม้ฉนวนห่อหุ้มจะไม่ลุกลาม ตัวอย่างเช่น สายเคเบิล FRSS OFC [5] สายควบคุมระบบดับเพลิง เป็นต้น

3) **หน่วงไฟ** (Flame Retardant) คุณสมบัติวัสดุเมื่อเกิดเหตุไฟฟ้ายุบัติขึ้น วัสดุหน่วงไฟได้ ฉนวนห่อหุ้มไหม้ไฟได้แต่ไฟต้องไม่ลุกลาม

### LSZH (Low Smoke Zero Halogen)

LSZH (Low Smoke Zero Halogen) มีคุณสมบัติเมื่อเกิดไฟไหม้หรือความร้อนสูง ๆ วัสดุ LSZH ไหม้ไฟได้แต่ไม่ลุกลาม ระหว่างเผาไหม้ต้องไม่เกิดก๊าซพิษ โครงสร้างวัสดุ LSZH ประกอบด้วยเทอร์โมพลาสติกหรือสารประกอบเทอร์โมเซตที่ไม่เกิดควัน ไหม้ไฟได้แต่ต้องดับเองโดยไม่ลุกลามตามมาตรฐานความปลอดภัยของ CENELEC EN50167 50168 50169 ระบุสายเคเบิลไม่ว่าจะเป็นสายไฟฟ้าแรงสูง สายสื่อสาร สายสัญญาณ ที่ติดตั้งบริเวณที่ปิดหรืออากาศถ่ายเทไม่สะดวก เช่น อาคารที่พักอาศัย อุโมงค์ สายระบบราง สายเคเบิลในยานพาหนะต่าง ๆ วัสดุ LSZH ได้มาตรฐานความปลอดภัย

### POLYAMIDE / NYLON

พอลิเอไมด์ PA (Polyamide) มีชื่อทางการค้าว่าไนลอน (Nylon) ช่วงแรกเรียกเส้นใย Nylon นี้ว่าเส้นใย 66 (Fiber-66) เลข 66 มาจากจำนวนคาร์บอนจากสารตั้งต้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเส้นใย Nylon ที่นอกเหนือจาก Nylon-66 ขึ้นหลากหลายชนิด เช่น Nylon-6 ที่สังเคราะห์จาก Caprolactam หรือ Nylon-10, Nylon-11 และ Nylon-12 เป็นต้น

คุณสมบัติที่สำคัญของ PA หรือ Nylon มีลักษณะใสเมื่ออยู่ในสภาพฟิล์ม เมื่อนำมาขึ้นรูปจะทึบแสง สีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ทนความร้อนได้สูง มีจุดหลอมเหลว  $180^{\circ}\text{C}$  ถึง

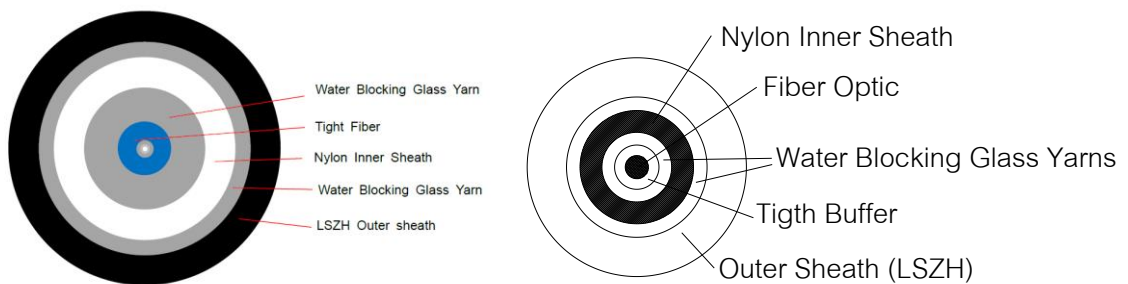


200 °C อุณหภูมิในการใช้งานสูงสุด 120 °C แข็งแรงขึ้นรูปง่าย ดูดซับความชื้นน้อย ป้องกันการซึมผ่านของของเหลว ไขมัน ออกซิเจนและกลิ่นได้ดี ทนทานต่อการกัดกร่อน เสียดสี ทนต่อการบิด พับงอ ยืดหยุ่นไม่เสียรูปทรงง่าย คุณสมบัติที่สำคัญคือเป็นฉนวนไฟฟ้า ไม่ติดและไม่ลามไฟ ใช้งานกลางแจ้ง สามารถเติมสารดูดซับรังสี UV (UV Stabilizer) สารเพิ่มความคงตัวในเรซินไพลอนเพิ่มความทนทานต่อสภาพอากาศ ผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะมีสีดำ

### 5.2.2.2 สายต้นแบบ Access OFC LSZH/Nylon-12

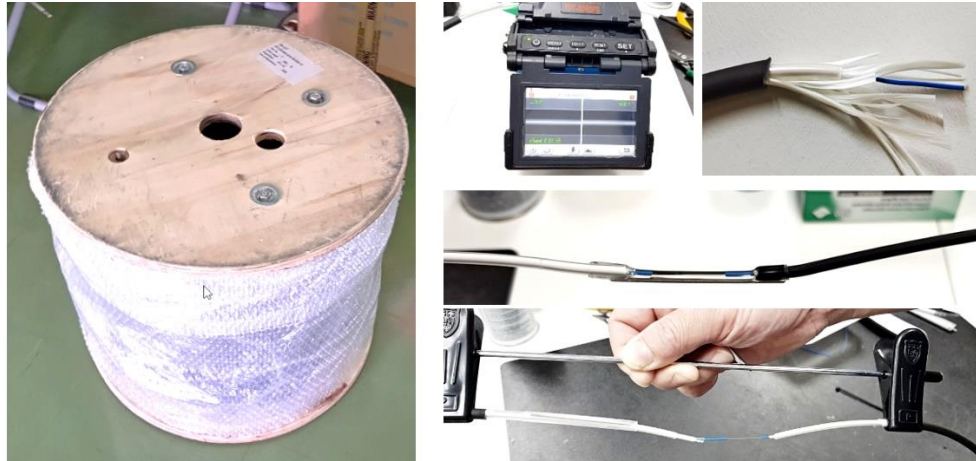
สายต้นแบบ Access OFC LSZH ผลการทดลองภาคสนามไม่สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ เมื่อสัตว์กัดแทะฉนวนห่อหุ้ม LSZH แผลเปิดกว้างแกน FRP แยกตัวออกจากกลุ่มมีช่องว่างสัตว์สามารถกัดแทะเข้าถึงเส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหาย

พลาสติกอุตสาหกรรม PA ชื่อทางการค้า Nylon เกรด Nylon-12 เป็นทางเลือกหนึ่งในการป้องกันสัตว์กัดแทะ มีการนำ Nylon-12 มาห่อหุ้ม “สายไฟฟ้า-สายสื่อสาร” ที่ใช้ในอาคารเพื่อป้องกันสัตว์กัดแทะ จากคุณสมบัติ Nylon-12 เนื้อแข็ง มีไขมัน ขึ้นรูปง่าย ยืดหยุ่นไม่เสียรูปทรงง่าย ไม่ติดและไม่ลามไฟ จึงมีแนวคิดเปลี่ยนแกน FRP ทรงกลม 8 เส้น เป็น Nylon-12 หล่อเป็นฉนวนขึ้นเดียวแทน จากนั้นห่อหุ้มด้วยวัสดุ LSZH โครงสร้างเป็นฉนวนหุ้ม 2 ชั้น ตามภาพประกอบที่ 6.



