

โครงการวิจัย ออกแบบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงทนไฟ

FRSS OFC

Fire Resistant Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable

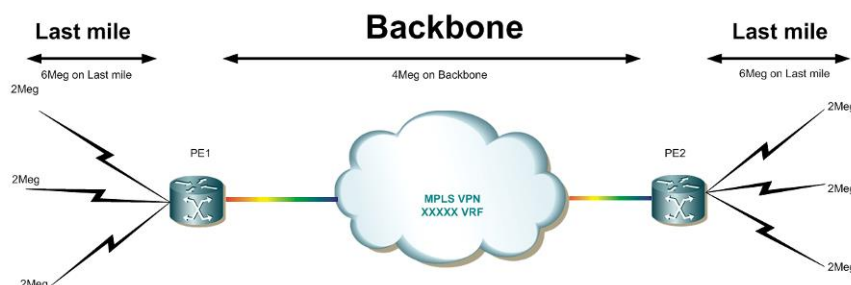
สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน)

มีนาคม 2563

1. ความเป็นมาและสภาพปัญหา

รายได้จากบริการ Broadband Internet ภาพรวมไตรมาส 1/2560 มีมูลค่ารวมเท่ากับ 11,333 ล้านบาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 10.9 เมื่อเทียบกับช่วงไตรมาสเดียวกันของปี 2559 จากผู้ให้บริการ 4 ราย (TOT TRUE 3BB และ AIS Fiber) พบว่า TOT เป็นผู้ให้บริการรายเดียวที่มีรายได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง (ส่วนแบ่งตลาดร้อยละ 22.1) [1] หลัก ๆ ผู้ใช้บริการจะพิจารณาเลือกบริการ Broadband Internet จากผู้ให้บริการรายใด จะพิจารณาจาก ราคา ความรวดเร็วในการติดตั้ง คุณภาพโครงข่ายมีความเสถียรและบริหารหลังการขาย

Broadband Internet ที่ให้บริการผ่านข่ายสายสื่อสารปรับเปลี่ยนจากโครงข่ายสายเคเบิลทองแดง (Copper Cable Network) ภายใต้อบริการ ADSL (Asymmetric Digital Subscribers Line) ซึ่งมีปัญหาเรื่องความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลและคุณภาพโครงข่ายที่ไม่มีความเสถียร มาเป็นโครงข่ายสายเคเบิลใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Cable Network) สามารถแบ่งออกเป็นโครงข่ายหลัก (Backbone Network) เชื่อมต่อถึงกันด้วยสายเคเบิลใยแก้วนำแสง และโครงข่ายรอง (Last Mile) ภายใต้อบริการระบบ FTTx (Fiber to the X)



ภาพประกอบที่ 1. แสดงการเชื่อมต่อโครงข่ายโทรคมนาคมบริการ Broadband Internet

ระบบ FTTH เริ่มจากอุปกรณ์ OLT (Optical Line Terminal) ที่ติดตั้ง ณ ศูนย์ให้บริการหลัก (Central Office) เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ ONU/ONT (Optical Network Unit/Optical Network Terminal) ที่ติดตั้งปลายทางตำแหน่งจุดขอรับบริการ ผ่านสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงหรือสายเคเบิล OFC (Optical Fiber Cable) [2] ผ่านอุปกรณ์แยกสัญญาณทางแสง (Fiber Optic Splitter) ผ่านสาย Optical Fiber Drop Cable (Round Type) [3] ตามลำดับก่อนเชื่อมต่ออุปกรณ์ ONU/ONT

ภาพรวมบริการ Broadband Internet ผ่านข่ายสายเคเบิล OFC ประกอบด้วยโครงข่ายหลัก (Backbone Network) ที่เชื่อมต่อโครงข่ายรอง (Last Mile) ภายใต้บริการระบบ FTTH หลาย ๆ โครงข่ายรองเข้าด้วยกัน ตามภาพประกอบที่ 1. กรณีโครงข่ายหลักที่เชื่อมต่อด้วยสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพบริการ Broadband Internet ของผู้ให้บริการนั้น ๆ เป็นวงกว้าง

สายเคเบิล OFC โครงข่ายหลักปกติทั่วไปติดตั้งด้วยสายเคเบิล OFC ชนิด ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) [4] โครงข่ายใดที่มีปัญหาสัตว์กัดแทะจะติดตั้งด้วยสายเคเบิล OFC ชนิด ARSS OFC (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable) [5] จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงของสายเคเบิล ตั้งแต่ 12 F จนถึง 312 F ขึ้นกับการใช้งาน

สายเคเบิล OFC ชนิด ADSS OFC และ ARSS OFC เมื่อเกิดเพลิงไหม้ เช่น จากไฟไหม้ทุ่งหญ้า ทุ่งข้าวโพด พุ่มไม้ หรือวัชศูริมทาง ที่มักมีไฟไหม้ช่วงหน้าแล้ง เป็นต้น ความร้อนจากเปลวไฟที่ไหม้ใต้แนวสายเคเบิล OFC ส่งผลกระทบต่อสายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งตามแนวเสาไฟฟ้าด้านบนชำรุดเสียหาย

สายเคเบิล OFC ชนิด ADSS OFC และ ARSS OFC เปลือกหุ้มภายนอก (Cable Sheath) มาตรฐานกำหนดใช้วัสดุ HDPE (High Density Polyethylene) [4] [5] คุณสมบัติวัสดุ HDPE เผาไหม้และลามไฟ โครงข่ายหลักที่ใช้สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งผ่านทุ่งหญ้า พุ่มไม้ หรือวัชศูริมทาง มีปัญหาไฟลามทุ่งสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหาย ส่งผลต่อความเสถียรของโครงข่ายที่ให้บริการ Broadband Internet

บริษัท ทีโอที มอบหมาย สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.) สังกัดสำนักสนับสนุนโครงสร้างพื้นฐาน หน่วยธุรกิจโครงสร้างพื้นฐาน (BU1) ศึกษาหาแนวทางป้องกันปัญหาไฟลามทุ่ง เพื่อแก้ปัญหาและประกันคุณภาพโครงข่ายให้บริการต่อเนื่อง สร้างความเสถียรในให้การบริการ และเพิ่มความเชื่อมั่นกับผู้ใช้บริการ ลดภาระซ่อมบำรุงสายเคเบิล OFC ย่านที่มีไฟลามทุ่งหน้าแล้ง

2. วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยนี้เพื่อศึกษาและสำรวจปัญหาสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากปัญหาไฟไหม้ ที่มาจากไฟลามทุ่ง ไฟไหม้พุ่มไม้หรือวัชศูริมทางหรือไฟไหม้จากปัญหาจุดบกพร่องของระบบสายส่งไฟฟ้าทั้งแรงสูงและแรงต่ำ เช่น จากปัญหาาระบบบกราวด์บกพร่อง ขั้วต่อสายไฟฟ้าที่ชำรุดเกิดความร้อนสะสมจนลุกไหม้มายังสายเคเบิล OFC เป็นต้น

ศึกษาหาแนวทางลดปัญหาไฟไหม้สายเคเบิล OFC เช่น ออกแบบสายเคเบิล OFC ชนิดพิเศษ ออกแบบอุปกรณ์ป้องกันการลามไฟหรือวิธีการอื่นใดที่แก้ไขปัญหาล่วงหน้าได้ ทั้งนี้แนวทางแก้ปัญหามุ่งสอดคล้องกับกฎข้อบังคับของการไฟฟ้าฯ ในการแขวนพาดสายสื่อสารโทรคมนาคมกับเสาไฟฟ้า แนวทางแก้ปัญหามุ่งไม่เป็นอุปสรรคของการปฏิบัติงาน ต้นทุนในการดำเนินการต่ำ

3. วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย

- 1) ตรวจสอบและเก็บข้อมูลปัญหาสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากไฟไหม้ในพื้นที่
- 2) สรุปผลการทดสอบหาแนวทางแก้ปัญหามุ่งป้องกันไฟไหม้สายเคเบิล OFC
- 3) จัดทำต้นแบบแนวทางแก้ปัญหไฟไหม้สายเคเบิล OFC ทดสอบในห้องปฏิบัติการ
- 4) ทดสอบต้นแบบฯ ภาคสนาม
- 5) เก็บบันทึกข้อมูลการใช้งาน ปัญหา และแนวทางแก้ไข
- 6) สรุปและนำเสนอผลงานวิจัยต่อผู้บริหารเพื่อขยายผลนำไปใช้งานต่อไป

4. ปัญหาภาคสนามและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สายเคเบิล OFC โครงข่ายหลักทำหน้าที่เชื่อมต่อระยะไกล (Long Distance) เช่น ระหว่างศูนย์ให้บริการหลักระบบ FTTx หรือระหว่างชุมสายสื่อสารโทรคมนาคม (Telecommunication Exchange) เข้าด้วยกันหรือเชื่อมต่อระหว่างเมืองหรือระหว่างจังหวัดขึ้นกับการออกแบบโครงข่ายนั้น ๆ

ระยะห่างระหว่างชุมสายหลักการออกแบบจะออกแบบให้ระยะห่างไม่เกิน 100 กิโลเมตร เพื่อประหยัดงบประมาณไม่ต้องมีชุดขยายสัญญาณแสงเพิ่มในระบบฯ การติดตั้งโครงข่ายสายเคเบิล OFC จะติดตั้งกับเสาไฟฟ้าที่ปักตามแนวริมถนนพาดผ่านทั้งถนนหลักและถนนรอง บางช่วงริมถนนที่พาดผ่าน มีทุ่งหญ้า ป่ารกชัฏ พุ่มไม้สูง ดังนั้นพื้นที่ใดมีปัญหาไฟลามทุ่งสร้างความเสียหายต่อโครงข่ายหลักบ่อย ๆ หน่วยงานในพื้นที่จะจัดทำแนวป้องกันไฟ ตัดทุ่งหญ้าหรือพุ่มไม้ที่มีความเสี่ยงช่วยลดปัญหาไฟลามทุ่งที่อาจสร้างความเสียหายจากเปลวเพลิงไหม้สายเคเบิล OFC ได้ระดับหนึ่ง



ภาพประกอบที่ 2. สภาพภูมิประเทศหลังเกิดปัญหาไฟไหม้ป่าริมทาง



ภาพประกอบที่ 3. ปัญหาไฟลามทุ่งและเพลิงลุกไหม้จากระบบสายส่งไฟฟ้าบกพร่อง

สายเคเบิล OFC ของโครงข่ายรอง เช่น บริการ FTTx มาตรฐานกำหนดระยะทางเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ OLT กับอุปกรณ์ ONU/ONT ไม่เกิน 20 กิโลเมตร โครงข่ายรองส่วนมากจะติดตั้งผ่านย่านชุมชน ดังนั้นปัญหาสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากไฟลามทุ่งมีน้อย ปัญหาไฟไหม้มักจะมาจากปัญหาอื่น ๆ เช่น ไฟฟ้าลัดวงจร ระบบสายส่งไฟฟ้าบกพร่องเกิดประกายไฟลุกลามมายังสายเคเบิล OFC เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 4. หน่วยงานซ่อมบำรุงต้องคอยให้ความร้อนและแก้ถ่านเย็นตัวก่อนปฏิบัติงาน

สายเคเบิล OFC เปลือกผลิตจาก HDPE ผสม Carbon Black ป้องกันรังสี UV มาตรฐานกำหนดอัตราส่วน Carbon Black $2.6 \pm 0.25\%$ จากคุณสมบัติของเปลือกหุ้มและ Carbon Black เมื่อสายเคเบิล OFC ไหม้ไฟ จะลุกลามไปตามแนวสายตามภาพประกอบที่ 2. สร้างความเสียหายให้กับสายเคเบิล OFC ชำรุดโครงข่ายตัดขาดจากกัน หลังทราบเหตุหน่วยงานซ่อมบำรุงยังไม่สามารถเข้าพื้นที่ได้

ทันที ต้องคอยให้ความร้อนและแก้ถ่านเย็นตัวก่อน จึงจะสามารถเข้าปฏิบัติงานได้ตามภาพประกอบที่ 3. และ 4.

