

การออกแบบสายเคเบิลเส้นใยนำแสงทนไฟ

Design of Fire Resistant Self-supporting Single Mode Optical Fiber Cable

กฤต ศรีวิลาส* และ นฤทธิสมจริญ์ สัมภาพล

Krit Srivilas* and Naritsomjarern Sumpaopol

ฝ่ายวิจัยและพัฒนา บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน)

Research and Development Department, National Telecom Public Company Limited

*Corresponding Author E-mail: srivilas.kr@gmail.com

Received: 23/07/24, Revised: 30/07/24, Accepted: 1/08/24

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างสายเคเบิลเส้นใยนำแสงทนไฟสำหรับใช้งานในพื้นที่เสี่ยงจากปัญหาไฟไหม้ สำหรับใช้กับโครงข่ายหลักที่เชื่อมต่อระหว่างเมืองหรือจังหวัด จากปัญหาโครงข่ายสายเคเบิลเส้นใยนำแสงที่ติดตั้งบนเสาไฟฟ้าตามแนวถนนที่วางผ่านทุ่งหญ้า ป่ารกชัฏ พุ่มไม้สูง เมื่อมีปัญหาไฟไหม้ได้แนวเสาไฟฟ้า เปลวเพลิงจะทำให้สายเคเบิลชำรุดเสียหาย แนวทางการออกแบบเป็นการปรับปรุงพัฒนาจากโครงสร้างสายเคเบิลเส้นใยนำแสงเดิม โดยการออกแบบปรับปรุงวัสดุห่อหุ้มและวัสดุรับแรงดึงใหม่ ด้วยการเลือกใช้วัสดุป้องกันความร้อนสูงที่เหมาะสม จากนั้นทำการผลิตสายเคเบิลต้นแบบ แล้วนำไปทดสอบทางแสงและทางกลรวมทั้งการเผาไฟตามมาตรฐานสากล หลังจากการศึกษาค้นคว้าออกแบบและสร้างเคเบิลไป 4 เวอร์ชัน สุดท้ายได้สายเคเบิลเส้นใยนำแสงทนไฟ มีคุณสมบัติรองรับไฟไหม้รุนแรงไม่เกิน 90 นาที โดยเส้นใยนำแสงยังคงใช้งานได้อย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 7 วัน เคเบิลเส้นใยนำแสงที่ได้สามารถนำไปใช้งานจริงในภาคสนามได้

คำสำคัญ: เคเบิลเส้นใยนำแสง สายทนไฟ การออกแบบเคเบิลเส้นใยนำแสง

Abstract

This article presents the design and produce of fire-resistant optical fiber cables for using in fire-prone areas, especially for the OFC (Optical Fiber Cable) being used in the main network connecting cities or provinces. From the problem of OFC cable networks installed on electric poles along roads laid through grasslands, dense forests, and tall bushes, when there was a problem of a fire under the electric pole line, the OFC cables were damaged due to the flames. The design was developed from the original OFC cable structure. The wrapping cable material and tensile strength material were developed by selecting suitable high temperature protection materials. The prototypes of fiber cable were produced and put to optical and mechanical testing including the incinerating. After testing 4 prototype versions, the final fireproof fiber cable was obtained. It has the property to support the continuous services of the optical fiber in

communication for at least 70 days even though the fiber has been in the severe fires for no more than 90 minutes. The designed optical fiber cable can be used for real operation in the field.