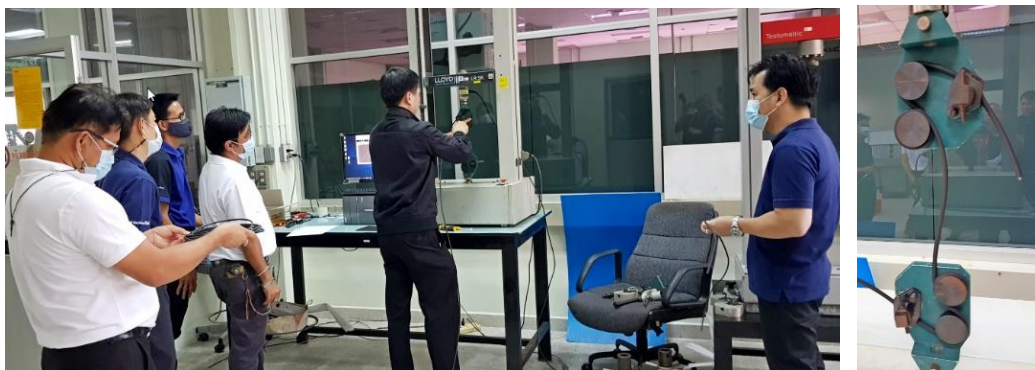
ภาพประกอบที่ 6. โครงสร้างสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH

สายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH โครงสร้างมีแกนในเหมือนสายต้นแบบ Access OFC LSZH เปลี่ยนชั้นป้องกันสัตว์กัดแทะจากแกน FRP ทรงกลม 8 เส้น เป็น Nylon-12 หล่อคลุมแกนในทั้งหมด จากข้อจำกัดของ Nylon-12 ในการผลิตไม่สามารถหล่อขึ้นรูปบางมากได้ อ้างอิงอุปกรณ์ OFTK สาย Pigtail Optical Fiber รองรับสาย OD 3.50 mm จึงกำหนดความหนา (Thickness) Nylon-12 =  $0.6 \pm 0.05$  mm ขนาด OD  $3.5 \pm 0.1$  mm เพื่อรองรับอุปกรณ์ OFTK ฉนวนชั้นนอกสุดห่อหุ้มด้วยวัสดุ LSZH เหมือนเดิม Thickness  $\geq 0.8$  mm ขนาด OD รวม  $5.6 \pm 0.2$  mm



ภาพประกอบที่ 7. เชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH กับอุปกรณ์ OFTK

สั่งผลิตสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH จำนวน 1,000 เมตร ผลการทดสอบ ณ โรงงานผู้ผลิตและห้องปฏิบัติการ วบ.2 ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ทดลองเชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH กับสาย Pigtail Optical Fiber ของอุปกรณ์ OFTK [5] ด้วยเครื่อง Fiber Splicing Machine ใช้ Holder จับสายขนาด 3.5 mm ปอกฉนวน LSZH ชั้นนอกสุดออกเหลือ ชั้น Nylon-12 ที่มีขนาด OD 3.5 mm ผลการเชื่อมต่อค่า Loss ได้ตามมาตรฐาน ( $< 0.05$  dB.)



ภาพประกอบที่ 8. ทดสอบการรับแรงดึงสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH

ตารางที่ 1. ผลการทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH

Sample	สายต้นแบบ Nylon-12/LSZH (Newton)
1	2,671.00
2	2,724.00
3	2,579.00
4	2,246.00
5	2,747.00
Avg.	2,593.40

ผลการทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH ตามตารางที่ 1. ค่าเฉลี่ย  $2,593 N$  สูงกว่ามาตรฐานการใช้งานสาย OFC Round Type ที่  $\geq 800 N$  ผลทดสอบการลามไฟ การโค้งงอ สายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH ผ่านตามมาตรฐานทุกหัวข้อทดสอบ



ภาพประกอบที่ 9. จับยึดสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH กับอุปกรณ์ฯ

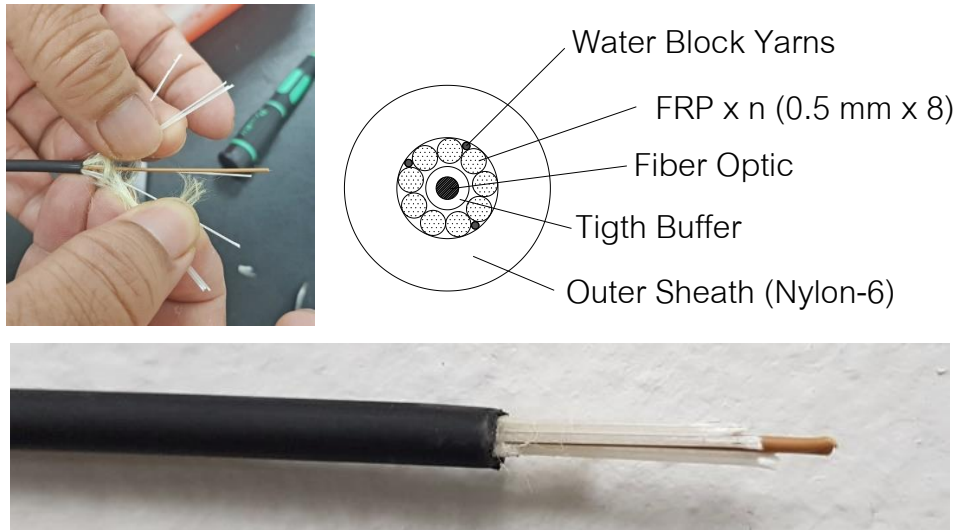
ทดลองนำอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรงตามมาตรฐานใช้งานทั่วไปมาจับยึดสายต้นแบบ OFC Nylon-12/LSZH ในห้องปฏิบัติการ พบว่าสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH ที่มีขนาด OD  $5.6 mm$  สอดใส่เข้ากับอุปกรณ์จับยึดฯ ไม่สะดวกตามภาพประกอบที่ 9. สาเหตุมาจากขนาด OD สายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH โทกว่าสายต้นแบบ Access OFC เดิมมาก การโค้งงอเข้ามุมเสาไม่สะดวก กรณีเสาด้านนั้นติดตั้งสายหลายเส้นกลุ่มสายมีขนาดโต (ระเบียบ กพน. กพภ. ติดตั้งสายกระจายได้สูงสุด 10 เส้น)

โดยสรุปสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH ผ่านทดสอบค่าทางแสงและทางกลในห้องปฏิบัติการ แต่ไม่เหมาะสมกับการติดตั้งใช้งานเนื่องจากขนาด OD สายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH ( $5.6 mm$ ) มากกว่าสาย Access OFC ( $3.5 mm$ ) เดิมถึง 60% ขบวนการผลิตมีราคาสูงเนื่องจากต้องห่อหุ้มฉนวน 2 ชั้นตอน ชั้นตอนแรกห่อหุ้ม Nylon-12 ชั้นตอนที่สองห่อหุ้ม LSZH ดังนั้นสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน

### 5.2.2.3 สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6

สายต้นแบบ Access OFC Nylon-12 ผลการทดสอบผ่านมาตรฐานที่กำหนด แต่ไม่เหมาะสมกับการติดตั้งใช้งาน ราคาสูง ทีมงานมีแนวคิดใช้โครงสร้างสายต้นแบบ Access OFC LSZH เดิม เปลี่ยนเฉพาะฉนวนห่อหุ้มจาก LSZH เป็น Nylon

เนื่องจากวัสดุ Nylon ที่นำห่อหุ้มแทน LSZH ใช้งานกลางแจ้งและภายในอาคาร ต้องสามารถป้องกันรังสี UV (Ultraviolet) และไม่ลามไฟ ได้รับคำแนะนำจากโรงงานผู้ผลิตให้เลือกใช้พลาสติกวิศวกรรม Halogen-Free Flame Retardant Nylon-6 แทน Nylon-12 พร้อมเติมสารดูดซับรังสี UV (UV Stabilizer) รองรับการใช้งานกลางแจ้ง

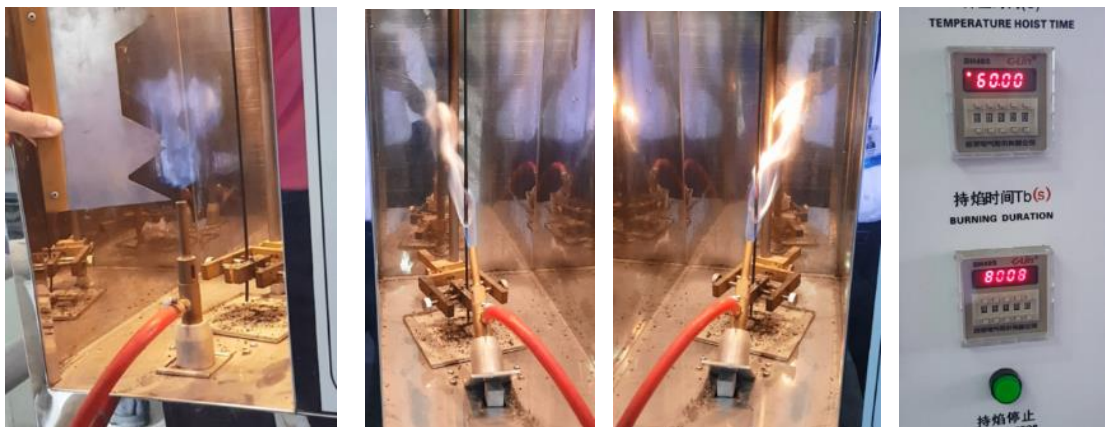


ภาพประกอบที่ 10. โครงสร้างสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6

Nylon-6 มีจุดเด่นมีเนื้อแข็ง ผิวมัน ขึ้นรูปง่าย ทนทานต่อการกัดกร่อน ทนต่อการบิดพับงอ ยืดหยุ่นไม่เสียรูปทรงง่าย ไม่ติดและไม่ลามไฟ มีการนำไปห่อหุ้มสายในอาคารเพื่อป้องกันสัตว์กัดแทะ ใช้ทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมทำให้มีราคาเหมาะสม สั่งผลิตสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 จำนวน 1,000 เมตร วัตขนาด OD 3.3 mm (สายต้นแบบ Access OFC LSZH 3.5 mm)

#### ทดสอบการลามไฟ (Flame Retardant)

สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ตำแหน่งใช้งานเชื่อมต่อโครงข่าย ODN จากภายนอก เข้าสู่อาคาร ตามมาตรฐานสายสื่อสารที่ใช้ภายในอาคารต้องไม่ลามไฟ (Flame Retardant) เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนด ทดสอบ Flame Propagation ตามมาตรฐาน IEC 60332-1 ทดสอบ ป้อนเปลวไฟแนวตั้งต่อเนื่อง 60 วินาที เมื่อครบกำหนดเวลานำเปลวออกจากสายตัวอย่างรอคอยจน เปลวไฟดับสนิท วัดระยะจาก Clamp จับตัวอย่างด้านบนลงมา 50 mm สายตัวอย่างทดสอบต้องไม่ ชำรุดเสียหายจากการเผาไหม้ที่ระยะนี้



ภาพประกอบที่ 11. ทดสอบการป้องกันการลามไฟสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6

ผลทดสอบการลามไฟสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ตามมาตรฐาน IEC 60332-1 หลังครบ 60 วินาที เมื่อนำเปลวไฟออกสายตัวอย่างลูกใหม่ต่อเนื่องและดับวินาทีที่ 80 วัดจาก Clamp ด้านบนลงมา 50 mm สายไม่ชำรุดเสียหายตามภาพประกอบที่ 11. สรุปผลการทดสอบสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 การป้องกันลามไฟผ่านมาตรฐาน

ค่ารับแรงดึงแบบทำลายสายต้นแบบ Access OFC ที่ผ่านมา 2 ชนิด ชนิดแรกคือสายต้นแบบ Access OFC LSZH [3] โครงสร้างไม่มีโลหะรับแรงดึงด้วยตัวเอง วัสดุรับแรงดึงสายต้นแบบคือ แกน FRP และฉนวนห่อหุ้ม LSZH ผลการทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลาย 1,602 N ชนิดที่สองสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH โครงสร้างไม่มีโลหะรับแรงดึงด้วยตัวเอง วัสดุรับแรงดึงสายต้นแบบคือแกน FRP ฉนวนห่อหุ้ม Nylon-12 และวัสดุ LSZH ผลการทดสอบแบบทำลายรับแรงดึงเฉลี่ย 2,593 N

สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 โครงสร้างไม่มีโลหะรับแรงดึงด้วยตัวเอง วัสดุรับแรงดึงสายต้นแบบคือแกน FRP และฉนวนห่อหุ้ม Nylon-6 ผลการทดสอบแบบทำลายรับแรงดึงเฉลี่ย 1,209 N ตามตารางที่ 2. มากกว่าค่ารับแรงดึงใช้งานตามมาตรฐานสาย Access OFC ( $\geq 800 N$ )