ปัญหาไฟไหม้สายเคเบิล OFC กระทบต่อการให้บริการ Broadband Internet และหน่วยงานซ่อมบำรุง ต้องให้พนักงานเตรียมความพร้อม 24X7 โครงการวิจัยนี้ กำหนดเป้าหมายที่สำคัญ กล่าวคือต้องศึกษาหาวิธีป้องกันกรณีสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากไฟไหม้อย่างรุนแรง โครงข่าย สื่อสารต้องสามารถให้บริการต่อเนื่องอีกอย่างน้อย 7 วัน เพื่อให้หน่วยงานซ่อมบำรุงในพื้นที่มีระยะเวลาเตรียมความพร้อม เช่น จัดหาสายเคเบิล OFC ที่มาซ่อมบำรุง พนักงานไม่ต้องเตรียมความพร้อมตลอดเวลา (ลดความเครียดในการปฏิบัติงานของพนักงานฯ)

สายทนไฟสามารถแบ่งคุณสมบัติหลัก ๆ ได้ 4 ประเภท ดังนี้

1. **Flame Retardant** คุณสมบัติไม่ลามไฟหรือต้านการลุกไหม้ วัสดุที่นำมาผลิตไม่เป็นเชื้อไฟ กล่าวคือเมื่อนำเปลวไฟออกจากสายทนไฟ ระยะเวลาการลุกลามต้องไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดและไฟจะต้องดับเอง
2. **Acids and Corrosive Gas Emission** คุณสมบัติไม่ปล่อยก๊าซกรด ปกติสายไฟฟ้าที่ฉนวนผลิตจาก PVC มีส่วนผสมของคลอรีนและสารฮาโลเจน เมื่อเกิดเผาไหม้จะเกิดสารพิษ หากโดนน้ำเกิดกรดพิษ
3. **Smoke Emission** คุณสมบัติไม่เกิดควัน สายทนไฟที่ติดตั้งภายในอาคาร หรือพื้นที่ปิด มาตรฐานความปลอดภัยกำหนดคุณสมบัติบังคับ
4. **Fire Resistance** คุณสมบัติต้องสามารถส่งผ่านสัญญาณจ่ายไฟฟ้าต่อเนื่องได้ระยะเวลาหนึ่ง (บริการไม่ชะงัก)

โดยสรุปสายทนไฟ มาตรฐานปัจจุบันกำหนดบังคับใช้กับสายไฟฟ้าเป็นหลัก สายสื่อสารโทรคมนาคมสีกลางที่เป็นทองแดงและเส้นใยแก้วนำแสง บางประเภทกำหนดเป็นมาตรฐานบังคับ แต่บางประเภทยังกำหนดเป็นมาตรฐานแนะนำ ตัวอย่างเช่น

- คุณสมบัติ Flame Retardant สายสื่อสารโทรคมนาคม ที่ติดตั้งจากภายนอกเข้าอาคาร กำหนดคุณสมบัตินี้ป้องกันไฟลุกลามจากภายนอกเข้าไปในอาคาร
- คุณสมบัติ Acids and Corrosive Gas Emission และ Smoke Emission สายสื่อสารโทรคมนาคม ที่ติดตั้งภายในอาคารหรือพื้นที่ปิด เริ่มออกข้อกำหนดมาตรฐานบังคับ จากปัญหา มีผู้เสียชีวิตจากการสูดสารพิษและสำลักควันไฟในอาคาร
- คุณสมบัติ Fire Resistance มีมาตรฐานสายสื่อสารผ่านคู่สายทองแดงสำหรับนักผจญเพลิง ยังไม่พบมาตรฐานนี้กำหนดกับสายเคเบิล OFC

4.1 พฤติกรรมการเผาไหม้ทั่วไปของสายเคเบิล OFC (General Combustion Behavior of OFC)

โครงสร้างสายเคเบิล OFC กลุ่มโครงสร้างภายในรวมกันเรียกว่า Cable Core ประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสง (Bare Fiber) ซึ่งบรรจุอยู่ในภายในท่อหลวม (Loose Tube) จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงสูงสุดที่บรรจุใน Loose Tube ไม่เกิน 12F ต่อ Loose Tube ระหว่างช่องว่างของเส้นใยแก้วนำแสงกับผนังภายในของ Loose Tube อัดด้วย Filling Compound ป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงเสียหาย

นำ Loose Tube หลายเส้นมาตีเกลียวรวมเป็นกลุ่มทรงกลมรอบ Central Strength Member เพื่อให้แกนสมมาตร (Symmetry) จำนวนแกนจะลงด้วยเลขคี่ กรณีจำนวนแกนที่นำมาตีเกลียวไม่เพียงพอจะเสริม Filler Rod ที่สร้างจากพลาสติกทรงกลมยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ Loose Tube ทดแทน รอบกลุ่ม Loose Tube ที่ตีเกลียวจะพันด้วย Aramid Yarn หรือ E-glass Yarn เสริมรับรับแรงดึง ถ้ามาตรฐานสายเคเบิล OFC ป้องกันน้ำจะพันเสริมด้วย Swell able Material ป้องกันน้ำและความชื้น

ผิวนอกสุดห่อหุ้ม Cable Core ด้วยเปลือก (Cable Sheath) ผลิตจาก HDPE มีสาย Rip Cord 2 เส้นวางตรงข้ามกันได้ผิวของเปลือกช่วยในการลอกเปลือก ด้านล่างมีแถบสีระบุว่าเคเบิลเส้นนี้เป็นของบริษัทใด บริษัท ทีโอที ใช้สีแดง (Red Strip) เป็นสีประจำบริษัทตามข้อกำหนดของการไฟฟ้า

สายเคเบิล OFC มาตรฐานปกติทั่วไปส่วนประกอบไม่ได้ผลิตจากวัสดุทนหรือทนไฟ เมื่อถูกโดยเปลวไฟหรือมีการเผาไหม้ สายเคเบิล OFC จะหลอมละลายและเผาไหม้ไปในที่สุด ความร้อนที่สร้างความเสียหายภายในสายเคเบิล OFC สามารถส่งผ่านความร้อน (Heat Transfer) ด้วยวิธี การนำ การแผ่และการพา ส่งผลให้ Loose Tube หลอมละลายได้

4.2 กระบวนการเผาไหม้และการเสื่อมสภาพของสายเคเบิล OFC

สายเคเบิล OFC เมื่อสัมผัสเปลวไฟ สามารถแบ่งกระบวนการเผาไหม้และลักษณะการเสื่อมสภาพของ Cable Core ได้ 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. เปลือกนอกถูกทำลายโดยเปลวไฟเห็นโครงสร้างภายใน เช่น Armour หรือ Cable Core

ขั้นตอนที่ 2. เปลวไฟจะกระจายไปภายใน Cable Core ลูกไหม้ Loose Tube และ Gel ที่บรรจุอยู่ภายใน Loose Tube กรณีโครงสร้างสายเคเบิล OFC นั้น มีโครงสร้างเป็น Armour ที่ผลิตจาก Steel Tape ห่อหุ้ม เหล็กมีจุดหลอมเหลวประมาณ $1,500^{\circ}C$ ค่าความถ่วงจำเพาะ 7.9 g/cm^3 (โลหะตัวใดที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูง ค่าจุดหลอมเหลวก็ยังมีค่าสูงตาม) ความเร็วจากเปลวไฟไม่ถึงจุดหลอมเหลวของ Steel Tape ที่ห่อหุ้ม Cable Core ดังนั้นความร้อนจะส่งผ่าน Steel Tape ไปยัง Cable Core ผ่านไประยะเวลาหนึ่งส่งผลให้ Gel และ Loose Tube หลอมละลาย ส่งผลเส้นใยแก้วนำแสงที่บรรจุภายใน

โค้งงอตามการหลอมละลายของ Loose Tube ส่งผลกระทบการส่งผ่านสัญญาณแสงค่า Attenuation สูงขึ้น (เนื้อแก้วมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า Loose Tube)

ขั้นตอนที่ 3. พลาสติก UV Acrylic ที่ห่อหุ้ม Fiber โดนความร้อนต่อเนื่อง เปลี่ยนสภาพเป็นแก้วผ่าน ส่งผลให้ค่า Attenuation สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ขบวนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงจากแท่ง แก้วพรีฟอร์ม (Preform) ต้องให้ความร้อนแท่งแก้วอุณหภูมิประมาณ 2,000-2,200 °C)

ขั้นตอนที่ 4. หลังจากเปลวไฟดับลง เคเบิลเริ่มเย็นตัวพลาสติก UV Acrylic ที่ห่อหุ้ม เส้นใยแก้วนำแสง จะละลายหมดไป เหลือเฉพาะเนื้อแก้วที่มีความเปราะมาก มีแรงมากกระทำเพียงเล็กน้อย เนื้อแก้วพร้อมที่จะหักขาดออกจากกัน เส้นใยแก้วนำแสงเส้นนั้น ๆ ไม่สามารถส่งผ่าน สัญญาณแสงได้อีก

โดยสรุปมาตรฐานสายทวนไฟทั่วไปสามารถแบ่งเป็นมาตรฐานกำหนดคุณสมบัติไม่ให้สาย ลูกกลมไฟและมาตรฐานที่เมื่อเกิดการไหม้ไฟต้องไม่สร้างมลพิษที่ต่อบุคคล มาตรฐานมีทั้งแบบบังคับและ มาตรฐานแนะนำให้ใช้ แต่มาตรฐานที่กำหนดเรื่องปัญหาจากไฟไหม้เน้นไปที่สายไฟฟ้า สายสื่อสารเน้น เกี่ยวกับมลพิษต่อบุคคล

ปัญหาไฟลามทุ่งที่กระทบต่อสายสื่อสารที่ติดตั้งขนานบนแนวเสาไฟฟ้า โดยเฉพาะสาย เคเบิล OFC ที่เป็นโครงข่ายหลัก เมื่อสายเคเบิล OFC นั้น ๆ โดนเปลวเพลิงหรือไฟไหม้โดยตรง ในกรณี ไฟไหม้พุ่มใหม่ที่สายเคเบิล OFC พาดผ่านกลางพุ่มไม้ นั้น ๆ ส่งผลกระทบต่อบริการ Broadband Internet โดยตรง สายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายต้องซ่อมบำรุงเปลี่ยนสายเคเบิล OFC ใหม่ทดแทน การให้บริการหยุดชะงัก ส่งผลกระทบต่อสุขภาพจิตของพนักงานที่ต้องเฝ้าระวังตลอดเวลา 24 X 7 โดยเฉพาะช่วงหน้าแล้งและส่งผลกระทบต่อคุณภาพบริการ

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้เป้าหมายสำรวจและเก็บข้อมูลปัญหาสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหาย จากไฟไหม้ในพื้นที่เสี่ยงไฟไหม้โครงข่ายสายสื่อสารเพื่อหาแนวทางแก้ปัญหา เพื่อนำข้อมูลมา ออกแบบอุปกรณ์ป้องกันสายเคเบิล OFC หรือออกแบบสายเคเบิล OFC ชนิดใหม่ พร้อมสรุปและ นำเสนอผลงานวิจัยต่อผู้บริหารเพื่อขยายผลนำไปใช้งาน

5. ออกแบบอุปกรณ์หรือสายเคเบิล OFC ทนไฟและทดสอบต้นแบบในห้องปฏิบัติการ

จากปัญหาสายสื่อสารโทรคมนาคมที่ให้บริการ Broadband Internet โดยเฉพาะโครงข่าย ที่ใช้งานสายเคเบิล OFC เชื่อมต่อโครงข่ายระหว่าง “เมือง-จังหวัด-ภูมิภาค” เข้าด้วยกัน สายเคเบิล OFC จะติดตั้งบนเสาไฟฟ้า (ได้แนวสายส่งไฟฟ้า) โครงข่ายสายเคเบิล OFC บริเวณนอกเมืองบางช่วงพาดผ่าน

ฟุ้งหยากรกซึก ฟุ้งซ่าวโหด ฟุ่มไม้ โดยเฉพาะจังหวัดแม่ฮ่องสอน ที่มีปัญหาสายเคเบิล OFC ของโครงข่ายหลักชำรุดการไฟไหม้ป่า ไฟลามฟุ้งช่วงหน้าแล้งทุกปี

นฐ. ได้รับมอบหมายจาก บริษัท ทีโอที ให้ศึกษาหาแนวทางป้องกันปัญหาไฟลามฟุ้ง เพื่อแก้ปัญหาและประกันคุณภาพโครงข่ายให้บริการต่อเนื่องสร้างความเสถียรในการบริการเพิ่มความเชื่อมั่นผู้ใช้บริการ ลดภาระซ่อมบำรุงสายเคเบิล OFC ย่านที่มีไฟลามฟุ้งหน้าแล้ง ได้เรียนเชิญผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางจากหน่วยงานภายนอกร่วมโครงการวิจัย โดยมีบริษัทเข้าร่วมโครงการดังนี้¹

- 1) บริษัท ทีโอที จำกัด มหาชน (TOT)
- 2) บริษัท เอชบีซี เทเลคอม จำกัด (HBC)
- 3) บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC)
- 4) บริษัท สยามไฟเบอร์ อีออปติกส์ จำกัด (SFO)
- 5) บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ ในเครือปูนซีเมนต์ไทย (SCG)

เพื่อกำหนดแนวทางแก้ปัญหาสายเคเบิล OFC ของโครงข่ายหลักชำรุดการไฟไหม้ป่า ไฟลามฟุ้ง นฐ. ได้เรียนเชิญผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางจากหน่วยงานภายนอกทั้ง 4 หน่วยงานข้างต้นร่วมหารือตามภาพประกอบที่ 5. ผลจากการหารือ คณะทำงานกำหนดแนวทางเบื้องต้นหลายแนวทาง เช่น

- 1) ออกแบบอุปกรณ์ป้องกันมาครอบสายเคเบิล OFC ป้องกันไฟไหม้
- 2) ศึกษาวิธีการติดตั้งที่เหมาะสม เช่น วางสายเคเบิล OFC ใต้ดิน ในพื้นที่มีปัญหาไฟไหม้
- 3) สำรองแนวสายเคเบิล OFC เพื่อทำแนวกันไฟ ถางแนวฟุ้งหญ้า ฟุ่มไม้ ลดความเสี่ยง
- 4) ออกแบบสายเคเบิล OFC ที่สามารถทนไฟได้



General Property of Sheathing Material					
Property	HDPE	MDPE	EVA	PVC	LSFOH
Hardness	High	High	Soft	Soft	Medium
Abrasion Resistance	High	High	Low	Medium	Medium
Flexibility	Low	Medium	High	High	Medium
Flammability test					
Halogen Free	Yes	Yes	Yes	No	Yes
Flame Retardancy	No	No	No	Yes	Yes
Smoke Emission	Medium	Medium	Medium (acid emission)	Strong (acid emission)	Low
Corrosive Fumes	No	No	Low	High	Low
Environmental Resistance					
Water	Very Good	Very Good	Fair	Good	Good
Weathering	Very Good	Very Good	Fair	Good	Good

CONFIDENTIAL Do Not Distribute - Page 1 - SCG

ภาพประกอบที่ 5. เรียนเชิญผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวข้องประชุมร่วมวางแผนกำหนดแนวทางวิจัย

จากแนวทางต่าง ๆ พบว่าแนวทางที่ 1) ออกแบบอุปกรณ์ป้องกันมีปัญหาเรื่องรูปแบบอุปกรณ์และต้นทุน วิธีการอาจจัดระเบียบข้อบังคับการแขวนสายของการไฟฟ้าฯ แนวทางที่ 2) เป็น