Keywords: optical fiber cable, fire resistant, fiber cable design

1. บทนำ

บริการอินเทอร์เน็ตบรอดแบนด์ (Broadband Internet) ผ่านโครงข่ายเคเบิลเส้นใยนำแสง มีจุดเด่นในเรื่องของเสถียรภาพ รองรับความสูงและความเร็วในการให้บริการ สังคมที่พึ่งพาอินเทอร์เน็ต โครงข่ายสายเคเบิลเส้นใยนำแสง (OFC – Optical Fiber Cable) ชำรุดเสียหายโดยเฉพาะโครงข่ายหลัก (Backbone Network) จะส่งผลกระทบต่อการใช้งานบริการ Broadband Internet เป็นวงกว้าง โครงข่ายสาย OFC ทั่วไปที่ใช้ในประเทศไทยมักใช้สาย OFC ชนิด ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) [1] โครงข่ายที่มีปัญหาสัตว์กัดแทะจะใช้สาย OFC มีเกราะโลหะชนิด ARSS OFC (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable) [2] เส้นใยเคเบิลมีปัญหาไฟไหม้เขี้ยวรุนแรงผู้ให้บริการสามารถเลือกใช้สาย OFC ที่มีส่วนประกอบของโลหะชนิด ADSS FRP (ADSS FRP Armored Optical Fiber Cable) [3] เนื่องจาก FRP มีคุณสมบัติที่มีความทนทานสามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจากสัตว์กัดแทะได้ [4] ทั้งนี้จำนวนเส้นใยนำแสงที่ใช้ในประเทศไทยจะมีจำนวนอยู่ระหว่าง 12-312 F (Fiber) ซึ่งสาย OFC ทุกชนิดข้างต้นไม่สามารถป้องกันไฟไหม้ได้

โครงข่ายสาย OFC นอกเมืองบางช่วงจะมีการพาดผ่านทุ่งหญ้า รกชัฏ ทุ่งข้าวโพด พุ่มไม้ ฯลฯ โดยเฉพาะจังหวัดในภาคเหนือมักมีปัญหาสาย OFC ชำรุดจากสาเหตุของไฟไหม้ป่า โดยเฉพาะไฟลามทุ่งในช่วงหน้าแล้งเป็นประจำทุกปีดังแสดงในรูปที่ 1 ในต่างประเทศแก้ปัญหาด้วยการนำสาย OFC สังกัดดิน แต่ไม่เหมาะกับประเทศไทยเพราะไม่สามารถควบคุมความเสียหายจากธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้ เช่น ปัญหาผิวดินไหล ปัญหาการขุดเจาะ แนวทางลดปัญหาไฟไหม้โครงข่ายสาย OFC ในประเทศไทยเบื้องต้นป้องกันด้วยวิธีทำแนวกันไฟในพื้นที่เสี่ยง สามารถลดความรุนแรงจากไฟไหม้ได้ระดับหนึ่ง



รูปที่ 1 เหตุการณ์ไฟไหม้โครงข่ายสาย OFC

สาย OFC ทนไฟที่ใช้เฉพาะงานตามสิทธิบัตรประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน CN-103064163B [5] มีโครงสร้างรับน้ำหนักแรงดึงที่แกนกลางและการจัดวางเป็นไปตามมาตรฐานสาย OFC ทั่วไป กลุ่มเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดห่อหุ้มด้วยเทปกั้นน้ำ ชั้นทนไฟผลิตจากแผ่นคอมโพสิตเคลือบเซรามิกทนความร้อน $1,200^{\circ}\text{C} - 1,500^{\circ}\text{C}$ (ไม่ระบุเวลา) หุ้มเกราะเหล็กเคลือบพลาสติกและเปลือกหุ้มภายนอกห่อหุ้มด้วยคอมโพสิตพลาสติก LSZH (Low Smoke Zero Halogen) ตามลำดับ เมื่อถูกไฟเผาจะมีควันน้อย ไม่มีสารพิษในควันไฟเหมาะสำหรับสถานที่สาธารณะ เช่น สถานีรถไฟใต้ดิน สนามบิน โรงพยาบาล เรือ อากาศพาณิชยกรรม อย่างไรก็ตาม สาย OFC ทนไฟตามสิทธิบัตร CN-103064163B มีจุดอ่อนคือแผ่นคอมโพสิตชั้นเคลือบเซรามิกมีราคาสูง ขั้นตอนการติดตั้งใช้งานไม่สามารถโค้งงอมากได้ เหมาะกับการใช้งานในอาคารหรือพื้นที่ปิด การใช้งานเน้นทนความร้อนสูงแต่ไม่กำหนดว่า ณ อุณหภูมิที่ระบุสามารถป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงได้ระยะเวลานานเท่าใด ทั้งนี้ยังมีราคาสูง