**ตารางที่ 2.** ผลการทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6

Sample	สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 (Newton)
1	1,190.00
2	1,237.00
3	1,184.00
4	1,182.00
5	1,252.00
Avg.	1,209.00

ทดลองเชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับอุปกรณ์ OFTK [5] ทดลองติดตั้งสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรงที่จัดซื้อจากท้องตลาดและต้นแบบอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรงที่ศึกษาวิจัยออกแบบโดยทีม วบ.2 หัวข้อละ 10 ตัวอย่างทดสอบ ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทั้งหมด

สรุปโครงสร้างสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ล้อจากโครงสร้างสาย Access OFC กล่าวคือแกนในสุดวางเส้นใยแก้วนำแสง 1F ชนิด Tight Buffer Fiber 900  $\mu m$  ตามมาตรฐาน ITU-G657A/A1 พันรอบด้วย Water Block Yarns ก่อนวางแกน FRP OD 0.5 mm จำนวน 8 แกน ล้อมรอบเพื่อป้องกันสัตว์กัดแทะ ชั้นนอกสุดห่อหุ้มพลาสติกวิศวกรรม Halogen-Free Flame Retardant Nylon-6 (ป้องกันสัตว์กัดแทะอีกชั้นหนึ่ง) กำหนดขนาด OD สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 มีขนาดเท่ากับสายต้นแบบ Access OFC LSZH (3.5 mm) ตามภาพประกอบที่ 10.

### 5.3 ทดลองสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ภาคสนาม

สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ผ่านการทดสอบตามมาตรฐานทุกหัวข้อทดสอบ ผลการทดลองเชื่อมต่อกับเส้นใยแก้วนำแสงกับอุปกรณ์โครงข่าย ODN จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงค่า Loss ได้ตามมาตรฐาน กำหนดเป้าหมายในการเก็บข้อมูลแบ่งเป็นพื้นที่เขตนครหลวงที่เคยทดลองติดตั้งสายต้นแบบ Access OFC LSZH และพื้นที่ภูมิภาค โดยเน้นพื้นที่ที่มีปัญหาสัตว์กัดแทะโดยเฉพาะกระรอก

เก็บข้อมูลเปรียบเทียบการปกกนวนห่อหุ้มสายต้นแบบ Access OFC LSZH (พื้นที่ที่เคยทดลองติดตั้ง) สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 และสาย Round Type OFC เดิม การเชื่อมต่อสาย Access OFC แต่ละชนิดด้วยเครื่อง Fusion Splicer กับสายที่ใช้ในโครงข่าย ODN การติดตั้ง-จับยึดสาย Access OFC แต่ละชนิดกับอุปกรณ์จับยึด

เนื่องจากสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 มีโครงสร้างเหมือนสายต้นแบบ Access OFC LSZH กล่าวคือโครงสร้างภายนอกกลม แตกต่างเฉพาะฉนวนห่อหุ้มเปลี่ยนจาก LSZH เป็น Nylon-6 เพื่อให้สอดคล้องกับอุปกรณ์จับยึดเดิมที่ใช้งานกับสายต้นแบบ Access OFC LSZH กำหนดให้สายต้นแบบทั้งสองชนิดให้มีขนาด OD เท่ากัน (3.5 mm) แต่เมื่อผลิตสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 โรงงานสามารถลดขนาด OD ของสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 เหลือเพียง 3.3 mm จากขนาดของ OD ที่ลดลงช่วยลดค่าเช่าติดตั้งสายสื่อสารกับเสาของ กฟน. ลงได้ประมาณ 6%  $((0.2/3.5)*100)$  แต่ขนาดของ OD ที่เล็กอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรงที่รองรับสายทรงกลมที่เคยใช้งานกับสายต้นแบบ Access OFC LSZH

อุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรงที่ทดลองจัดซื้อมาติดตั้งสายต้นแบบ “Access OFC LSZH” (โครงสร้างสายไม่มีโลหะ) ราคาชุดละ 15 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับ Dropwire Clamp ที่ใช้งานกับสาย OFC Round Type เดิม (โครงสร้างสายมีโลหะขั้วระเบียบ กฟน.) ราคาเพียงชุดละ 3-5 บาท ต้นทุนเฉพาะอุปกรณ์จับยึดสายเพิ่มขึ้นถึง 200%  $((10/5)*100)$  เพื่อลดต้นทุนอุปกรณ์จับยึด วบ.2 ร่วมกับทีมงานและ บริษัท เอส เจ พี เทคโนโลยี จำกัด ร่วมออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-6/ABS [6] ต้นทุนต้นแบบเพียงชุดละ 7 บาท (ผลิตเชิงอุตสาหกรรมประมาณชุดละ 5 บาท) มาทดลองใช้งานในการทดลองภาคสนามครั้งนี้

สั่งผลิตสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 จำนวน 22,000 เมตร (ม้วนละ 1,000 เมตร) เพื่อทดลองภาคสนาม สุ่มพื้นที่ที่มีปัญหาสัตว์กัดแทะแบ่งเป็นเขตพื้นที่ กฟน. ที่เคยทดลองติดตั้งใช้งานสายต้นแบบ Access OFC LSZH ก่อนหน้านี้จำนวน 10,000 เมตร เพื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจระหว่างสายต้นแบบสองแบบและพื้นที่ กฟภ. (ราชบุรี สมุทรสงคราม นครปฐม นครนายก) จำนวน 12,000 เมตร เพื่อประเมินความพึงพอใจสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 เริ่มทดลองประมาณต้นเดือนมีนาคม 2564



ภาพประกอบที่ 12. เชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับอุปกรณ์โครงข่าย ODN

หลังติดตั้งใช้งานผ่านไปประมาณ 6 เดือน (มีนาคม-กันยายน 2564) สุ่มเก็บข้อมูลการติดตั้งใช้งานสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี เช่น การเชื่อมต่อ การโยกสาย-ม้วนลูปเก็บ การเสียบเข้าหัวต่อ SDP การล๊อคสายเข้ากับอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-6/ABS [6] เป็นต้น

ข้อมูลภาคสนามผลการทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ตามมาตรฐาน ITU-G657A/A1 ชนิด Tight Buffer 900  $\mu\text{m}$  กับสาย OFTK ซึ่งใช้เส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐานเดียวกัน ผลการทดลองไม่มีปัญหาในการเชื่อมต่อค่า Loss ได้ตามมาตรฐาน ( $< 0.05 \text{ dB}$ .) ตามภาพประกอบที่ 12.