¹ ชื่อบริษัท เป็นชื่อเฉพาะจึงเขียนไม่เหมือนกัน เช่น ออพติกส์ (TFOC) และ อีออปติกส์ (SFO)

แนวทางที่บางประเทศนำมาแก้ปัญหาแต่ บริษัท ทีโอที เคยนำสายเคเบิล OFC ผังใต้ดินไม่สามารถควบคุมความเสียหายจากสิ่งแวดล้อมได้ เช่น ปัญหาผิวดินไหล ปัญหาขุดเจาะ เป็นต้น แนวทางที่ 3) ทำแนวกันไฟปัจจุบันพื้นที่เสี่ยงดำเนินการอยู่แล้ว แต่ระยะเวลาของความถี่ในการทำแนวป้องกันสภาพแวดล้อมของพื้นที่ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ทุกพื้นที่ สุดท้ายแนวทางที่ 4) ออกแบบสายเคเบิล OFC ที่สามารถทนไฟได้น่าจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมสามารถควบคุมปัญหาระยะยาวได้

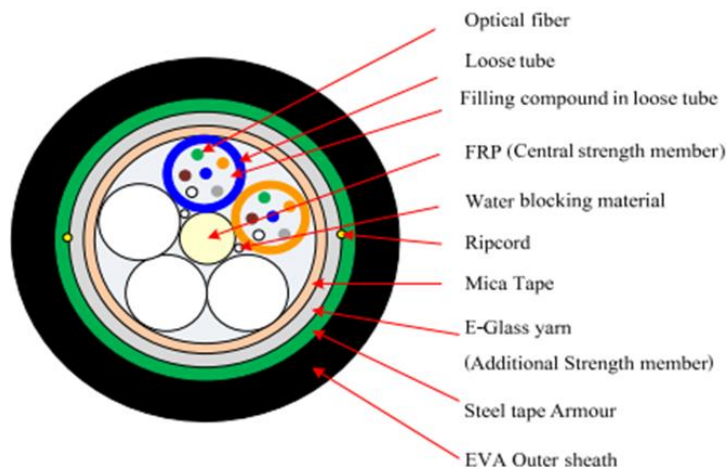
เมื่อคณะทำงานเลือกแนวทางแก้ปัญหาแนวทางที่ 4) ออกแบบสายเคเบิล OFC ที่สามารถทนไฟ คณะทำงานนัดหารือพร้อมมอบหมายให้บริษัทผลิตสายเคเบิล OFC ในประเทศไทยทั้ง 3 โรงงานผลิตต้นแบบขึ้นมา 3 รูปแบบ มอบหมายบริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ ศึกษาวัสดุที่เหมาะสมเพื่อนำมาผลิตต้นแบบ เมื่อได้ต้นแบบครบตามที่เป้าหมายจะได้ทำการทดสอบต้นแบบทั้งหมดในห้องปฏิบัติการต่อไป

เมื่อได้ผลการทดลองคณะทำงานต้องสรุปผลและเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดเพียงรูปแบบเดียว ต้นแบบๆ ที่แต่ละโรงงานผลิตโครงสร้างจะแตกต่างกัน แต่คุณสมบัติการรับแรงทางกลแบบทำลาย (น้อยกว่า 4,500 นิวตัน) การรับแรงการใช้งานปกติ (1,800 นิวตัน) อ้าอิงสาย ARSS OFC [5] ต้นแบบที่แต่ละโรงงานผลิตมีรายละเอียดดังนี้

ต้นแบบที่ 1. HBC ต้นแบบผลิตจาก EVA + Steel Tape + E Glass yarn + Mica Tape

ต้นแบบที่ 2. TFOC ต้นแบบผลิตจาก FRPE + Steel Tape + E Glass yarn + Water Blocking Tape

ต้นแบบที่ 3. SFO ต้นแบบผลิตจาก PVC + Steel Tape + E Glass yarn + Water Blocking Tape



ภาพประกอบที่ 6. แสดงโครงสร้างต้นแบบสายเคเบิล OFC ทนไฟที่เปลือกนอกผลิตจาก EVA

5.1 ทดสอบต้นแบบสายเคเบิล OFC ในห้องปฏิบัติการ

สายสื่อสารโทรคมนาคมกลุ่มสายเคเบิล OFC จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 12 F -312 F ข้อกำหนดเน้นป้องกันผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม เช่น การรับแรงดึง ผลกระทบจากแรงลม แสงแดด (UV) เป็นต้น ไม่สามารถป้องกันไฟลามได้ ต่างจากกลุ่มสายกระจาย (Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2 F) จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 1 F -2 F ที่เชื่อมเข้าอาคารมีการกำหนดมาตรฐานการลามไฟตาม IEC 60332-1 Flame Propagation [3] กล่าวคือสายกระจายสามารถลามไฟได้ แต่เมื่อกำจัดต้นเพลิงออกจากสายกระจายเปลวไฟต้องดับเอง ป้องกันไฟไหม้จากภายนอกลามเข้าไปในอาคาร

กลุ่มสายเคเบิล OFC (จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 12 F -312 F) คณะทำงานศึกษามาตรฐานและข้อกำหนดสากล ยังไม่พบมาตรฐานหรือวิธีการทดสอบไฟไหม้หรือการลามไฟระบุในกลุ่มสายเคเบิล OFC แต่ในกลุ่มสายไฟฟ้ากำหนดหัวข้อทดสอบเกี่ยวกับไฟไหม้ไว้ 2 มาตรฐาน คือ IEC 60332-3-24 Flame propagation Test และ IEC 60331-21 Resistance to fire Alone Test

ต้นแบบสาย FRSS OFC (Fire Resistant Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) ที่คณะทำงานมอบหมายให้ โรงงาน HBC เปลือกผลิตจาก EVA (Ethylene Vinyl Acetate) โรงงาน TFOC เปลือกผลิตจาก FRPE (Flame retardant Polyethylene) และโรงงาน SFO เปลือกผลิตจาก PVC (Polyvinylchloride) พร้อมทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เนื่องจากยังไม่พบมาตรฐานหัวข้อทดสอบเกี่ยวกับไฟไหม้ของสายเคเบิล OFC คณะทำงานได้หารือมีข้อสรุปเบื้องต้นจะทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60332-3-24 และมาตรฐาน IEC 60331-21 ที่ใช้ทดสอบสายไฟฟ้าเป็นมาตรฐานอ้างอิง จากนั้นจะจำลองพื้นที่ทดสอบในสนามให้คล้ายปัญหาการใช้งานจริงประกอบการตัดสินใจ

5.1.1 ทดสอบการต้านทานการเผาไหม้แนวตั้ง ตามมาตรฐาน IEC 60332-3-24

ทดสอบการต้านทานการเผาไหม้ตามมาตรฐาน IEC Flame propagation Test (IEC 60332-3-24 Category C)

- สายต้นแบบ HBC เปลือกผลิตจาก EVA ทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการ บริษัท สายไฟฟ้า บางกอกเคเบิล จำกัด (BCC) ห้องปฏิบัติการได้รับมาตรฐาน ISO/IEC 17025
- สายต้นแบบ SFO เปลือกผลิตจาก PVC ทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการ บริษัท จุรินทร์ ไวร์ แอนด์ เคเบิล จำกัด (มหาชน) (CTW) ห้องปฏิบัติการได้รับมาตรฐาน ISO/IEC 17025
- สายต้นแบบ TFOC เปลือกผลิตจาก FRPE เนื่องจากมาตรฐานสายป้องกันลามไฟใช้วัสดุนี้ในการผลิตอุตสาหกรรมกลุ่มอยู่แล้ว คณะทำงานมีความเห็นไม่จำเป็นต้องทดสอบในห้องปฏิบัติการ (ข้ามไปทดสอบในสนามที่จำลองเหมือนจริง)

5.1.1.1 ทดสอบสายต้นแบบ HBC เปลือกผลิตจาก EVA อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60332-3-24

ทดสอบสายต้นแบบ HBC เปลือกผลิตจาก EVA ณ ห้องปฏิบัติการ บริษัท สายไฟฟ้า บางกอกเคเบิล จำกัด (BCC) จากเหตุผลข้างต้นที่ยังไม่มีมาตรฐานหัวข้อทดสอบเกี่ยวกับไฟไหม้ของสายเคเบิล OFC การทดสอบจึงอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบสายไฟฟ้า IEC 60332-3-24 เป็นการทดสอบแนวตั้ง และมาตรฐาน IEC 60331-21 เป็นการทดสอบแนวระดับ

ทดสอบการเผาไหม้แนวตั้งตามมาตรฐาน IEC 60332-3-24 เตรียมตัวอย่างสายเคเบิล OFC จำนวน 16 ท่อน ๆ ละ 3.5 เมตร ใช้ระยะเวลาในการเผา 20 นาที เกณฑ์การตัดสินสายเคเบิล OFC ตัวอย่างทดสอบเสียหายสูงสุดไม่เกิน 2.5 เมตร

ผลการทดสอบสายต้นแบบ HBC เปลือกผลิตจาก EVA ณ ห้องปฏิบัติการ บริษัท BCC เมื่อเผาตัวอย่างทดสอบครบ 20 นาทีตามมาตรฐานที่กำหนด (ปิดหัว Burner) ทิ้งไว้ให้ไฟดับเอง ตัวอย่างทดสอบไฟดับเองนาที่ที่ 17 ตัวอย่างทดสอบเสียหาย 1.11 เมตร (มาตรฐานกำหนดไม่เกิน 2.5 เมตร) สรุปผลการทดสอบ สายเคเบิล OFC เปลือกผลิตจาก EVA สามารถป้องกันการลามไฟได้ตามมาตรฐาน



ภาพประกอบที่ 7. ทหารเรือแนวทางดำเนินงานก่อนการทดสอบสายต้นแบบ HBC ณ โรงงาน BCC

เมื่อผ่าสายเคเบิล OFC ต้นแบบ HBC เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความเสียหายภายใน ผลการผ่าวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

- 1) เปลือกชั้นนอก (EVA Sheath) ถูกทำลายเสียหายทั้งหมด
- 2) ชั้น Armour ที่ผลิตจาก Steel Tape ยังคงสภาพและห่อหุ้ม Cable Core ปกติ แต่เปลี่ยนสีจากเดิมสีเขียวเป็นสีดำ

- 3) ชั้น E-Glass Yarn (10 เส้น) ยังคงสภาพเป็นเส้นใยปกติ สีเปลี่ยนจากเดิมสีขาวเป็นสีดำ
- 4) ชั้น Mica Tape ยังคงสภาพห่อหุ้ม Cable Core ปกติ เมื่อคลี่ออก เนื้อ Mica Tape มีสภาพกรอบและแยกชั้นออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้น Mica และชั้น Glass Backed
- 5) ชั้น Cable Core พบว่า Loose Tube สีฟ้า สีส้ม และ Filler Rod หลอมละลายหมด คงเหลือเพียงเส้นใยแก้วนำแสงและ FRP (Fiber Reinforce Plastic) รับแรงดึงบริเวณแกนกลาง (Central Strength Member)

จากการสังเกตเส้นใยแก้วนำแสงยังคงดีเกียวยู่รอบ FRP ตามโครงสร้างเดิม เพียงแต่ Loose Tube และ Filler Rod ละลายเป็นถ้ำถ่าน UV Acrylic ที่ห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงถูกเผาบางส่วน เส้นใยแก้วนำแสงโดนความร้อนเปลี่ยนเป็นสีดำแต่ไม่ชำรุดเสียหาย FRP รับแรงดึงมีสภาพปกติ

5.1.1.2 ทดสอบสายต้นแบบ SFO เปลือกผลิตจาก PVC อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60332-3-24

ทดสอบสายต้นแบบ SFO เปลือกผลิตจาก PVC ทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการ บริษัท จรุงไทย ไวร์ แอนด์ เคเบิล จำกัด (มหาชน) (CTW) ตามมาตรฐาน IEC 60332-3-24 รายละเอียดจำนวนตัวอย่าง และวิธีการทดสอบเหมือนหัวข้อ 5.1.1.1

ผลการทดสอบสายต้นแบบ SFO เปลือกผลิตจาก PVC ณ ห้องปฏิบัติการ บริษัท CTW เมื่อเผาตัวอย่างทดสอบครบ 20 นาทีตามมาตรฐานที่กำหนด (ปิดหัว Burner) ทิ้งไว้ให้ไฟดับเอง ตัวอย่างทดสอบไฟดับเองนาทีที่ 6 ตัวอย่างทดสอบเสียหาย 1.5 เมตร (มาตรฐานกำหนดไม่เกิน 2.5 เมตร) สรุปผลการทดสอบสายเคเบิล OFC เปลือกผลิตจาก PVC สามารถป้องกันการลามไฟได้ตามมาตรฐาน

เมื่อผ่าสายเคเบิล OFC ต้นแบบ SFO เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความเสียหายภายใน ผลการผ่าวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

- 1) เปลือกชั้นนอก (PVC Sheath) ถูกทำลายเสียหายหมด
- 2) ชั้นเทปเหล็ก (Steel Tape) คงสภาพห่อหุ้ม Cable core ปกติ
- 3) ชั้น E-Glass yarn (6 เส้น) ยังคงสภาพเป็นเส้นใยปกติ แต่เปลี่ยนจากสีขาว เป็นสีดำ
- 4) ชั้น Cable Core พบว่า
 - Loose tube สีฟ้า, สีส้ม และ Filler Rod ถูกหลอมละลายหมด
 - เส้นใยแก้ว แตก และฉีกขาดทำให้ไม่สามารถมองเห็นเป็นรูปทรงได้
 - FRP มีการแตกตัว และเปลี่ยนเป็นสีดำ ไม่ได้คงรูปร่าง Rod ไว้