สาย OFC ทนไฟที่ใช้เฉพาะงานตามสิทธิบัตรสหรัฐอเมริกา US-3576940 [6] ทนความร้อนตามที่ระบุได้ถึง 540°C (ไม่ระบุเวลา) ออกแบบให้มีฉนวนหลายชั้น ชั้นกลางใช้แผ่นใยแก้ว (Glass Cloth) เปลือกหุ้มนอกสุดผลิตจากแร่ใยหินแอสเบสตอส (Asbestos) เน้นเปลือกหุ้มและชั้นฉนวนไม่ลามไฟ อย่างไรก็ตามเปลือกหุ้มเคเบิลนอกสุดผลิตจากแร่ใยหินที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

บทความนี้นำเสนอแนวคิดในการออกแบบและสร้างสายเคเบิลเส้นใยนำแสง (OFC) แบบใหม่ที่สามารถทนไฟได้สำหรับใช้งานภายนอกอาคาร โดยที่กรรมวิธีการติดตั้งใช้งานและการจับยึดสามารถใช้อุปกรณ์มาตรฐานปกติได้ ภายใต้ราคาที่เหมาะสม ซึ่งน่าจะเป็นแนวทางที่สามารถแก้ปัญหาระยะยาวที่เหมาะสมภายในประเทศ โดยยังไม่มีสายเคเบิลเส้นใยนำแสงที่สามารถทนไฟแบบนี้มาก่อน

2. แนวคิดการออกแบบสายเคเบิลเส้นใยนำแสงทนไฟและไม่ลามไฟ

จากการศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์สาย OFC ทนไฟจากเว็บไซต์จากผู้ผลิตทั้งในและต่างประเทศ ยังไม่พบมาตรฐานอ้างอิงการทนไฟที่เกี่ยวข้องกับสาย OFC โดยตรง มีเพียงมาตรฐานที่ใช้กับสายไฟฟ้าที่มุ่งเน้นด้านความปลอดภัยหัวข้อที่สำคัญ 4 หัวข้อ ดังนี้

- 1) Flame Retardant คุณสมบัติไม่ลามไฟหรือด้านการลุกไหม้
- 2) Acids and Corrosive Gas Emission คุณสมบัติไม่ปล่อยก๊าซกรด
- 3) Emission คุณสมบัติไม่เกิดควัน และ
- 4) Fire Resistance คุณสมบัติการทนไฟ

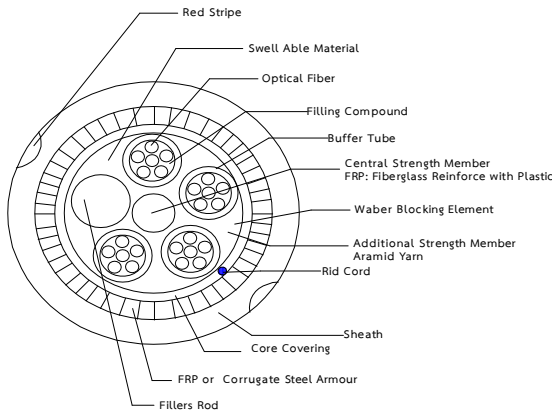
นอกจากนี้ยังไม่พบมาตรฐานหัวข้อการทดสอบเกี่ยวกับไฟไหม้ของสาย OFC แต่ก็พบตามมาตรฐาน IEC 60332-3-24 และมาตรฐาน IEC 60331-21 ที่ใช้ทดสอบสายไฟฟ้า ซึ่งสามารถใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการทดสอบและจำลองเผาไฟเพื่อทดสอบเชิงประจักษ์ในสนาม โดยทั่วไปเปลือกหุ้มภายนอก (Cable Sheath) ของสาย OFC มาตรฐานทั่วไป ใช้วัสดุ HDPE (High Density Polyethylene) ผสมผงคาร์บอนกันแสง UV เมื่อเกิดเพลิงไหม้ เปลวไฟจะเผาไหม้และลุกลามไปตามสาย OFC ส่งผลกระทบท่อชุมชนเป็นวงกว้าง โดยเฉพาะหน้าแล้งเมื่อเกิดเหตุไฟไหม้สาย OFC การเข้าพื้นที่เพื่อแก้ไขต้องรอให้ไฟสงบ และคอยในพื้นที่โดยรอบเย็นลงก่อน พื้นที่เขตเมืองเสาไฟฟ้าแต่ละต้นมักมีสาย OFC ขวนขวายติดตั้งเป็นจำนวนมากเมื่อระบบสายส่งไฟฟ้าคิดพ่วงเกิดประกายไฟหรือเกิดความร้อนสะสมขึ้นระดับหนึ่งทำให้เกิดไฟไหม้สาย OFC บ่อยครั้งไฟจะลุกลามไปตามแนวสายส่งผลกระทบต่อบริการ Broadband Internet และ/หรือไฟอาจลุกลามไปตามสาย OFC ทำให้เกิดเพลิงไหม้อาคารบ้านเรือนตามแนวสายสัญญาณได้ ดังแสดงในรูปที่ 1