แต่มีข้อมูลจากพนักงานที่ทดลองติดตั้งใช้งานสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ประมาณสองทีมแจ้งข้อมูล การเชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับสาย Pigtail Optical Fiber ของอุปกรณ์ OFTK บางจุดพบค่า Loss สูงกว่ามาตรฐานต้องตัดเชื่อมต่อใหม่ ปัญหาน้อยเกิดแบบสุ่ม (Random) พนักงานในพื้นที่สันนิฐานอาจเกิดสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 มีฉนวนห่อหุ้มแข็งและผิวฉนวนลื่น ชุดจับยึด Holder ของเครื่อง Fiber Splicing Machine อาจจับยึดสายไม่แน่นหนาพอจากปัญหาที่ได้รับต้องรีบหาสาเหตุเพื่อแก้ไขที่ต้นเหตุ (ถ้ามี)



ทีมงานถ่ายภาพก่อนเมษายน 2564 ก่อน Covid 19 ระบาดรอบใหม่  
ภาพประกอบที่ 13. ทีมงานวิเคราะห์ปัญหาการเชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6

ทีมงานร่วม “วิเคราะห์-ทดลอง” เชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับสาย Pigtail Optical Fiber ของอุปกรณ์ OFTK ในห้องปฏิบัติการตามภาพประกอบที่ 13. ผลการทดลอง ข้อสันนิษฐานเบื้องต้นที่อาจส่งผลกระทบต่อ การเชื่อมต่อมีความเป็นไปได้ดังนี้

1) **ชนิดเส้นใยแก้วนำแสง** สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 เส้นใยแก้วนำแสง โครงสร้าง Tight Buffer 900  $\mu m$  มาตรฐาน ITU-G657A/A1 เหมือนกัน เมื่อปอก Tight Buffer ออก เส้นใยแก้วนำแสงภายในขนาดเดียวกัน รองรับ V-grove ของเครื่อง Fusion Splice มาตรฐานเดียวกัน

2) **การปกกฉนวนหุ้ม** การปกกฉนวนสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 และสาย Pigtail Optical Fiber ของอุปกรณ์ OFTK ก่อนการเชื่อมต่อ

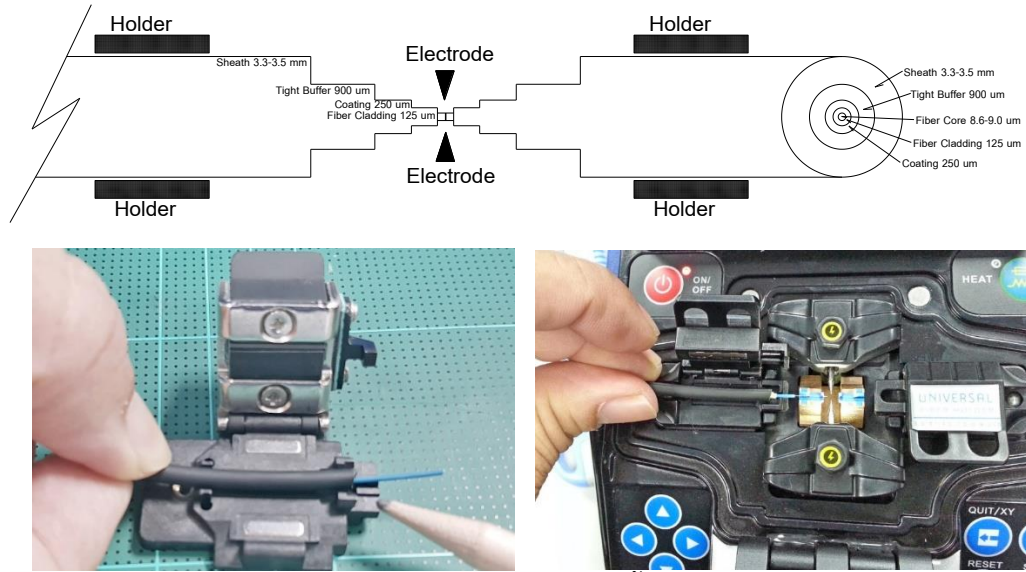
3) **การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง** การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Fusion Splicing) ในข้อ 1) แบบหลอมละลาย (Fusion Splice) ด้วยเครื่อง Fiber Splicing Machine ต้องใช้ Holder จับ สายขนาด 3.5  $mm$  ตามภาพประกอบที่ 14. ชุด Holder จะจับยึดฉนวนหุ้มชั้นนอกสุดของเส้นใย แก้วนำแสงทั้ง 2 ฝั่ง ขั้นตอนการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง ชุด Holder ของเครื่องมือก่อนการ Splice มีการเคลื่อนตัวเพื่อจัดตำแหน่งการเชื่อมต่อ (Alignment) และภายหลังการเชื่อมต่อมีการทดสอบแรงดึง มาตรฐานทั่วไปจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงรับแรงดึง 0.5 ถึง 1.5 ปอนด์ [7]

จากข้อสันนิษฐานทั้ง 3 ข้อ ชนิดเส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐานเดียวกัน การปกกฉนวนหุ้ม ข้อมูลจากพนักงานในพื้นที่แจ้งว่า การปกกฉนวนหุ้มสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ง่ายกว่าสาย OFC Round Type ป้องกันสัตว์กัดแทะที่มีเกราะ (Armoured) Spiral Stainless Steel เกรด SUS-304 เดิมอย่างชัดเจน แต่ใกล้เคียงกับสายต้นแบบ Access OFC LSZH

การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงจากขนาด OD และชนิดฉนวนหุ้มที่แตกต่างกัน เครื่อง Fiber Splicing Machine และชุด Holder คุณภาพต่ำอาจก่อให้เกิดค่า Loss จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำ แสงสูงกว่ามาตรฐานได้

สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ฉนวนหุ้มด้วยวัสดุ Nylon-6 ขนาด OD 3.3  $mm$  วัสดุ Nylon-6 เนื้อแข็ง ผิวเรียบมัน ขณะที่สาย Pigtail Optical Fiber ของอุปกรณ์ OFTK ฉนวนหุ้ม ด้วยวัสดุ LSZH ขนาด OD 3.5  $mm$  วัสดุ LSZH เนื้อวัสดุจะนิ่มและผิวจะหยาบกว่าวัสดุ Nylon-6 (ขนาด OD แตกต่างกัน 0.2  $mm$ ) อาจก่อให้เกิดปัญหาการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง กรณีเครื่อง Fiber Splicing Machine และชุด Holder คุณภาพต่ำ





ภาพประกอบที่ 14. Holder จับยึดฉนวนท่อหุ้มชั้นนอกสุดของเส้นใยแก้วนำแสง

ทดลองให้พนักงาน 3 คน เชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 และสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับสาย Pigtail Optical Fiber ของอุปกรณ์ OFTK พนักงานคนละ 30 ตัวอย่าง (รวมสองรายการคนละ 60 ตัวอย่าง) ผลการทดลองการเชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ทุกตัวอย่าง (90 ตัวอย่าง) ทดลองค่า Loss ได้ตามมาตรฐาน ( $< 0.05$  dB.) แต่การเชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับสาย Pigtail Optical Fiber (90 ตัวอย่าง) ตัวอย่างทดสอบ 2 ตัวอย่างค่า Loss สูงกว่ามาตรฐาน