ภาพประกอบที่ 8. ทดสอบสายต้นแบบ SFO การเผาไหม้แนวตั้ง ณ โรงงาน CTW

โดยสรุปผลการทดสอบสายต้นแบบ SFO เปลือกผลิตจาก PVC ณ ห้องปฏิบัติการ บริษัท CTW ได้ผลใกล้เคียงกันสายต้นแบบ HBC เปลือกผลิตจาก EVA กล่าวคือสามารถป้องกันการลามไฟได้ตามมาตรฐาน แตกต่างเฉพาะขณะทดสอบเปลือก PVC มีควันไฟจำนวนมาก

5.1.2 ทดสอบการต้านทานการเผาไหม้แนวระดับ ตามมาตรฐาน IEC 60331-21

ทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60331-21 ในแนวระดับ (Resistance to fire Alone Test, Apply for IEC 60331-11/25) เผาในตู้ที่อุณหภูมิ $750^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ ต่อเนื่อง 90 นาทีตามมาตรฐานที่กำหนด (ปิดหัว Burner) ทิ้งไว้ 15 นาที ตลอดการทดสอบวัด Attenuation Change ด้วย Power Meter ตลอดการทดสอบ

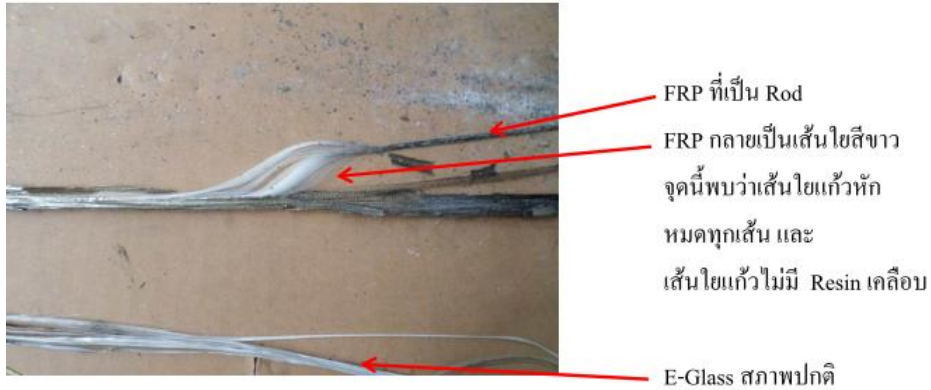
5.1.2.1 ทดสอบสายต้นแบบ HBC เปลือกผลิตจาก EVA อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60331-21

ทดสอบสายต้นแบบ HBC เปลือกผลิตจาก EVA ณ ห้องปฏิบัติการ บริษัท สายไฟฟ้า บางกอกเคเบิล จำกัด (BCC) ตามมาตรฐาน IEC 60331-21 เป็นการทดสอบแนวระดับ



ภาพประกอบที่ 9. ทดสอบสายต้นแบบ HBC การเผาไหม้แนวระดับ ณ โรงงาน BCC

ผลการทดสอบระหว่างเผา 90 นาที Attenuation Change เปลี่ยนแปลงสูงสุด 0.09 dB. เริ่มเผาประมาณนาทีที่ 3 เปลือกเคเบิลถูกเผาทำลายหมดมองเห็น Steel Tape ครบกำหนด 90 นาที ปิดหัว Burner นาทีที่ 91 Attenuation Change 0.14 dB. และเส้นใยแก้วนำแสงขาดที่นาทีที่ 94



ภาพประกอบที่ 10. ผ้าสายเคเบิล OFC ต้นแบบ HBC เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความเสียหายภายใน

เมื่อผ้าสายเคเบิล OFC ต้นแบบ HBC เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความเสียหายภายใน ผลการผ่าวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

- 1) เปลือกชั้นนอก (EVA Sheath) ถูกทำลายเสียหายทั้งหมด
- 2) ชั้น Armour ที่ผลิตจาก Steel Tape ยังคงสภาพและห่อหุ้ม Cable Core ปกติ แต่เปลี่ยนสีจากเดิมสีเขียวเป็นสีดำ
- 3) ชั้น E-Glass Yarn (10 เส้น) ยังคงสภาพเป็นเส้นใยปกติไม่มีการเปลี่ยนสี
- 4) ชั้น Mica Tape ยังคงสภาพห่อหุ้ม Cable Core ปกติ แต่มีสภาพกรอบและแยกชั้นออก คือ ชั้น Mica และชั้น Glass Backed
- 5) ชั้น Cable Core พบว่า Loose Tube สีฟ้า สีส้ม และ Filler Rod หลอมละลาย
- 6) เส้นใยแก้วนำแสงและ UV Acrylic ที่ห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงเสียหายทั้งหมดเหลือเพียงเส้นใยแก้วนำแสง
- 7) แกนรับแรง FRP หมดสภาพจากรูปร่าง Rod เปลี่ยนสภาพเป็นเส้นใยสีขาวอ่อนตัว

จากการสังเกตการณ์ขณะทำการทดสอบสายเคเบิล OFC ต้นแบบเปลือกชั้นนอกเผาไหม้อย่างรวดเร็ว เห็นชั้น Armour ที่ผลิตจาก Steel Tape อย่างชัดเจน ชั้น Armour คงสภาพตลอดการทดสอบแต่สีเปลี่ยนเป็นสีดำ ชั้นภายในชำรุดเสียหายทั้งหมดยกเว้นเส้นใยแก้วนำแสงที่ยังคงสภาพ แต่เพราะเนื่องจาก UV Acrylic ที่ห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงเสียหายทั้งหมด

5.1.2.2 ทดสอบสายต้นแบบ SFO เปลือกผลิตจาก PVC อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60331-21

ทดสอบสายต้นแบบ SFO เปลือกผลิตจาก PVC ณ ห้องปฏิบัติการ บริษัท จุรินทร์ไทย ไวร์ แอนด์ เคเบิล จำกัด (มหาชน) (CTW) ตามมาตรฐาน IEC 60331-21 เป็นการทดสอบแนวระดับ



ภาพประกอบที่ 11. ทดสอบสายต้นแบบ SFO การเผาไหม้แนวระดับ ณ โรงงาน CTW

กำหนดทดสอบระหว่างเผา 90 นาที แต่เมื่อทดสอบผ่านไป 39 นาที มีการเปลี่ยนเชื้อเพลิง และเปลวไฟทดสอบดับลง (ชั่วคราว) ระหว่างเปลี่ยนเชื้อเพลิง เครื่องมือวัด Attenuation แสดงสภาพเส้นใยแก้วนำแสงขาดจากกัน ค่า Attenuation ระหว่างทดสอบ Power change สูงสุด 0.34 dB.



ภาพประกอบที่ 12. ฝ้ายเคเบิล OFC ต้นแบบ SFO เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความเสียหายภายใน

เมื่อผ่าสายเคเบิล OFC ต้นแบบ SFO เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความเสียหายภายใน ผลการผ่าวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

- 1) เปลือกชั้นนอก (PVC Sheath) ถูกทำลายเสียหายหมด
- 2) ชั้น Armour ที่ผลิตจาก Steel Tape ยังคงสภาพและห่อหุ้ม Cable core ปกติ ด้านในเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีดำ
- 3) ชั้น E-Glass Yarn (10 เส้น) ยังคงสภาพเป็นเส้นใยปกติไม่มีการเปลี่ยนสี
- 4) ชั้น Cable Core พบว่า
 - Loose tube สีฟ้า, สีส้ม และ Filler rod ถูกหลอมละลายหมด
 - เส้นใยแก้วแตกและฉีกขาดทำให้ไม่สามารถมองเห็นเป็นรูปทรงได้
 - FRP มีการแตกตัวและเปลี่ยนเป็นสีดำ ไม่ได้คงรูปร่าง Rod เปลี่ยนสภาพเป็นเส้นใยสีขาว

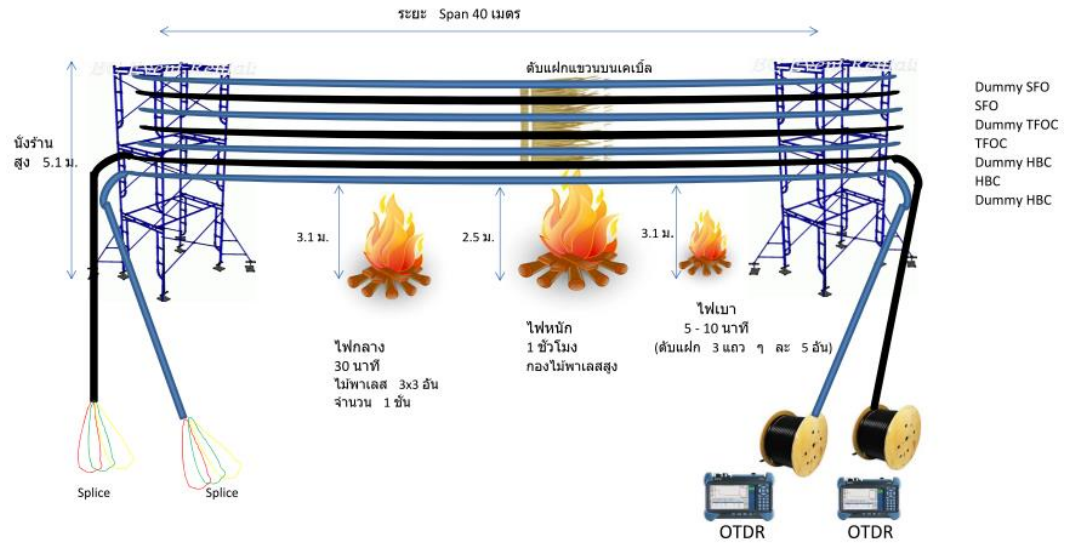
โดยสรุปผลการทดสอบสายต้นแบบ SFO เปลือกผลิตจาก PVC ณ ห้องปฏิบัติการ บริษัท CTW ได้ผลใกล้เคียงกันสายต้นแบบ HBC เปลือกผลิตจาก EVA ผลการทดสอบเผาไฟแนวระดับมีความรุนแรงกว่าแนวตั้ง แกนกลาง FRP รูปร่างเดิมเป็น Rod ทรงกลมเปลี่ยนสภาพเป็นเส้นใยฝอยสีขาว

5.2 ทดสอบการต้านทานการเผาไหม้ในสนาม จำลองสภาพคล้ายใช้งานจริง

จากปัญหามาตรฐานทดสอบการไหม้และลามไฟ สำหรับสายเคเบิล OFC ยังไม่พบมาตรฐานใด ๆ กำหนดไว้ มีเพียงสายเคเบิล OFC กลุ่มสายกระจาย (Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2 F) จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 1 F -2 F ที่เชื่อมเข้าอาคารมีการกำหนดมาตรฐานการลามไฟตาม IEC 60332-1 ซึ่งไม่ตอบโจทย์

เพื่อสร้างความเชื่อมั่นก่อนทดลองติดตั้งภาคสนาม คณะทำงานหาหรือว่าควรจำลองสภาพคล้ายใช้งานจริง โดยการแขวนความสูงระยะห่างของเสาที่จับยึดและสภาพเปลวไฟระดับต่าง ๆ จำลองสภาพเพลิงไหม้ให้คล้ายสภาพเพลิงไหม้ในพื้นที่จริง ณ โรงงาน HBC จังหวัดสิงห์บุรี

จากผังจำลองตามภาพประกอบที่ 13. ใช้นั่งร้านก่อสร้างแทนเสาไฟฟ้า ระยะห่างนั่งร้าน 40 เมตร จุดจับยึดสายเคเบิล OFC สูง 5.1 เมตร จับยึดสายเคเบิล OFC ต้นแบบของบริษัท HBC เปลือกหุ้มผลิตจากวัสดุ EVA ต้นแบบของบริษัท TFOC เปลือกหุ้มผลิตจากวัสดุ FRPE และต้นแบบของบริษัท SFO เปลือกหุ้มผลิตจากวัสดุ PVC อย่างละ 1 ตัวอย่าง พร้อมแขวนสาย Dummy ชนิด ADSS OFC และ ARSS OFC ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบ รวมตัวอย่างทดสอบ 5 ตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 13. ฟังจำลองลักษณะการแขวนสาย ความแรงของเชื้อเพลิงจำลองคล้ายของจริง



ภาพประกอบที่ 14. สนามจำลองเตรียมความพร้อมจำลองแขวนสายทดสอบสภาพใกล้เคียงปัญหาจริง

เตรียมความพร้อมกรณีเกิดเหตุสุดวิสัยขณะทำงานได้เช่ารถควบคุมเพลิงสนับสนุนเตรียมความพร้อม ติดตั้งสายเคเบิล OFC ตัวอย่างทั้ง 5 ตัวอย่างกับนั่งร้านก่อสร้าง ตัวอย่างทดสอบทุกเส้นต่ออนุกรมเส้นใยแก้วนำแสงภายในถึงกันเป็นวงจรเดียว (จำที่ปลายสายเคเบิล OFC) เพื่อตรวจวัดค่าทางแสงระหว่างการทดสอบเผาไฟ กรณีเส้นใยแก้วนำแสงเส้นใดเส้นหนึ่งขาดจะทราบผลทันที จากนั้นจำปลายสายเส้นใยแก้วนำแสงกับเครื่องมือวัด Attenuation



ภาพประกอบที่ 15. มีการเผาสิ่งเกิดและบันทึกค่าทางแสงตลอดการทดสอบ

ความแรงของเชื้อเพลิงจำลองคล้ายใช้งานจริง แบ่งความรุนแรงของเชื้อเพลิงออก 3 ระดับ

- 1) ไฟเบา เชื้อเพลิงใช้ดับเพลิง 3 แลว ๆ 5 อัน วางสุ่มรูปสี่เหลี่ยม กำหนดระยะเวลาเผาไหม้ประมาณ 5 - 10 นาที
- 2) ไฟกลาง เชื้อเพลิงใช้ไม้พาเลส จำนวน 9 อัน วางเป็นรูปสี่เหลี่ยม 3 X 3 เสริมด้วยดับเพลิงมุงหลังคา กำหนดระยะเวลาเผาไหม้ประมาณ 30 นาที
- 3) ไฟหนัก เชื้อเพลิงใช้ไม้พาเลสรูปสี่เหลี่ยมประมาณความสูงให้เปลวไฟโหมโดนสายเคเบิล OFC เสริมด้วยดับเพลิงมุงหลังคา กำหนดระยะเวลาเผาไหม้ประมาณ 60 นาที



ภาพประกอบที่ 16. ไฟหนัก เชื้อเพลิงโหมโดนสายเคเบิล OFC ตัวอย่างทดสอบสภาพคล้ายปัญหาจริง

ผลการทดสอบระดับไฟเบาและไฟกลางแทบไม่มีผลกระทบต่อตัวอย่างสายเคเบิล OFC ที่ทดสอบ ขณะทำการทดสอบเผาไฟทุกระดับความแรงของเปลวไฟขณะทำงานเผ่าดูค่าส่งผ่านสัญญาณทางแสงของเส้นใยแก้วที่ทำการทดสอบทุกเส้นพร้อมบันทึกค่าทุกช่วงเวลาตามภาพประกอบที่ 15.