จากปัญหาไฟไหม้ลุกลามไปตามสาย OFC หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ศึกษาปรับเปลี่ยนวัสดุเปลือกหุ้มสายจาก HDPE เป็น FRPE (Flame Retardant Polyethylene) ซึ่งสามารถลดปัญหาไฟลุกลามไปตามสาย OFC ได้ระดับหนึ่ง แต่สาย OFC ยังคงชำรุดเสียหายอันเนื่องมาจากไฟไหม้ส่งผลกระทบต่อการใช้งานบริการ Broadband Internet เหมือนเดิม โดยเฉพาะแนวสาย OFC ที่ลากผ่านพื้นที่ป่า ต้องใช้เวลาแก้ไขเพื่อให้งานกลับมาให้บริการ SLA (Service Level Agreement)

บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) (NT) ร่วมกับโรงงานผู้ผลิตสาย OFC 3 ราย ประกอบด้วย 1) บริษัท สยาม ไฟเบอร์ ออปติกส์ จำกัด (SFO) 2) บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC) 3) บริษัท เอชบีซี เทเลคอม จำกัด (HBC) และผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุ บริษัท ธุรกิจเคมีคอลส์ เอสซีจี ในเครือปูนซิเมนต์ไทย (SCG) จึงตั้งคณะทำงานร่วมศึกษาออกแบบสาย OFC ทนไฟ กำหนดเป้าหมายเบื้องต้นเมื่อเกิดไฟไหม้โครงข่ายสาย OFC ต้องสามารถให้บริการได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 7 วัน

แนวทางการทำงานของคณะทำงานร่วมออกแบบสาย OFC ทนไฟอ้างอิงโครงสร้างสาย OFC เดิมดังแสดงในรูปที่ 2 โดยมอบหมายให้ SCG ศึกษาวัสดุป้องกันความร้อนสูงที่เหมาะสม กลุ่มโรงงานผลิตสาย OFC ออกแบบสายที่ทนต่อการรับแรงดึงทางกลแบบทำลายที่มีค่าน้อยกว่า 4,500 นิวตัน สามารถรับแรงดึงในสภาวะการใช้งานปกติได้มากกว่า 1,800 นิวตัน (อ้างอิงสาย ADSS FRP) ทั้งนี้หลังจากได้ค้นแบบที่