แนวทางแก้ปัญหาจุดเชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับสาย Pigtail Optical Fiber ของอุปกรณ์ OFTK เปลี่ยนมาตรฐานสาย Pigtail Optical Fiber จากสาย OFC Round Type เดิมเป็นสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6

การ “ติดตั้ง-จับยึด” สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-6/ABS [6] ที่เป็นผลศึกษาวิจัยและออกแบบโดยทีมงาน วบ.2 และ บริษัท เอส เจ พี เทคโนโลยี จำกัด ตามภาพประกอบที่ 15. ผลการทดลองพนักงานในพื้นที่แจ้งข้อมูลมีจุดติดตั้งบางจุดเจอปัญหาสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 เคลื่อนตัวออกจากอุปกรณ์จับยึดฯ จนกระทั่งจนถึงจุดอิมตัวจึงหยุดเคลื่อนตัว (มีปัญหาประมาณ 5-10% )

หลังจากเจอปัญหาพนักงานในพื้นที่แก้ปัญหาเบื้องต้นโดยใช้กระดาษทรายขัดสายแนวขวางตำแหน่งที่ฉนวนจับยึดกับอุปกรณ์จับยึดฯ เพื่อเพิ่มแรงจับยึด และขั้นตอนการจับยึดต้องดึงสายกับอุปกรณ์จับยึดให้แน่น ช่วยลดปัญหาลงได้ระดับหนึ่งพร้อมประสานงานมายังทีมงาน วบ.2 เพื่อรับทราบและหาแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น



ภาพประกอบที่ 15. ติดตั้งสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับอุปกรณ์จับยึดฯ Nylon-6/ABS

แนวทางแก้ปัญหาสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 เคลื่อนตัวออกจากอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-6/ABS มีคำถามทำไมสายต้นแบบ Access OFC LSZH จึงไม่มีปัญหาสายเคลื่อนตัวออกจากอุปกรณ์จับยึดฯ ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติสายต้นแบบ Access OFC LSZH และ Access OFC Nylon-6 เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุตามตารางที่ 3.

ตารางที่ 3. เปรียบเทียบคุณสมบัติสายต้นแบบ Access OFC LSZH และ Access OFC Nylon-6

Item	Access OFC LSZH	Access OFC Nylon-6
1) ชนิดเส้นใยแก้วนำแสง	Tight Buffer 900 $\mu\text{m}$	
2) เกราะป้องกัน	แกน FRP 0.5 $\text{mm}$ *8	
3) ฉนวนห่อหุ้ม	LSZH (Low Smoke Zero Halogen)	Nylon-6 (Halogen-Free Flame Retardant)
4) เส้นผ่านศูนย์กลาง (OD)	3.50 $\text{mm}$	3.30 $\text{mm}$
5) ป้องกันสัตว์กัดแทะ	FAIL	PASS
6) Flame Retardant	PASS ทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60332-1	
7) เชื่อมต่ออุปกรณ์ ODN	SATISFIED	

จากตารางที่ 3. สายต้นแบบ Access OFC LSZH กับสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 จากโครงสร้างความแตกต่างที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์จับยึดฯ มี 2 หัวข้อ คือ ชนิดฉนวนหุ้มและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (OD) ทดลองจับยึดสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรงในท้องตลาด [6] จำนวน 5 ตัวอย่าง ทุกตัวอย่างทดสอบอุปกรณ์จับยึดฯ ล็อคสายแน่น ไม่มีการเคลื่อนตัวของสาย จนกระทั่งสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ขำรูดเสียหาย ( $\approx 1,200 \text{ N}$ )

อุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรงที่นำมาทดลองมีชิ้นส่วนประกอบ 3 ชิ้น ชิ้นแรกทรงเหลี่ยมรูปสี่เหลี่ยมผลิตจากโลหะ ทำหน้าที่ล็อคแผ่นรองกลางและติดตั้งห่วงคล้อง ชิ้นที่สองแผ่นรองกลางผลิต

จากโลหะเจาะรูพูน ผิวด้านเรียบแนบกับชิ้นส่วนแรก ผิวด้านที่มีเศษโลหะแหลมแนบกับสายเพื่อกดจิกสายกระจายที่มาจับยึด และชิ้นที่สามปลอกนอกรูปลิ่มมีทั้งผลิตจากโลหะและพลาสติก การจับยึดสายฯ ใช้หลักการรับแรงดึงแบบลิ่มลือคเมื่อมีแรงดึงเพิ่มขึ้นลิ่มจะยิ่งลือคสายแน่นขึ้นจนกระทั่งสายที่จับยึดหรืออุปกรณ์ชำรุดเสียหาย

แตกต่างกับอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-6/ABS ออกแบบให้สายเคลื่อนตัวออกจากอุปกรณ์เมื่อรับแรงดึงระดับหนึ่ง ป้องกันสายที่จับยึดชำรุดเสียหาย ทดสอบเพิ่มเติมเปรียบเทียบอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-6/ABS กับสายต้นแบบทั้ง 2 ชนิด เพื่อเปรียบเทียบการรับแรงดึงผลการทดสอบตามตารางที่ 4.

ผลการทดสอบนำอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-12/ABS จับยึดสายต้นแบบทั้งสองชนิดตามตารางที่ 4. สายต้นแบบ Access OFC LSZH รับแรงดึงเฉลี่ย 477 *N* สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 รับแรงดึงเฉลี่ย 205 *N* จากค่าที่ได้จากการทดสอบปัญหาการจับยึดอยู่ที่อุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-12/ABS ที่ทีมงานต้องออกแบบแก้ไขอุปกรณ์จับยึด

**ตารางที่ 4.** เปรียบเทียบการรับแรงดึงอุปกรณ์จับยึดฯ กับสายต้นแบบฯ

Sample	อุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-6/ABS (Newton)	
	Access OFC Nylon-6	Access OFC LSZH
1	226.00	457.00
2	186.00	485.00
3	210.00	483.00
4	195.00	464.00
5	211.00	499.00
Avg.	205.60	477.60

สรุปลายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 โครงสร้างแกนในสุดมีเส้นใยแก้วนำแสง Tight Buffer Fiber 900  $\mu\text{m}$  จำนวน 1F ตามมาตรฐาน ITU-G657A/A1 พันรอบด้วย Water Block Yarns ล้อมรอบด้วยแกน FRP ทรงกลม OD 0.5 *mm* จำนวน 8 แกน ป้องกันสัตว์กัดแทะ สูดทำยห่อหุ้มด้วย Halogen-Free Flame Retardant Nylon-6 มีคุณสมบัติไม่ลามไฟ วัสดุมีเนื้อแข็ง ผิวมันป้องกันสัตว์กัดแทะ ผลการทดสอบ ณ โรงงานผู้ผลิตและห้องปฏิบัติการ วบ.2 ผ่านมาตรฐานที่กำหนด ผลการทดลองใช้งานภาคสนาม การปกฉนวนห่อหุ้มง่าย การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงมีปัญหาค่า Loss ต้องตัดเชื่อมต่อใหม่บางจุด (จำนวนน้อยไม่เป็นนัยยะสำคัญ) การติดตั้งกับอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-12/ABS ที่เป็นผลงานวิจัยของทีมงาน สายมีการเคลื่อนตัวออกจากอุปกรณ์จับยึดบางจุดระยะเวลา 6 เดือน (มีนาคม ถึง กันยายน 2564) สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้

ภาพรวมสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 เหมาะสมกับการใช้งาน สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ เพื่อป้องกันปัญหาการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงมีปัญหาค่า Loss ควรเปลี่ยนมาตรฐานสาย Pigtail Optical Fiber ของอุปกรณ์ OFTK จากสาย OFC Round Type เดิมเป็นสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 และปัญหาการจับยึดอยู่ที่อุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-12/ABS ทีมงานต้องออกแบบแก้ไขอุปกรณ์จับยึดใหม่ให้รองรับสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6

กรณีออกแบบสาย Access OFC ป้องกันสัตว์กัดแทะได้สำเร็จแต่ราคาแตกต่างกันมากอาจกำหนดมาตรฐานสาย Access OFC แยก 2 มาตรฐาน (ป้องกันและไม่ป้องกันสัตว์กัดแทะ) กรณีราคาสาย Access OFC ป้องกันสัตว์กัดแทะที่ออกแบบใหม่ราคาใกล้เคียงกัน ควรกำหนดมาตรฐานสาย Access OFC ป้องกันสัตว์กัดแทะเพียงชนิดเดียวใช้ครอบคลุมทุกพื้นที่ เพื่อความสะดวกในการจัดซื้อและควบคุมพัสดุ

## 6. สรุป

ปี พ.ศ. 2563 การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ออกหลักเกณฑ์ห้ามแขวนสายสื่อสารที่มีโลหะกับเสาของ กฟน. ส่งผลกระทบต่อโครงข่าย ODN ของ บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) ที่ใช้สายกระจายเส้นใยแก้วนำแสง (Access OFC) ชนิด OFC Round Type โครงสร้างมีสายสะพานรับแรงดึงโลหะ ฝายวิจัยและพัฒนา (วบ.2) และส่วนงานที่เกี่ยวข้อง “ศึกษาวิจัยออกแบบสาย Access OFC LSZH (Access OFC LSZH Cable Design without Metal Components)” [3] ใช้วัสดุ FRP (Fiber Reinforced Plastic) รับแรงดึงทดแทนเส้นลวดโลหะสามารถใช้งานกับโครงข่าย ODN ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ผลการทดลองภาคสนามไม่สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้

ทีมงานร่วมมือกับ บริษัทไฟเบอร์ ออพติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM) ศึกษาออกแบบสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH จากคุณสมบัติ Nylon-12 เนื้อแข็ง มีผิวมัน ขึ้นรูปง่าย ทนทานต่อการกัดกร่อน ทนต่อการบิดพับงอ ยืดหยุ่นไม่เสียรูปทรงง่าย ไม่ติดและไม่ลามไฟ ใช้ทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมทำให้มีราคาเหมาะสม โดยปรับเปลี่ยนแกน FRP ทรงกลม 8 เส้นเดิมเป็น Nylon-12 หล่อขึ้นเดียวห่อหุ้มด้วยวัสดุ LSZH โครงสร้างเป็นฉนวนหุ้ม 2 ชั้น สายต้นแบบมีขนาด OD 5.6 mm ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการไม่เหมาะสมกับการใช้งาน จากปัญหาการจับยึดและขนาดกลุ่มสายมีขนาดโตกรณีเสาด้านนั้นติดตั้งสายฯ หลายเส้น

จากข้อจำกัดสายต้นแบบ Access OFC Nylon-12/LSZH มีขนาดโต ทีมงานออกแบบสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 โครงสร้างแกนในสุดมีเส้นใยแก้วนำแสง Tight Buffer Fiber 900  $\mu\text{m}$  จำนวน 1F ตามมาตรฐาน ITU-G657A/A1 พันรอบด้วย Water Block Yarns ล้อมรอบด้วยแกน FRP ทรงกลม OD 0.5 mm จำนวน 8 แกน ป้องกันสัตว์กัดแทะ ชั้นนอกสุดห่อหุ้มด้วย Halogen-Free Flame Retardant Nylon-6 มีคุณสมบัติไม่ลามไฟขนาด OD 3.3 mm

ผลการทดสอบสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ณ โรงงานผู้ผลิตและ วบ.2 ผ่านมาตรฐานที่กำหนด สั่งผลิตสายจำนวน 22,000 เมตร (ม้วนละ 1,000 เมตร) ทดลองภาคสนามเขตพื้นที่ กพน. จำนวน 10,000 เมตร พื้นที่ กพภ. (ราชบุรี สมุทรสงคราม นครปฐม นครนายก) จำนวน 12,000 เมตร ผลการทดลองใช้งานภาคสนาม การบอกรวมของหุ้มง่าย การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงมีปัญหาค่า Loss ต้องตัดเชื่อมต่อใหม่บางจุด (จำนวนน้อยไม่เป็นนัยยะสำคัญ) สอดคล้องกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ

ทดลองให้พนักงานเชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 และสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับสาย Pigtail Optical Fiber ของอุปกรณ์ OFTK (รวมทั้งหมด 180 ตัวอย่าง) ผลการทดลองการเชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 ทุกตัวอย่างค่า Loss ได้ตามมาตรฐาน ( $< 0.05$  dB.) แต่การเชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับสาย Pigtail Optical Fiber ตัวอย่างทดสอบ 2 ตัวอย่างค่า Loss สูงกว่ามาตรฐาน

แนวทางแก้ปัญหาจุดเชื่อมต่อสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 กับสาย Pigtail Optical Fiber ของอุปกรณ์ OFTK เปลี่ยนมาตรฐานสาย Pigtail Optical Fiber จากสาย OFC Round Type เดิมเป็นสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6

การติดตั้งกับอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-12/ABS ที่เป็นผลงานวิจัยของทีมงาน สายมีการเคลื่อนตัวออกจากอุปกรณ์จับยึดบางจุด ปัญหาการจับยึดอยู่ที่อุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง Nylon-12/ABS ทีมงานต้องออกแบบแก้ไขอุปกรณ์จับยึดใหม่ให้รองรับสายต้นแบบ Access OFC Nylon-6