เมื่อทดสอบที่ระดับไฟแรงตามภาพประกอบที่ 16. พบว่าสาย Dummy ชนิด ADSS OFC และ ARSS OFC เปลือกติดไฟและลามออกไปด้านข้าง (นอกรัศมีของเพลิงทดสอบ) ระยะเวลาผ่านไป 3 นาที สาย Dummy ชนิด ADSS OFC สัญญาณแสงที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงขาดหายไป หลังจากนั้นสายเคเบิล ADSS OFC ขาดลงพื้นตามด้วยสายตัวอย่างขาดลงพื้นหลังสาย ADSS OFC

ตารางที่ 1. ผลทดสอบระยะเวลาที่สัญญาณทางแสงขาดหายและระยะเปลือกหุ้มชำรุดเสียหาย

Cable construction	SFO (PVC)	TFOC (FRPE)	HBC (EVA)	Dummy cable (HDPE sheath)
Fiber was broken at (min.) (Attenuation signal was disconnected)	2.00	5.00	29.00	3.00
Jacket burnt length (meter)	5.43	7.13	6.20	Continuous

จากการเผาส่งเกตสายเคเบิล OFC ต้นแบบทั้ง 3 ตัวอย่าง เปลือกหุ้มภายนอกโดนเปลวไฟเผาไหม้อย่างรวดเร็ว (ระยะเวลาใกล้เคียงผลทดสอบในห้องปฏิบัติการก่อนหน้านี้) แต่เปลือกหุ้มไม่ลามออกนอกรัศมีของเพลิง สายเคเบิล OFC ต้นแบบของ SFO TFOC และ HBC ทดสอบไฟแรงผ่านไป 2, 5 และ 29 นาที สัญญาณทางแสงขาดหายไปตามลำดับรายละเอียดตามตารางที่ 1.



ภาพประกอบที่ 16. ฝ่าวิเคราะห์โครงสร้างภายในของสายเคเบิล OFC ทุกตัวอย่างหลังทดสอบเผาไฟ



ภาพประกอบที่ 17. คณะทำงานทดสอบเผาสาฯ ตัวอย่างจำลองคล้ายใช้งานจริง ณ โรงงาน HBC

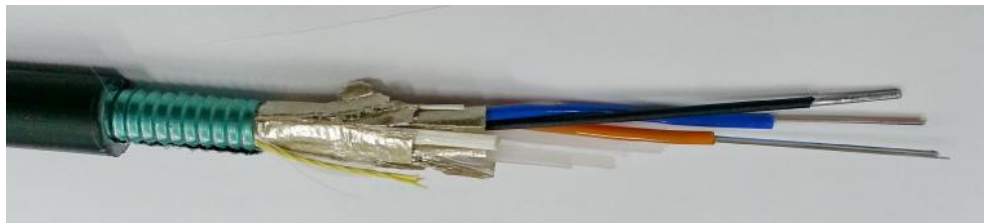
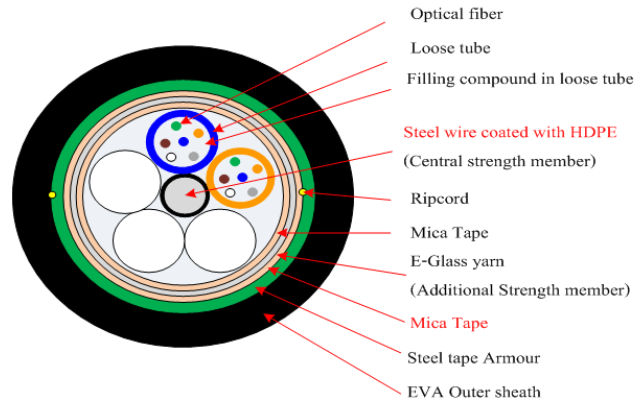
หลังผลการทดสอบภาคสนามที่จำลองพื้นที่ และสภาพปัญหาให้ใกล้เคียงเหมือนจริงมากที่สุด สรุบบื้องต้นสายเคเบิล ADSS OFC และ ARSS OFC เมื่อไหม้ไฟจะลามออกด้านข้างและสายเคเบิล OFC ขาดลงพื้นระยะเวลาอันสั้น (ประมาณ 3 - 5 นาที) ส่วนสายเคเบิล OFC ต้นแบบของ SFO TFOC และ HBC ทุกตัวอย่างทดสอบยังคงแขวนอยู่ระหว่างนั่งร้านก่อสร้างปกติไม่ขาดออกจากกัน

สายเคเบิล OFC ต้นแบบของบริษัท HBC เปลือกหุ้มผลิตจาก EVA เวลาผ่านไป 29 นาที สัญญาณทางแสงขาดหายไป ระยะเวลาสูงสุดจากรูปแบบตัวอย่างทดสอบ 3 รูปแบบ หลังผ่าวิเคราะห์โครงสร้างภายในของสายเคเบิล OFC ทุกตัวอย่างหลังทดสอบเผาไฟ แกนรับน้ำหนัก FRP โครงสร้างมีส่วนผสมของ Resin เมื่อโดนความร้อนจะละลาย โครงสร้างรวม FRP เปลี่ยนรูปเป็นเส้นใย ส่วน Water Blocking Tape (ป้องกันน้ำเข้าสายเคเบิล OFC) ผงป้องกันน้ำใน Tape ไหม้และลามไฟ

วัสดุที่นำมาผลิตเปลือกหุ้ม (EVA, PVC และ FRPE) ถูกเปลวเพลิงเผาไหม้อย่างรวดเร็วทุกวัสดุ และสามารถป้องกันการลามไฟใกล้เคียงกัน ดังนั้นต้นแบบที่จะสรุปเหลือรูปแบบเดียวการคัดเลือกวัสดุเปลือกหุ้มจะพิจารณาจากราคาเป็นหลัก ปัจจัยสำคัญที่สายเคเบิล OFC ต้นแบบของบริษัท HBC ส่งสัญญาณแสงได้ต่อเนื่องสูงสุด (29 นาที) ผลผ่าวิเคราะห์มาจากชั้น Mica Tape ทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนอย่างดี

5.3 ต้นแบบสายเคเบิล OFC ทนไฟพร้อมใช้งานจริง

ผลการทดสอบต้นแบบสายเคเบิล OFC ทั้ง 3 รูปแบบ คณะทำงานร่วมประชุมหารือเพื่อคัดเลือกรูปแบบสายเคเบิล OFC ทนไฟเพียงรูปแบบเดียว เพื่อผลิตต้นแบบและทดสอบในห้องปฏิบัติการ ก่อนทดสอบเก็บข้อมูลภาคสนามตามขั้นตอนต่อไป



ภาพประกอบที่ 18. โครงสร้างต้นแบบสายเคเบิล OFC ทนไฟพร้อมใช้งานจริง

ต้นแบบเปลือกหุ้มผลิตจาก FRPE แกนกลางรับแรงเปลี่ยนจาก FRP เป็น Steel Wire Coated with HDPE เหตุผล FRP เมื่อถูกอบด้วยความร้อนแกน FRP เปลี่ยนสภาพเป็นเส้นใยหมดสภาพ การรับแรงดึง เพิ่ม Mica Tape จากเดิมหุ้มชั้นเดียวเป็นสองชั้น และนำเอา Water Blocking Tape ออกเหตุผลผกป้องกันน้ำใน Tape ใหม่และลามไฟ ห่อหุ้มด้วย E Glass yarn แทน Aramid Yarn ด้วยเหตุผลไม่ไหม้ไฟ มอบหมายโรงงาน HBC ผลิตสายต้นแบบทดลองในห้องปฏิบัติการอีกครั้ง ก่อนทดลองติดตั้งใช้งานภาคสนาม

5.3.1 ทดลองเผาสายเคเบิล OFC ต้นแบบจำลองคล้ายปัญหาจริงในสนาม

เนื่องจากการเตรียมงานทดสอบเผาไฟสภาพคล้ายปัญหาจริงในสนามต้นทุนการดำเนินงานค่อนข้างสูง คณะทำงานจำลองสภาพเปลวไฟจากการทดลองในสนามที่ผ่านมา ตามภาพประกอบที่ 19. ต่อเนื่อง 65 นาที ผลการทดสอบใกล้เคียงกับการจำลองจริงในสนามที่ผ่านมา



ภาพประกอบที่ 19. ทดลองเผาสายเคเบิล OFC ต้นแบบด้วยเปลวไฟต่อเนื่อง 65 นาที

ผลการทดสอบต่างกันที่ทดสอบต่อเนื่อง 65 นาที สายเคเบิล OFC ต้นแบบยังสามารถส่งผ่านสัญญาณแสงได้ตามปกติ

5.3.2 ทดสอบสายเคเบิล OFC ตามมาตรฐาน IEC 60331-21

ผลการทดสอบที่ผ่านมา ความรุนแรงผลการทดสอบมาตรฐาน IEC 60332-3-24 ทดสอบแนวตั้ง มีความรุนแรงน้อยกว่ามาตรฐาน IEC 60331-21 แนวระดับ คณะทำงานจึงเลือกหัวข้อทดสอบมาตรฐานมาตรฐาน IEC 60331-21 แนวระดับเพียงหัวข้อเดียว



ภาพประกอบที่ 20. ทดลองเผาสายเคเบิล OFC ต้นแบบตามมาตรฐาน IEC 60331-21

ผลการทดสอบเมื่อครบกำหนด 90 นาที ปิดหัว Burner เผาไฟ สายเคเบิล OFC ต้นแบบยังสามารถส่งผ่านสัญญาณแสงได้ตามปกติ ค่า Attenuation ระหว่างทดสอบ Power change สูงสุด 0.41 dB . ทิ้งสายตัวอย่างอีก 10 นาที (นาทีที่ 100) ค่า Attenuation แสดงค่า 0.66 dB . (ข้อมูลจากการทดสอบการหน้เมื่อปิดหัว Burner เผาไฟประมาณ 4 นาที สัญญาณแสงขาดหายไป)



ภาพประกอบที่ 21. ทดลองเคาะสายเคเบิล OFC ต้นแบบหลังทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60331-21

ผลการทดสอบเมื่อครบกำหนด 90 นาที และปิดหัว Burner เผาไฟทิ้งไว้ 15 นาที ขณะทำงานทดลองเคาะสายเคเบิล OFC ตัวอย่าง พร้อมสังเกตค่าสัญญาณทางแสงพบว่าเคาะสายตัวอย่างด้วยไขควงด้วยความแรงครั้งที่ 5 สัญญาณแสงขาดหายไป



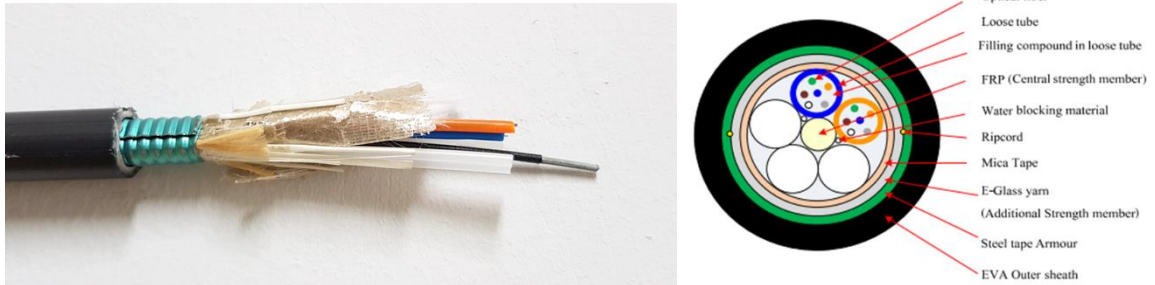
ภาพประกอบที่ 22. ผ่าวิเคราะห์โครงสร้างภายในของสายเคเบิล OFC ต้นแบบ

ภาพรวมโดยสรุปสายเคเบิล FRSS OFC (Fire Resistant Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) ต้นแบบล่าสุด เปลือกหุ้มผลิตจาก EVA แกนกลางรับแรง Steel Wire Coated with HDPE หุ้มฉนวนกันความร้อน Mica Tape สองชั้น เอา Water Blocking Tape ออก วัสดุรับแรงดึงภายในเปลี่ยนเป็น E Glass Yarn ผลการทดสอบเผาไฟและทดลองด้วยแรงกระทำจากภายนอก (เคาะสายที่ผ่านมาเผาไฟด้วยไขควง) ผ่านเกณฑ์เบื้องต้นที่คณะกรรมการกำหนดโครงสร้างตามภาพประกอบที่ 18. มีความเหมาะสมที่สุด

5.4 ทดลองสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงทนไฟ FRSS OFC ต้นแบบภาคสนาม

ผลความร่วมมือกับคณะทำงานได้ศึกษาวิจัยและออกแบบสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงทนไฟ เริ่มจากสำรวจปัญหาไฟไหม้สายเคเบิล OFC นำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดคุณสมบัติสายเคเบิล OFC ทนไฟปลายปี 2560 ผลิตต้นแบบทดสอบในห้องปฏิบัติการตามข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ ได้ต้นแบบสาย FRSS OFC ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดสอบและปรับปรุงต้นแบบสาย FRSS OFC ทนไฟซ้ำ ๆ ผ่านการพัฒนาปรับปรุงรวม 4 รุ่น จนกระทั่งปลายปี 2561 จนได้รูปแบบสาย FRSS OFC (Fire Resistant Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) ตามเป้าหมายที่กำหนด ตามภาพประกอบที่ 23.