เหมาะสมมอบหมายให้ บริษัท NT ทำการทดสอบการใช้งานในภาคสนาม



รูปที่ 2 โครงสร้างสาย OFC เดิม

ทีม SCG ได้คัดเลือกวัสดุเปลือกหุ้มป้องกันความร้อนที่เหมาะสม 3 ชนิด คือ 1) EVA (Ethylene Vinyl Acetate) 2) FRPE (Flame Retardant Polyethylene) และ 3) PVC (Polyvinyl Chloride) พร้อมชั้นกันความร้อนภายในอีก 3 ชนิด คือ 1) Steel Tape 2) E-glass yarn และ 3) Mica Tape จากนั้นมอบหมายให้ 3 โรงงานทำการผลิตเคเบิลดัดแปลงที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน 3 รูปแบบ แต่แบบแต่ละรูปแบบมีจำนวนเส้นใยนำแสง 24 60 120 F ตามลำดับ เพื่อการทดสอบในห้องปฏิบัติการและภาคสนามต่อไป

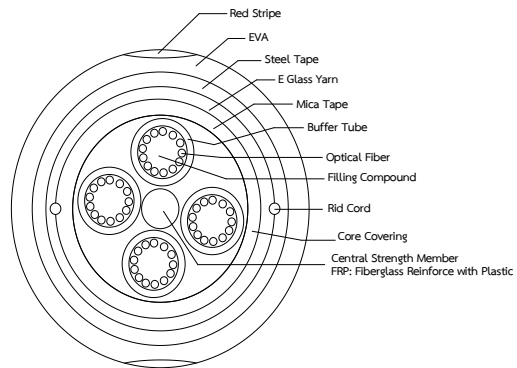
ในการทดสอบสาย OFC ดัดแปลงจะทำการทดสอบเชิงแสงและเชิงกล โดยทดสอบคุณสมบัติเชิงแสงอย่างน้อยประกอบด้วย Mode Field Diameter, Cladding Diameter, Zero Dispersion, Chromatic Dispersion, และ Polarization Mode Dispersion เป็นต้น ในส่วนของการทดสอบเชิงกลเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) [6] สำหรับการทดสอบการทนความร้อนจะอิงมาตรฐานการลามไฟตามมาตรฐาน IEC 60332-3-24 Flame propagation Test [7] (การต้านทานการเผาไหม้แนวตั้ง) และ IEC 60331-21 Resistance to fire Alone Test [8] (การต้านทานการเผาไหม้แนวระดับ) ณ ห้องปฏิบัติการที่ได้รับมาตรฐาน ISO/IEC 17025 จากนั้นสรุปผลการทดสอบสาย OFC ทนไฟดัดแปลงเพื่อนำจุดเด่นของวัสดุแต่ละชนิดจากดัดแปลงทั้ง 3 รูปแบบนำมาออกแบบสาย OFC ทนไฟที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานต่อไป

3. การออกแบบ ผลิต และทดสอบสายเคเบิลเส้นใยนำแสงทนไฟ

หลังจากทำการศึกษาคูณสมบัติวัสดุเปลือกหุ้มป้องกันความร้อนชั้นป้องกันความร้อนภายในที่หลากหลาย คณะทำงานร่วมศึกษาคัดเลือกวัสดุและ โครงสร้างที่เหมาะสม ก่อนมอบหมายให้โรงงานผลิตเคเบิลผลิตเคเบิลดัดแปลงที่มีโครงสร้างแตกต่างกันเพื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการ

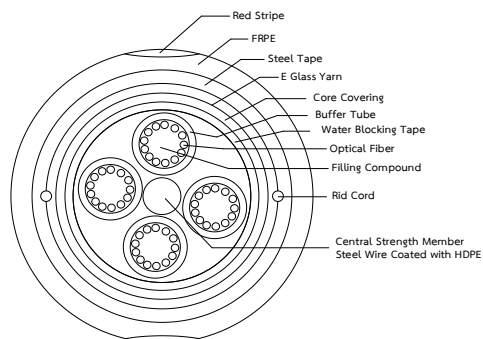
ทั้งนี้แต่ละโรงงานผลิตดัดแปลงแตกต่างกัน 3 เวอร์ชัน จำนวนเส้นใยนำแสง 24 60 120 F ตามลำดับ โครงสร้างแต่ละเวอร์ชันมีรายละเอียดดังนี้