โดยสรุปทดลองติดตั้งใช้งานภาคสนาม ระยะเวลา 6 เดือน (มีนาคม ถึง กันยายน 2564) สายต้นแบบ Access OFC Nylon-6 เหมาะสมกับการการใช้งานกับโครงข่าย ODN โครงสร้างแกน FRP 8 แกนและ Nylon-6 ช่วยกันเสริมในการป้องกันสัตว์กัดแทะ ฉนวน Halogen-Free Flame Retardant Nylon-6 ป้องกันไฟลาม ขนาด OD รวม 3.3 mm ช่วยลดค่าเช่าติดตั้งสายสื่อสารลงได้ประมาณ 6 %

**หมายเหตุ** เพื่อความสมบูรณ์โครงการศึกษาวิจัย ควรทดลองใช้งานให้ครบ 12 เดือน เพื่อให้ตัวอย่างทดสอบครอบคลุมการใช้งานทุกฤดูกาลก่อนสรุปผลเพื่อออกข้อกำหนดต่อไป

### ที่ปรึกษาโครงการวิจัยฯ

รศ.ดร.อติคม ฤกษ์บุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.ดร.สมมาตร แสงเงิน	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.กฤษณะพงศ์ พันธุ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

### ผู้บริหาร บริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)

นายมรกต เขียวมนตรี	รองกรรมการผู้จัดการใหญ่สายงานโครงสร้างพื้นฐาน
นายทินกร นาทองลาย	ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่กลุ่มบริหารโครงข่าย
นายทรงวุฒิ วงษ์สุนทร	ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนา

### ผู้ร่วมวิจัย

นายสุวันชัย เจริญนนท์วัฒน์	นายชัยฤทธิ์ ศรีดาวงษ์	ว่าที่ร้อยตรี ชัชวาล จันทรกุล
นายประกิจ รักชีพ	นายกฤศ ศรีวิลาศ	นายไพศาล แข่งเจริญ
นายดิเรก เย็นนภา	นายกิตติโชค บุญชัยยะ	นายศักดิ์สิทธิ์ จิระเสวี
นายทักษ์ไฉย เลานวัฒนา	นายดำรงห์ ตริจรรูญ	นายทรงพล สงวรรณรัตน์
นางปิ่นฉัตร รักชีพ	นางสุภมาส แข่งเจริญ	นายเมธี สุมานะนันท์
นายวรวิทย์ อรชร	นายทัพพีเทพ โชคชัยวิศิษฏ์	นายคมศร วชิรพิเชฐ
นายสุชาติ เหมือนจีน	นายสันติภาพ แสงจันทร์	นายสมพงษ์ น้อมนำทรัพย์
นายพิสันต์ พงษ์ไชยโสภณ	นายกวี จะเกร็ง	นายปรารถนา โพธารมย์
นายพิพัฒน์ จงรักวิทย์	นายสรรเสริญ ทรงเผ่า	นายกนกศักดิ์ อารังลักษณ์รัตน์
นายณฤทธิ์สมเจริญ สำเภาพล		

### ทีมทดลองภาคสนาม

#### ราชบุรี

นายกฤษฏา มีมัย	นายวันเฉลิม มีมัย	นายวสวัตติ นุ่มจิน
นายเทียนชัย ศรีราจันทร์	นายกิตติพงษ์ เอี่ยมจิต	นายธวัชชัย อินทร์มัน

#### นครปฐม

สุพจน์ พุกสุริย์วงศ์ ผส.บกภ.1.2 (นฐ)	นายสมาน ปู่เมือง ผจ.นบกภ.1.2 (นฐ)	
นายณัฐกวี โกวิทชากร	นายฐาปกรณ์ หอมอุดม	นายอภิชาติ แสนสุข
นายอรรฐทร แซ่ใจ้ว	นายสมเกียรติ บุตรดี	นายนิพนธ์ มะลาซ่า

**สมุทรสงคราม**

นายภูวดิต ภัทรชัยเมธา ช.ผส.บกภ.1.2 (สส.)	นายธนัชฐ์ ทรัพย์สำราญ รก.ผจ.นบกภ.1.2 (สส.)
นายสุขสม มาชื่น	นายทศพร ยี่มพงษ์
นายพงษ์พร เผ่าจันทร์	นายกิตติภพ วรรณาลัย

**นครนายก**

นายวิสัน กฤษณ์ไพบูลย์ ผส.บกภ.3.1 (นย.)	นายมน แก้วคงคา ช.ผส.บกภ.3.1 (นย.) ด้านเทคนิค
นายบัญชา ยะเกษม	นายสมโภช มั่นอยู่ นายเมธี เทียนงาม

**สังกัด นครหลวง 1. (บบน.1.2.1)**

นางกังสดาล ไพโรจน์อนันต์ ผส.บบน.1.2.1	นายกมล ดั่งแดงโชติ รก.ผจ.ตบบน.1.2.1(1)
นายพงษ์พันธ์ หมั่นใจ	นายกิตติศักดิ์ เชื้อเวียง

**บริษัทไฟเบอร์ ออพติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM)**

นายสุรชัย เสรีวิริยะกุล	นางสาวพิบูลย์ศรี สมบูรณ์	นายสิริชัย เสรีวิริยะกุล
นายเอกลักษณ์ บินยัง	นายจักรี จันทร์หอม	นางสาวสุจรรยา ไชยสาร

**บริษัท เอส เจ พี เทคโนโลยี จำกัด**

นาย วิโรจน์ เลิศวาริเวช	นาย ภัคพล เลิศวาริเวช	นายตุลย์ ศิริวงศ์
นายภูริตล บุญเกิด	นายวรยุทธ์ มาลากรอง	

## 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] Telephone Organization of Thailand, Outside Plant Standard Sector Specification No. OES-004-055-01 Issued; June 2017 “Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type))”
- [3] รายงานผลการวิจัยและพัฒนาออกแบบสาย Access OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ (Access OFC Cable Design without Metal Components) นายอนุรุต อุทัยรัตน์ และคณะฯ หน่วยธุรกิจขายและบริการลูกค้านครหลวง บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) 21 กันยายน 2563
- [4] TOT Public Company Limited, Fixed Line and Broadband Development Sector Specification No. OES-004-057-01 Issued; November 2018 “ADSS FRP Armoured Optical Fiber Cable (ADSS FRP OFC)”
- [5] โครงการวิจัย “แก้ปัญหาโครงข่าย ODN ปลายทางของระบบ FTTx ด้วยอุปกรณ์ OFTK (Optical Fiber Termination Kit)” สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) พฤศจิกายน 2560
- [6] โครงการศึกษาวิจัยออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายกระจายแนวตรง (*Nylon – 6*)<sup>2</sup> ฝ่ายวิจัยและพัฒนา (วบ.2) บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) 2564
- [7] โครงการวิจัยศึกษาผลการประยุกต์นำเส้นใยแก้วนำแสงหลายเส้นห่อหุ้มร่วมใน Protective Sleeves เดียวกัน สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) กุมภาพันธ์ 2563