ภาพประกอบที่ 23. ต้นแบบสาย FRSS OFC

คุณสมบัติสาย FRSS OFC สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะและไฟไหม้ได้ กรณีไฟไหม้ระยะเวลาสั้น ๆ ไม่ต้องเปลี่ยนสาย FRSS OFC ใหม่ กรณีไฟไหม้รุนแรงต่อเนื่องไม่เกิน 90 นาที สาย FRSS OFC ต้องสามารถให้บริการได้ตามปกติอย่างน้อย 7 วัน แต่ต้องมาเปลี่ยนสาย FRSS OFC ช่วงที่โดนไฟไหม้รุนแรงช่วงนี้

คัดเลือกจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่มีปัญหาเรื่องไฟไหม้สายเคเบิล OFC อย่างรุนแรงช่วงหน้าแล้งทุกปี โดยประสานงาน นายเพลิน วงศ์ผืน ผู้จัดการส่วนบริการลูกค้าจังหวัดแม่ฮ่องสอน (ผส.บจน.3.1 (มส.)) ขอทดลองติดตั้งสาย FRSS OFC ขนาด 60 F ระยะทาง 100 กิโลเมตร ทีมโทรศัพท์จังหวัดแม่ฮ่องสอนคัดเลือกเส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย” ระยะทาง 33 กิโลเมตร และเส้นทาง “แม่ลาน้อย-ขุนยวม” ระยะทาง 67 กิโลเมตร

เมื่อได้สนามทดลองภาคสนามจังหวัดแม่ฮ่องสอน หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำเสนอของบประมาณเพื่อผลิตสาย FRSS OFC พร้อมขออนุมัติงบประมาณในการติดตั้งเส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย-ขุนยวม” จำนวน 6,400,000 บาท (หกล้านบาทถ้วน) ไม่รวม Vat



ภาพประกอบที่ 24. คณะทำงานติดตั้งสาย FRSS OFC พื้นที่ทดลอง

ติดตั้งสาย FRSS OFC ต้นแบบ ณ จังหวัดแม่ฮ่องสอนเดือนธันวาคม 2561 แล้วเสร็จเดือน กุมภาพันธ์ 2562 โครงการทดลองครั้งนี้ส่งผลิตสาย FRSS OFC จากบริษัท HBC และบริษัท SJP (เอส เจ พี เทคโนโลยี จำกัด) สนับสนุนหัวต่อ OFC ทั้งโครงการ 100 กิโลเมตร คณะทำงานวิจัยขออนุญาต ขึ้นมาสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลการติดตั้งระหว่างวันที่ 14 ถึง 18 มกราคม 2562 ตามภาพประกอบที่ 24. ทั้งนี้สาย FRSS OFC วิธีการติดตั้งและอุปกรณ์ประกอบเหมือนสาย ARSS OFC



ภาพประกอบที่ 25. ได้แนวสายเคเบิล OFC พบซากสายเคเบิล OFC ที่โดนไฟไหม้จำนวนมาก

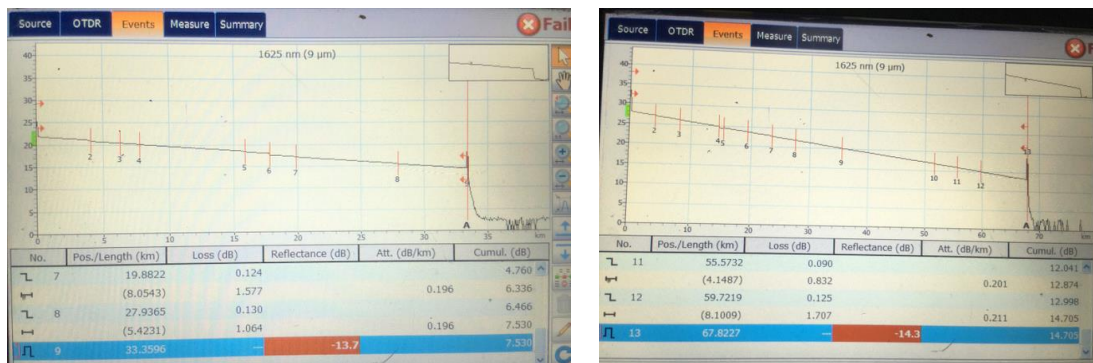


ภาพประกอบที่ 26. จุดพักสาย FRSS OFC เพื่อสะดวกในการติดตั้งและระยะห่างเสาไฟฟ้า

ผลสำรวจเส้นทางติดตั้งสาย FRSS OFC เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย-ขุนยวม” สังกัด ใต้แนวสายเคเบิล OFC พบซากสายเคเบิล OFC ที่โดนไฟไหม้จำนวนมาก สอบถามผู้รับเหมาและ พนักงานในพื้นที่ทราบว่าเส้นทางนี้มีผู้ให้บริการสื่อสารหลายราย เมื่อไฟไหม้ใต้แนวสายเคเบิล OFC เส้น

นี้สายเคเบิล OFC ทุกเส้นชำรุดเสียหายทั้งหมดและมักเกิดซ้ำจากจุดเดิม แนวทางแก้ปัญหาผู้ให้บริการสื่อสารในพื้นที่ร่วมหารือเพื่อทำแนวป้องกันไฟไหม้ได้แนวสายเคเบิล OFC สามารถลดปัญหาได้ระดับหนึ่ง

สภาพภูมิประเทศเส้นทางติดตั้งสาย FRSS OFC เป็นเนินเขา เสื่อไฟฟ้าปักขนานคดเคี้ยวโค้งไปตามแนวถนน บางช่วงที่ผ่านเนินเขาที่ถนนคดเคี้ยวมากการไฟฟ้าจะปักเสื่อเป็นแนวตรงข้ามเนินเขา ณ จุดนั้น บางช่วงต้องปักเสื่อไฟฟ้าคู่เพื่อรับแรงดึงระหว่างช่วงเสื่อซึ่งช่วงระยะห่าง 250 ถึง 300 เมตร การติดตั้งสาย FRSS OFC มาตรฐาน 1 ระวังยาว 4,000 เมตร ผู้รับเหมาต้องพักสายเคเบิล OFC เป็นรูปเลข 8 เป็นระยะ ๆ เพื่อความสะดวกในการติดตั้งตามภาพประกอบที่ 26.



ภาพประกอบที่ 27. เครื่องวัด OTDR แสดงระยะและค่า Loss เส้นทางติดตั้งสาย FRSS OFC

หลังติดตั้งสาย FRSS OFC เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย” ระยะทาง 33 กิโลเมตร และเส้นทาง “แม่ลาน้อย-ขุนยวม” ระยะทาง 67 กิโลเมตร ขั้นตอนตรวจรับต้องส่งมอบงานโดยตรวจวัดโครงข่ายสาย FRSS OFC ด้วยเครื่องวัด OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) ผลค่า Loss รวมผ่านมาตรฐานทั้ง 2 เส้นทางตามภาพประกอบที่ 27.

สรุปนำผลการศึกษาข้อมูลปัญหาไฟไหม้สายเคเบิล OFC มาวิเคราะห์พร้อมผลิตต้นแบบสาย FRSS OFC รวม 4 รุ่นจนกระทั่งได้ต้นแบบตามเป้าหมายที่กำหนด คุณสมบัติสาย FRSS OFC สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะและไฟไหม้ กรณีไฟไหม้รุนแรงต่อเนื่องไม่เกิน 90 นาที สาย FRSS OFC ต้องสามารถให้บริการได้ตามปกติอย่างน้อย 7 วัน พร้อมประสานงานจังหวัดแม่ฮ่องสอนติดตั้งสาย FRSS OFC เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย-ขุนยวม” รวมระยะทาง 100 กิโลเมตร เพื่อเก็บข้อมูลว่าสามารถป้องกันหรือลดปัญหาไฟไหม้สายเคเบิล OFC ลงได้หรือไม่

5.4.1 ผลการดำเนินงาน

สาย FRSS OFC ติดตั้งไปได้ระยะเวลาหนึ่งจังหวัดแม่ฮ่องสอนประสานมายังคณะทำงานแจ้งว่ามีเหตุไฟไหม้ได้แนวสายเคเบิล OFC เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย” วันที่ 1 มีนาคม 2562 และประมาณกลางเดือนมีนาคม 2562 อีก 2 จุด (รวม 3 จุด) สาย FRSS OFC สามารถให้บริการต่อเนื่อง

เมื่อวัดค่า Loss ด้วยเครื่องวัด OTDR พบว่าค่า Loss เพิ่มขึ้น 1-2 dB. ขณะที่สายเคเบิล OFC ของผู้ให้บริการรายอื่นชำรุดเสียหายทั้งหมด และเส้นทาง “แม่ลาน้อย-ขุนยวม” ไม่ล้มทับเส้นทางนี้ผู้ให้บริการทุกรายรวมทั้งสาย FRSS OFC ชำรุดเสียหายทั้งหมด



ภาพประกอบที่ 28. สาย FRSS OFC เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย” ที่โดนไฟไหม้จุดแรก

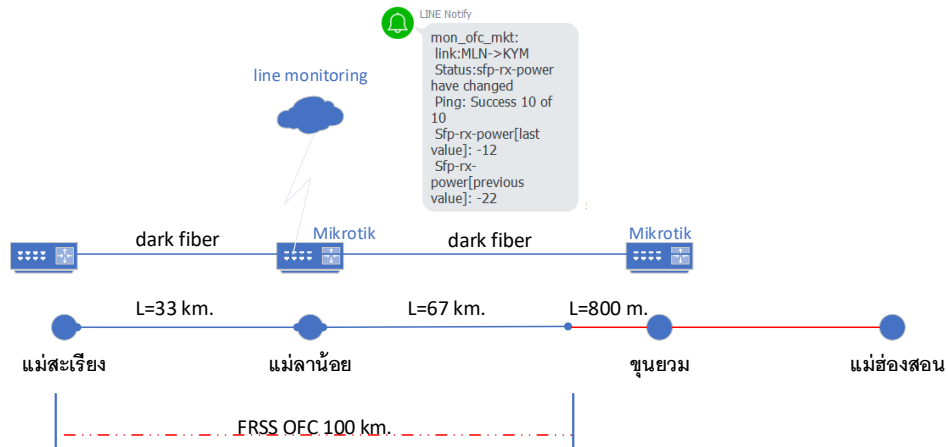
เป้าหมายที่กำหนดคุณสมบัติสาย FRSS OFC ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการกำหนดกรณีไฟไหม้รุนแรงต่อเนื่องไม่เกิน 90 นาที สาย FRSS OFC ต้องสามารถให้บริการได้ตามปกติอย่างน้อย 7 วันนั้น เนื่องจากทดลองติดตั้งใช้งานครั้งนี้เป็นข้อมูลการใช้งานภาคสนามครั้งแรก ยังไม่เคยมีการติดตั้งใช้งานพื้นที่ใดมาก่อน ผลรวมหารือกับจังหวัดแม่ฮ่องสอนเห็นควรเผื่อสำรองสาย FRSS OFC ที่ถูกไฟไหม้ทั้ง 2 จุด (ยังไม่ซ่อมเปลี่ยนสายเคเบิลฯ ใหม่) และรีบบำรุงระบบ Alarm มาติดตั้งเพื่อเผื่อสำรอง

ผลการทดสอบเผาต้นแบบสาย FRSS OFC ในห้องปฏิบัติการด้วยอุณหภูมิ 750°C ต่อเนื่อง 90 นาทีค่า Loss รวมสูงสุด 1.6 dB. (ค่า Loss 1 จุด) แต่ค่าค่า Loss เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย” ที่ไฟไหม้ถึง 3 จุดค่า Loss เพิ่มขึ้น 1-2 dB. เท่านั้น เมื่อติดตั้งระบบ Alarm ที่แจ้งผลผ่าน Line คณะทำงานทั้งหมดสามารถเพื่อเผื่อสำรองค่า Loss ว่ามีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่แยกลงหรือไม่

คณะทำงานขออนุญาตขึ้นมาสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลจุดที่โดนไฟไหม้ จุดที่ไม่ล้มทับพร้อมติดตั้งระบบ Alarm ระหว่างวันที่ 11 ถึง 16 พฤษภาคม 2562 พร้อมประสานงาน นางกุลธิดา นาคะพินธุ ผู้จัดการฝ่ายขายและบริการลูกค้าภาคเหนือที่ 1 (ผจก.ภน.3.1) ขออนุญาตนำเสนอผลการใช้งานสาย FRSS OFC ณ พื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน ผ่านระบบประชุมทางไกล (VDO Conference) ไปยังสังกัด ภน. 3.1 และ ภน.3.2 วันอังคารที่ 14 พฤษภาคม 2562