เวอร์ชัน 1 มอบหมาย HBC ผลิตดัดแปลงแบบเปลือกหุ้มใช้วัสดุ EVA ชั้นป้องกันความร้อนนอกสุดใช้วัสดุ Steel Tape ชั้นกลางใช้วัสดุ E Glass yarn ชั้นในสุดที่หุ้มกลุ่มเส้นใยนำแสงใช้ Mica Tape แกนรับแรงดึง FRP (Fiber Reinforced Plastic) ดังรูปที่ 3



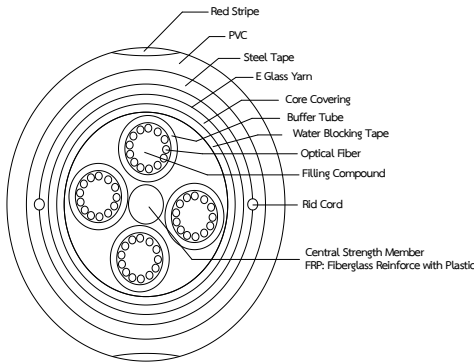
รูปที่ 3 โครงสร้างของสาย OFC ทนไฟ เวอร์ชัน 1 วัสดุหุ้ม EVA

เวอร์ชัน 2 มอบหมาย TFOC ผลิตดัดแปลงแบบเปลือกหุ้มใช้วัสดุ FRPE ชั้นป้องกันความร้อนนอกสุดใช้วัสดุ Steel Tape ชั้นกลางใช้วัสดุ E Glass yarn ชั้นในสุดที่หุ้มกลุ่มเส้นใยนำแสงใช้ Water Blocking Tape แกนรับแรงดึงใช้เส้นลวด Steel Wire Coated with HDPE ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างของสาย OFC ทนไฟ เวอร์ชัน 2 วัสดุหุ้ม FRPE

เวอร์ชัน 3 มอบหมาย SFO ผลิตดัดแปลงแบบเปลือกหุ้มใช้วัสดุ PVC ชั้นป้องกันความร้อนนอกสุดใช้วัสดุ Steel Tape ชั้นกลางใช้วัสดุ E Glass yarn ชั้นในสุดที่หุ้มกลุ่มเส้นใยนำแสงใช้ Water Blocking Tape แกนรับแรงดึง FRP ดังรูปที่ 5 โดยคุณสมบัติของสายเวอร์ชันนี้แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 5 โครงสร้างของสาย OFC ทนไฟ เวอร์ชัน 3 วัสดุห่อหุ้ม PVC

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทั่วไปสาย OFC ดันแบบเปลือกห่อหุ้ม PVC

Properties	Test Method	Unit	Guideline Spec. C6914BKA	C6914BKA Lot 04110904
1. Specific Gravity	ASTM D 792	-	1.54 - 1.60	1.57
2. Heat stability @ 180 °C	TPC Method	min	Min. 300	420
3. Hardness Shore A @ 10sec	ASTM D2240	-	92 - 98	95
4. Tensile Strength	IEC 60-811-1-1	N/mm ²	Min. 12.5	19.4
5. Elongation at Break	IEC 60-811-1-1	%	Min. 150	279
6. Volume Resistivity @ 25 °C	JIS K6723	Ohm.cm	Min. 1.0 x 10 ¹⁵	3.0 x 10 ¹⁵
7. Limited Oxygen Index	ASTM D2863	%	Min. 35	38.5
8. Heat Ageing 100°C x 168 hrs				
8.1 Tensile Strength after Ageing	IEC 60-811-1-2	N/mm ²	Min. 12.5	18.2
8.2 Variation of Tensile Strength	IEC 60-811-1-2	%	Max. ± 25	-6
8.3 Elongation after Ageing	IEC 60-811-1-2	%	Min. 150	229
8.4 Variation of Elongation at Break	IEC 60-811-1-2	%	Max. ± 25	-18
8.5 Loss of Mass	IEC 60-811-1-2	mg/cm ²	Max. 1.5	0.6