คณะทำงานจัดส่งอุปกรณ์ Mikrotik ระบบ Alarm ให้จังหวัดแม่ฮ่องสอนก่อนจะขึ้นมาเก็บข้อมูล ทีมจังหวัดแม่ฮ่องสอนได้ติดตั้งระบบ Alarm ตามผังภาพประกอบที่ 29. โดยให้ชุมสายแม่ลาน้อย

เป็นศูนย์กลางในการรายงานผลผ่านระบบ Line เมื่อค่า Loss เส้นทางการนั้น ๆ เปลี่ยนแปลงมากกว่า 1 dB. ทั้งนี้ค่า Loss ที่เปลี่ยนแปลงเพื่อรายงานผลสามารถกำหนดได้ตามความต้องการ

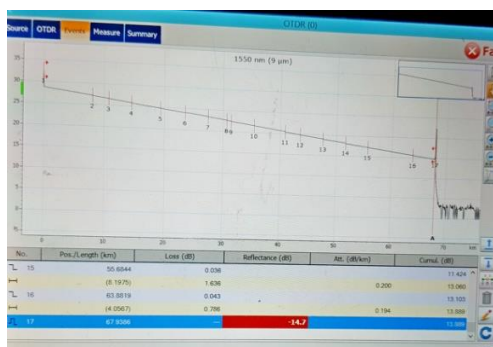


ภาพประกอบที่ 29. ผังการติดตั้งระบบ Alarm เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย-ขุนยวม”



ภาพประกอบที่ 30. ทดสอบระบบ Alarm ชุมสายแม่สะเรียง แม่ลาน้อยและขุนยวม”

ทดสอบระบบ Alarm ว่าสามารถทำงานได้เป้าหมายที่กำหนด วันจันทร์ที่ 13 พฤษภาคม 2562 เดินทางไปยังชุมสายแม่สะเรียง ชุมสายแม่ลาน้อยและชุมสายขุนยวม โดยสร้างค่า Loss ที่สาย Patch code หน้า SFP ก่อนเข้าอุปกรณ์ Mikrotik ตามภาพประกอบที่ 30. ผลการทดสอบระบบ Alarm แจ้งค่า Loos ที่เพิ่มขึ้นทั้ง 3 ชุมสาย



ภาพประกอบที่ 31. วัดค่า Loss โครงข่ายสาย FRSS OFC นำมาเปรียบเทียบกับแบบแผนข่ายสาย

ชุมสายแม่ลำน้อย กำหนดเป็นจุดศูนย์กลางของระบบ Alarm พร้อมวัดค่า Loss โครงข่าย สาย FRSS OFC ด้วยเครื่องวัด OTDR จากชุมสายแม่ลำน้อยไปยังชุมสายทั้ง 2 ด้าน นำค่า Loss ที่วัด ได้มาเทียบกับแบบแปลนข่ายสายว่าค่า Loss ใดที่ปรากฏเป็นค่าที่ตำแหน่งหัวต่อเคเบิลหรือเป็นค่า Loss ที่เพิ่มขึ้นมาใหม่จากหัวต่อที่เพิ่มขึ้น จากจุดไฟไหม้สาย FRSS OFC หรือปัจจัยอื่น ๆ

เส้นทางแม่ลำน้อยไปแม่สะเรียง พบว่า Loss เพิ่มขึ้น 3 จุด

- ระยะประมาณ 15 กิโลเมตร เจอค่า Loss เพิ่มขึ้น 0.3 dB.
- ระยะประมาณ 17 กิโลเมตร เจอค่า Loss เพิ่มขึ้น 0.4 dB.
- ระยะประมาณ 19 กิโลเมตร เจอค่า Loss เพิ่มขึ้น 0.7 dB.

เส้นทางแม่ลำน้อย ไปขุนยวม พบว่า Loss เพิ่มขึ้น 2 จุด (ตำแหน่งหัวต่อที่ตัดซ่อม)

- ที่ระยะประมาณ 30 กิโลเมตร เจอค่า Loss เล็กน้อยจากหัวต่อที่ตัดซ่อมด้วยสาย ARSS OFC ระยะ 200 เมตร

กราฟจากเครื่องวัด OTDR นำค่า Loss ที่ระบุระยะทางมาเปรียบเทียบกับแบบแปลนข่าย สาย ก่อนออกสำรวจเส้นทางแม่ละน้อยแม่สะเรียง ซึ่งได้รับแจ้งจากทีมจังหวัดแม่ฮ่องสอนว่ามีเหตุไฟไหม้เมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2562 ที่ผ่านมา Link เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลำน้อย” ระยะทาง 33 กิโลเมตร ยังใช้งานได้ตามปกติขณะที่สายเคเบิล OFC ที่แขวนเส้นทางเดียวกันนี้เสียหายทั้งหมด



ภาพประกอบที่ 32. ตำแหน่งไฟไหม้สาย FRSS OFC จุดแรกของโครงการนี้

ตำแหน่งไฟไหม้เมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2562 ที่ผ่านมา สภาพภูมิประเทศเป็นเนินเขาลาดเอียง ระยะห่าง (Span) ช่วงเสาประมาณ 300 เมตร เนื่องจากระยะห่างช่วงเสาไกลมากการไฟฟ้าได้ปักเสาไฟคู่ 2 เสาเพื่อรับแรงดึงของสาย จากระยะห่างระหว่างช่วงเสาสาย FRSS OFC ตำแหน่งตรงกลางที่ตกห้อง

ข้าง (Sag) วางราบกับพื้นดินประมาณ 5-10 เมตร (ก่อนไฟไหม้สาย FRSS OFC ลอยห่างพื้นดินประมาณ 30 เซนติเมตร)

สาย FRSS OFC จุดที่ถูกไฟไหม้เปลือกหุ้มภายนอกหายไปประมาณ 20-40 เซนติเมตร 3 จุด สังเกตเปลือกหุ้มไม่มีการลามไฟเมื่อเปรียบเทียบกับเศษซากสายเคเบิล OFC จำนวนมากที่ชำรุดเสียหาย เปลือกหุ้มลามไฟ ณ จุดที่เกิดเหตุไฟไหม้ไปซ้าย-ขวา มากกว่า 10 เมตร ตำแหน่งนี้เฝ้าระวังผ่านระบบ Alarm ว่าค่า Loss โครงข่ายมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่เพื่อเก็บข้อมูล (วันที่เก็บข้อมูลสายถูกไฟไหม้มาแล้ว 2 เดือน 14 วัน)



ภาพประกอบที่ 33. ตำแหน่งเสาไฟฟ้าที่ระบบไฟฟ้าบกพร่องเกิดประกายไฟไหม้มากจากแกนเสา

สำรวจตำแหน่งไฟไหม้จุดที่ 2 ห่างจากจุดแรกไปทางชุมสายแม่สะเรียง 3 กิโลเมตร สภาพภูมิประเทศเป็นเนินเขาเตี้ย ๆ ช่วงเสาห่างประมาณ 40 เมตร บนยอดเสาไฟฟ้าเป็นจุดเชื่อมสายระบบสายส่งไฟฟ้าจากสายเปลือยมาเป็นสายหุ้มฉนวน ทราบจากทีมจังหวัดแม่ฮ่องสอนสาเหตุไฟไหม้เกิดจากระบบไฟฟ้าบกพร่อง สายเคเบิล OFC ทุกเส้นที่ติดตั้งบนเสาไฟฟ้าต้นนี้ถูกไฟเผาไหม้ร่วงจากเสาไฟฟ้าทั้งหมด ยกเว้นสาย FRSS OFC ปรากฏคราบเขม่าดำที่เปลือกหุ้มแต่สภาพของเปลือกหุ้มปกติ ตำแหน่งนี้เกิดเหตุไฟไหม้มาประมาณเดือนเศษตามภาพประกอบที่ 33.



ภาพประกอบที่ 34. ต้นไม้ล้มกีดขวางถนนและทับสาย FRSS OFC ชำรุดเสียหาย

เส้นทาง “แม่ลาน้อย-ขุนยวม” ได้รับแจ้งจากทีมจังหวัดแม่ฮ่องสอนเกิดเหตุต้นไม้ล้มกีดขวางถนนและล้มทับสายทำให้เสาล้ม สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งบนเสาไฟฟ้าต้นนั้นชำรุดเสียหายทั้งหมด สาย

FRSS OFC เปลือกหุ้มฉีกขาดแต่ส่งสัญญาณได้ตามปกติ สันนิษฐานว่าอาจมีสายเคเบิล OFC เส้นอื่นที่อยู่ด้านบนรับแรงกระแทกจากต้นไม้ก่อน (สายเคเบิล OFC แขนงเป็นกลุ่ม) ตามภาพประกอบที่ 34.



ภาพประกอบที่ 35. ต้นไม้ล้มทับสาย FRSS OFC ชำรุดเสียหาย

คืนวันที่ 15 พฤษภาคม 2562 ทีมจังหวัดแม่ฮ่องสอนแจ้งสาย FRSS OFC เส้นทางแม่ลา น้อยไปขุนยวม Link ขาดการติดต่อสำรวจพบต้นไม้ล้มทับต้องตัดซ่อมช่วงนี้ใหม่ เนื่องจากสาย FRSS OFC แขนงในตำแหน่งสูงสุดของเสาไฟฟ้าช่วงนี้รับแรงกระแทกเป็นเหตุให้สาย FRSS OFC ชำรุดขาดออกจากกัน แต่สายเคเบิล OFC เส้นอื่น ๆ ไม่ชำรุดเสียหาย ลักษณะต้นไม้และสาย FRSS OFC ที่ชำรุดตามภาพประกอบที่ 35.

5.4.2 สรุปผลการทดลองติดตั้งสาย FRSS OFC พื้นที่ภาคเหนือ

ผลการติดตั้งใช้งานสาย FRSS OFC คณะทำงานขออนุญาตขึ้นมาสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลจุดที่ โดนไฟไหม้และขอเสนอผลการใช้งานสาย FRSS OFC ณ พื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน วันอังคารที่ 14 พฤษภาคม 2562 ผ่านการประชุมทางไกล (VDO Conference) ไปยังพื้นที่ภาคเหนือ

นางกุลธิดา นาถะพินธุ ผจก.ภน.3.1 เป็นประธานที่ประชุมจากจังหวัดแม่ฮ่องสอน ไปยัง จังหวัดพิษณุโลก จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดอุดรดิตถ์ จังหวัดสุโขทัย จังหวัดตาก จังหวัด ลำพูน และจังหวัดน่าน (รวม 10 จังหวัด) การนำเสนอให้ห้องประชุมได้แบ่งหัวข้อในการนำเสนอ ดังนี้

- 1) ความเป็นมาของโครงการ ผลการใช้งานสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงทไฟ FRSS OFC ณ สนามทดลองจังหวัดแม่ฮ่องสอน 100 กิโลเมตร โดยตัวแทนผู้ผลิตสายในประเทศ
- 2) การเก็บทำลายเศษสายเคเบิล OFC โดยตัวแทนบริษัท SCG
- 3) ระบบ Alarm และโปรแกรมสนับสนุนพนักงานซ่อมบำรุง FTTx โดยคณะทำงาน บริษัท ทีไอที

- ตัวแทนจากราชบุรี(นายพิสันต์ พงษ์ไชยโสภณ บกภ.1.2(รบ.))
- ตัวแทนจากกาญจนบุรี (นายปกรณ์ มิตรางกูร บกภ.1.2(กญ.))
- ตัวแทนจากขอนแก่น (นายจักรพันธ์ โชติมนิธรรม วภน.2)



ภาพประกอบที่ 36. ห้องประชุมจังหวัดแม่ฮ่องสอนประชุมทางไกลไปยังพื้นที่ภาคเหนือ

ดังนี้

หลังนำเสนอที่ประชุมเปิดให้มีการซักถาม สรุปสาระสำคัญจากการซักถามในที่ประชุมได้

- 1) สาย FRSS OFC ผลการใช้งานสามารถลดปัญหาสายเคเบิล OFC เสียหายจากไฟไหม้ อย่างเป็นรูปธรรม
- 2) เพื่อความสะดวกในการจัดซื้อจัดหา ให้รีบออกข้อกำหนดสาย FRSS OFC
- 3) ราคาสาย FRSS OFC ปัจจุบันมีราคาสูง ขอให้คณะทำงานและผู้ผลิตลดราคาหรือหาแนวทางพัฒนาให้ราคาต่ำลง
- 4) ผจก.ภน.3.1 มอบนโยบายให้ผู้เกี่ยวข้องสำรวจโครงข่ายที่มีปัญหา เมื่อสรุปนำเสนอหาแนวทางจัดซื้อจัดหาสาย FRSS OFC มาใช้งาน ณ จุดเสี่ยงไฟไหม้
- 5) การใช้งานสาย FRSS OFC ควรแบ่งเป็น “ติดตั้งทั้งเส้นทาง” หรือ “ติดตั้งเฉพาะจุดที่มีความเสี่ยง”
- 6) ควรผลักดันให้รับนำสาย FRSS OFC มาใช้งาน ณ จุดเสี่ยงไฟไหม้อย่างเร่งด่วน
- 7) โครงข่ายที่ติดตั้งสาย FRSS OFC ต้องมีระบบ Alarm
- 8) ระบบ Alarm ควรแจ้งระยะขาดได้เหมือนเครื่องวัด OTDR



ภาพประกอบที่ 37. คณะทำงานร่วมถ่ายรูป ณ ห้องประชุมจังหวัดแม่ฮ่องสอน

สรุปสาย FRSS OFC สามารถลดปัญหาโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงเสียหายจากไฟไหม้จาก ไฟป่า ไฟลามทุ่ง หรือไฟไหม้จากสภาพภูมิประเทศที่ติดตั้งได้อย่างเป็นรูปธรรม การติดตั้งกับเสาไฟฟ้าไม่ ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ คุณสมบัติสาย FRSS OFC สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะและไฟไหม้ได้ กรณีไฟไหม้ ระยะเวลาสั้น ๆ ไม่ต้องเปลี่ยนสาย FRSS OFC ใหม่ กรณีไฟไหม้รุนแรงต่อเนื่องไม่เกิน 90 นาที สาย FRSS OFC ต้องสามารถให้บริการได้ตามปกติอย่างน้อย 7 วัน (สาย FRSS OFC หลังเกิดเหตุไฟไหม้ใช้ งานผ่านมาแล้ว 2 เดือน 14 วันค่า Loss ยังปกติ) ภาพรวมบรรลุผลตามที่กำหนด แต่ต้องปรับปรุงเรื่อง ราคา ออกข้อกำหนดมาตรฐานกลางและระบบ Alarm ที่แจ้งระยะสายขาดได้ด้วย

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลความร่วมมือระหว่าง บริษัท ทีโอที จำกัด มหาชน (TOT) ร่วมกับผู้ผลิตสายเคเบิล OFC ประเทศไทย 3 บริษัท คือ บริษัท เอชบีซี เทเลคอม จำกัด (HBC) บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC) บริษัท สยามไฟเบอร์ ออปติกส์ จำกัด (SFO) และผู้เชี่ยวชาญด้านวัตถุดิบในประเทศไทย บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ ในเครือปูนซีเมนต์ไทย (SCG) ร่วมออกแบบสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงทนไฟ FRSS OFC (Fire Resistant Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) ซึ่งมีโครงสร้าง คล้ายสาย ADSS OFC และสาย ARSS OFC

การรับแรงทางกลแบบทำลาย ($\leq 4,500$ นิวตัน) การรับแรงการใช้งานปกติ (1,800 นิวตัน) เท่ากับสาย ADSS OFC หลังการทดสอบในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน IEC 60332-3-24, IEC 60331-21 ที่ใช้ทดสอบสายไฟฟ้าเป็นมาตรฐานอ้างอิง และสนามจำลอง ผ่านเกณฑ์เบื้องต้นที่คณะทำงานกำหนด คือ

- 1) เมื่อสาย FRSS OFC โดนไฟไหม้อย่างรุนแรง ต้องสามารถให้บริการต่อเนื่องอีกอย่างน้อย 7 วัน
- 2) กรณีสาย FRSS OFC โดยไฟไหม้เล็กน้อย (สังเกตจากความเสียหายของเปลือกหุ้ม) ต้องสามารถใช้งานต่อเนื่องได้ตามปกติ

บริษัท ทีโอที มอบหมายให้สถาบันนวัตกรรม ทีโอที และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องร่วมมือกับผู้ผลิตสายเคเบิล OFC และผู้จำหน่ายวัตถุดิบภายในประเทศ ร่วมศึกษาวิจัยสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงทนไฟมีบริษัทเข้าร่วมโครงการ 5 บริษัท ได้ออกแบบสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงทนไฟ FRSS OFC (Fire Resistant Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) สายเคเบิล FRSS OFC ผ่านการทดสอบในห้องปฏิบัติการตามเป้าหมายที่กำหนด

เพื่อความสมบูรณ์ในการศึกษาวิจัย ได้ประสานงานจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่มีปัญหาไฟไหม้สายเคเบิล OFC ช้ำซากทุกปี ขอทดลองติดตั้งสาย FRSS OFC ขนาด 60 F ระยะทาง 100 กิโลเมตร เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย” ระยะทาง 33 กิโลเมตร และเส้นทาง “แม่ลาน้อย-ขุนยวม” ระยะทาง 67 กิโลเมตร งบประมาณรวม 6,400,000 บาท (หกล้านบาทถ้วน) ไม่รวม Vat

เริ่มติดตั้งสาย FRSS OFC เดือนธันวาคม 2561 แล้วเสร็จเดือนกุมภาพันธ์ 2562 โครงการทดลองครั้งนี้สั่งผลิตสาย FRSS OFC จากบริษัท HBC และบริษัท SJP (เอส เจ พี เทคโนโลยี จำกัด) สนับสนุนหัวต่อ OFC นำแสงทั้งโครงการ 100 กิโลเมตร

หลังติดตั้งใช้งานได้รับแจ้งจากพื้นที่ว่าเกิดเหตุไฟไหม้สาย FRSS OFC วันที่ 1 มีนาคม 2562 เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย” สายเคเบิล OFC ทุกเส้นบนเสาไฟฟ้าที่ติดตั้งร่วมกันเสียหายทั้งหมด ยกเว้นสาย FRSS OFC ยังใช้งานได้ตามปกติ (วันที่เก็บข้อมูลสายถูกไฟไหม้มาแล้ว 2 เดือน 14 วัน) สรุปลาย FRSS OFC ไฟไหม้ 3 จุด (ยังสามารถใช้งานต่อได้ตามปกติ) เสาล้มทับ 2 จุด (เสียหายต้องตัดซ่อมใหม่)

ภาพรวมโดยสรุปสายเคเบิล FRSS OFC ที่คณะทำงานร่วมศึกษาวิจัย เก็บข้อมูลภาคสนาม นำข้อมูลมาวิเคราะห์พร้อมผลิตต้นแบบหลาย ๆ รูปแบบทดสอบในห้องปฏิบัติการจนได้ต้นแบบที่เหมาะสม นำต้นแบบที่ได้ทดสอบในห้องปฏิบัติการซ้ำ ๆ จนได้ผลการทดลองที่ชัดเจน คณะทำงานประสานพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนทดลองติดตั้งสายเคเบิล FRSS OFC ขนาด 60 F ระยะทาง 100 กิโลเมตร เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย” ระยะทาง 33 กิโลเมตร และเส้นทาง “แม่ลาน้อย-ขุนยวม” ระยะทาง 67 กิโลเมตร งบประมาณรวม 6,400,000 บาท

ผลการทดลองได้ผลตามเป้าหมายที่กำหนด จากผลการวิจัยคณะทำงานได้ประสานงานผู้เกี่ยวข้องที่ออกมาตรฐาน ของ บริษัท ทีโอที Spec No. OES-004-058-01 “Fire Resistant Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable (FRSS OFC)” [6] พร้อมจัดซื้อจัดหาใช้งานภายในองค์กร

คณะกรรมการวิจัยฯ

บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน)

สถาบันนวัตกรรม ทีโอที (นฐ.)

นายณฤทธิ์สมเจริญ สำเภาพล	นายสุวันชัย เจริญนนทวัฒน์	นายถนอมศักดิ์ แก้วสกุณี
นายไพศาล แข่งเจริญ	นายดิเรก เย็นนภา	นายดำรงห์ ตรีจรรยา
นายกิตติโชค บุญชัยยะ	นายชัยฤทธิ์ ศรีดาวงษ์	ว่าที่ร้อยตรีชัชวาล จันทรงกุล
นายประกิจ รักชีพ	นายกฤต ศรีวิลาศ	นายทัฬหเทพ โชคชัยวิศิษฐ์
นางปิ่นนพร รักชีพ	นายรณยุทธ ประเสริฐประศาสน์	นายทัศไนย เลานวัฒนา
นายสรรเสริญ ทรงเผ่า	นายศักดิ์สิทธิ์ จิระเสวี	นายทรงพล สงวนรัตน์

โทรศัพท์จังหวัดราชบุรี (บบภ.1.1 (รบ.))

นายพิสันต์ พงษ์ไชยโสภณ	นายกวี จะเกร็ง	นายปรารถนา โพธารมย์
------------------------	----------------	---------------------

โทรศัพท์จังหวัดแม่ฮ่องสอน (บภน.3.1 (มส.))

นายเพลิน วงศ์ฝั้น	นายจักรินทร์ ไวยเขตกรณ์	นายสามารถ พงษ์อุทธา
นายณัฐวุฒิ เวียงโอสถ	นายกฤษฏา ตาคำวัน	นายณัฐพงศ์ มณีวัฒนพร
นายธนระรัตน์ ปินใจ	นายศรชัย พงษ์ธรรมชาติ	นายทองแดง กำลาภยศ
นายสุทธวีร์ สันติกรรม	นายพชรพล หล้าบุตร	นายคณวัฒน์ บุรีรักษ์เขต
นายเจษฎากันต์ จันทร์โอภาส	นายอำนาจ พิทักษ์จันทรา	นายอินทร พิทักษ์จันทรา
นายณัฐกานต์ เมืองวงศ์	นายภาณุพงษ์ ปัญญาวรลักษณ์	

โทรศัพท์จังหวัดกาญจนบุรี (บกภ.1.2 (กจ.))

นายปกรณ์ มิตรางกูร	นายยุทธศักดิ์ ชุนแสน
--------------------	----------------------

ส่วนวิศวกรรมโทรคมนาคมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (วภน.2)

นายจักรพันธ์ โชติมนิธรรม

ส่วนพัฒนาโทรศัพท์ประจำที่และบรอดแบนด์ (พพบ.)

นายพิพัฒน์ จงรักวิทย์	นายพีรพงษ์ นิยมสินธุ์	นายกนกศักดิ์ อารังลักษณ์รัตน์
นายรัตน์นะ มั่งมุล	นายพรหมเทพ ว่องวัฒนวิบูลย์	

หน่วยงานภายนอก บริษัท ทีไอที

บริษัท สยาม ไฟเบอร์ ออปติกส์ จำกัด

นายวิจิต ทัพย์ผั่น	นายสันติ พูลเสมอ	นายทินกร นิวันติ
นางสาธิตา ผดุงเพชร	นายมูชา มูอำหมัด	

บริษัท เอชบีซี เทเลคอม จำกัด

นายอำนาจ เกิดศรี	นายนาวิ จ่างสกุล	นายสุรศักดิ์ ศรีจันทร์ดี
นายอภิชา วรรณศิริ	นายกิตติ ก้อนทอง	นายจรูญ กิ่งจำปา

บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด

นายสุรินทร์ ดุงโคกกรวด	นายอรุพงษ์ จันทร์เสมอ	นายกิตติศักดิ์ คชภักดี
นายสุเมธ พิศเพ็ง	นายมนตรี พรหมทอง	

ธุรกิจเคมิกอลส์ เอสซีจี

นายสุรชัย ภัคต์วิไลเกียรติ	นางสาวธนวรรณ คลังธนบุรณ์	นายณัฐวุฒิ วิวัฒน์เจริญชัย
นางสาวพิมพ์า สุวรรณพุกษา	นายกิตติชิน ปลั่งพงษ์พันธ์	นางสาวเยาวมาลย์ อังกิจไพบูลย์
นางสาวปิยนุช เหลืองไตรรัตน์	นางสาวพรทิพย์ ตั้งจาริตสกุล	นางสาววไลลักษณ์ กำปันทอง
นายวิวัฒน์ ศรีประไพ	นายถวิวัฒน์ ก้อนคำ	นางสาววาริรมย์ พลรัตน์
นางสาวศุภานัน สมโลก	นายสุชาติ ปันหยัด	นายปิยะวัฒน์ ศุภศรีรุ่งเจริญ
นายธนากร รวิศุทธิ์	นายประกอบ จินตามณีพล	

บริษัท เอส เจ พี เทคโนโลยี จำกัด

นายเจษฎา เลิศวารีเวช	นายตุลย์ ศิริวงศ์	นายภคพล เลิศวารีเวช
นายพฤกษ์ ศักดิ์เจริญยิ่ง		

ที่ปรึกษาโครงการวิจัยฯ

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. นายเทพธีระ เพชรรัตน์ | ผู้จัดการสถาบันนวัตกรรมทีไอที |
| 2. นางกุลธิดา นาคะพินธุ | ผู้จัดการฝ่ายขายและบริการลูกค้าภาคเหนือที่ 1 |
| 3. นายสมคิด พยุงวัฒนา | ผู้จัดการฝ่ายสื่อสาร |
| 4. นายเกรียงเดช ลิ้มปอารยะกุล | ผู้จัดการฝ่ายขายและบริการลูกค้าภาคกลางที่ 2 |
| 5. นายสุรชต์ เพิ่มพูลผลิตผล | ผู้จัดการส่วนปฏิบัติการเคเบิลใยแก้วนำแสงภูมิภาคพื้นที่ 1 |
| 6. นายเลิศศักดิ์ พลธงชัยสวัสดิ์ | ผู้จัดการส่วนพัฒนาโทรศัพท์ประจำที่และบรอดแบนด์ |
| 7. นายสมพงษ์ น้อมนำทรัพย์ | โทรศัพท์จังหวัดราชบุรี |
| 8. นายกานต์ เสารยะวิเศษ | โทรศัพท์จังหวัดเชียงใหม่ |
| 9. นายสุรินทร์ เกิดยินดี | โทรศัพท์จังหวัดกาญจนบุรี |

เอกสารอ้างอิง

- [1] Website ของฝ่ายวางแผนกลยุทธ์องค์กร บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) : สิงหาคม 2560
- [2] Telephone Organization of Thailand, Outside Plant Standard Sector Specification No. OSE-004-030-04 Issued; February 2007 “Single Mode Optical Fiber Cable (OFC for Core Network)”
- [3] Telephone Organization of Thailand, Outside Plant Standard Sector Specification No. OSE-004-049-03 Issued; February 2014 “Optical Fiber Drop Cable (Round Type) (Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2 F)”
- [4] Telephone Organization of Thailand, Outside Plant Standard Sector Specification No. OSE-004-045-02 Issued; February 2007 “ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable)”
- [5] รายงานผลการวิจัยและพัฒนา เรื่อง “วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาโครงข่ายสาย Optical Fiber ขำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์” นายสมศักดิ์ มหาวิริโย ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่ สำนักขายและบริการลูกค้าภูมิภาคที่ 1: 16 มกราคม 2560
- [6] TOT Public Company Limited, Fixed Line and Broadband Development Sector Spec No. OES-004-058-01 Issued: November, 2019 “Fire Resistant Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable (FRSS OFC)”