การทดสอบเผาไฟสาย OFC ดันแบบตามแนวตั้งเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60332-3-24 ณ ห้องปฏิบัติการ บริษัท สายไฟฟ้าบางกอกเคเบิล จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยใช้ตัวอย่างสาย OFC จำนวน 16 ท่อน ๆ ละ 3.5 เมตร ระยะเวลาในการเผา 20 นาที เกณฑ์การตัดสินตัวอย่างทดสอบต้องเกิดความเสียหายเป็นระยะสูงสุดไม่เกิน 2.5 เมตร (จากปลายด้านเผาไฟ)



รูปที่ 6 ทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60332-3-24 เป็นการทดสอบเผาไฟแนวดิ่ง

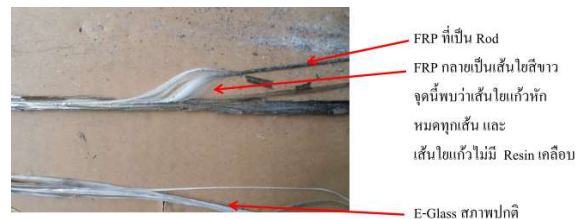
ผลการทดสอบสายดันแบบทั้ง 3 เวอร์ชันดังรูปที่ 6 พบว่าเปลือกหุ้มเคเบิลภายนอกถูกเผาไหม้เป็นขี้เถ้าเฉพาะในตำแหน่งที่ถูกเปลวไฟ ไฟไม่ลุกลามต่อไปยังส่วนอื่น ผลการทดสอบเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่าสายเคเบิลดันแบบสามารถป้องกันการลามไฟได้ทุกตัวอย่างทดสอบ

อย่างไรก็ตามสาย OFC ดันแบบ PVC มีควันไฟเกิดขึ้นจำนวนมากขณะทำการทดสอบ

การทดสอบเผาสาย OFC ดันแบบตามแนวนอนตามมาตรฐาน IEC 60331-21 ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยเผาสาย OFC ดันแบบในตู้ควบคุมอุณหภูมิช่วง 750 °C ± 50 °C ต่อเนื่องเป็นเวลา 90 นาที เมื่อครบเวลาทดสอบปิดหัวจ่ายเปลวไฟ (Burner)ทิ้งไว้ 15 นาที ขณะทดสอบเผาไฟจะส่งสัญญาณแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสงทุกเส้นโดยนำปลายสายเส้นใยแก้วนำแสงทุกเส้นเชื่อมต่อ (Loop) วงถึงกันแบบอนุกรม วัดค่าการลดทอนสัญญาณ (Attenuation) เพื่อดูค่าการเปลี่ยนแปลงด้วย Power Meter ตลอดเวลาทำการทดสอบ เมื่อครบระยะเวลาทดสอบ (90 นาที) ผลการทดสอบพบว่าทุกตัวอย่างเส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหายไม่สามารถส่งผ่านสัญญาณแสงได้



รูปที่ 7 ทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60331-21 เป็นการทดสอบเผาไฟแนวนอน



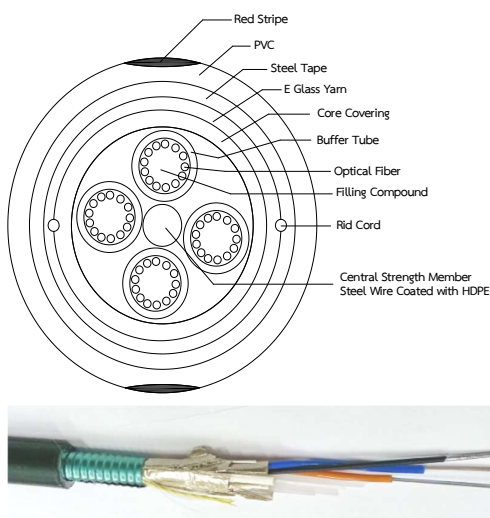
รูปที่ 8 วิเคราะห์ความเสียหายภายในสาย OFC ทนไฟดันแบบหลังผ่านการเผาไฟ

รูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60331-21 (แนวนอน) จากการสังเกตเชิงประจักษ์ขณะทำการทดสอบเผาไฟสาย OFC ดันแบบแนวนอนทั้ง 3 เวอร์ชัน พบว่าเปลือกหุ้มชั้นนอกของสายเคเบิลถูกไฟเผาไหม้อย่างรวดเร็วจนมองเห็นชั้น Steel Tape ได้อย่างชัดเจน แม้ว่าชั้น Steel Tape ยังคงสภาพตลอดการทดสอบแต่ก็เปลี่ยนเป็นสีดำ เมื่อตรวจสอบวิเคราะห์ความเสียหายสาย OFC ดันแบบมีรายละเอียดดังนี้

- 1) เปลือกชั้นนอก (EVA FRPE PVC) ถูกทำลายเสียหายทั้งหมด
- 2) ชั้น Steel Tape ยังคงสภาพและห่อหุ้ม Cable Core ปกติ แต่เปลี่ยนสีจากเดิมสีขาวเป็นสีดำ
- 3) ชั้น E-Glass Yarn (10 เส้น) ยังคงสภาพเป็นเส้นใยปกติไม่มีการเปลี่ยนสี

- 4) เวอร์ชั้น 1 ใช้ Mica Tape ยังคงสภาพห่อหุ้ม Cable Core ปกติ แต่มีสภาพกรอบและแยกชั้นออก คือชั้น Mica และชั้น Glass Backed
- 5) เวอร์ชั้น 2 และ 3 ใช้ Water Blocking Tape เสียหายทั้งหมด
- 6) ชั้น Core Covering ชำรุดเสียหาย >70%
- 7) ชั้น Cable Core พบว่า Loose Tube เกินครึ่ง และ Filler Rod หลอมละลาย
- 8) เส้นใยนำแสงและ UV Acrylic ที่ห่อหุ้มเส้นใยนำแสงเสียหายทั้งหมดเหลือเพียงเส้นใยนำแสง
- 9) แกนรับแรง FRP เวอร์ชั้น 1 และ 3 หมดสภาพจากรูปร่าง Rod เปลี่ยนสภาพเป็นเส้นใยสีขาวอ่อนตัว
- 10) แกนรับแรง Steel Wire Coated with HDPE เวอร์ชั้น 2 สภาพปกติ

หลังผลการทดสอบสายเคเบิลต้นแบบโดยพิจารณาหัวข้อทางแสงและการทนไฟทั้ง 3 เวอร์ชั้น พบว่าจะมีจุดอ่อน คณะทำงานทำการวิเคราะห์จุดเด่นของแต่ละเวอร์ชั้นนำมาออกแบบและผลิตสายเคเบิลต้นแบบเวอร์ชั้นที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 9 โดยการเลือกใช้เปลือกหุ้มที่เป็นวัสดุ FRPE (Flame Retardant Polyethylene) แกนกลางรับแรงเปลี่ยนจาก FRP เป็น Steel Wire Coated with HDPE ทั้งนี้เนื่องจากแกน FRP เมื่อถูกความร้อนจะเปลี่ยนสภาพเป็นเส้นใยหมดสภาพในการรับแรงดึง ในส่วนของ Mica Tape ปรับเพิ่มจากชั้นเดียวเป็นสองชั้น นำชั้น Water Blocking Tape ออก เชือกรับแรงดึงเปลี่ยนจาก Aramid Yarn เป็น E Glass yarn แทน ด้วยเหตุผลว่า E Glass yarn ไม่ไหม้ไฟ จากนั้นมอบหมายโรงงาน HBC ผลิตสายต้นแบบจำนวนเส้นใยนำแสงชนิด 24F, 60F และ 120F ตามลำดับ เพื่อทดลองในห้องปฏิบัติการอีกครั้งก่อนทดลองติดตั้งใช้งานภาคสนาม



รูปที่ 9 โครงสร้างและต้นแบบสาย OFC ทนไฟเวอร์ชั้น 4

การทดสอบต้นแบบสาย OFC ทนไฟเวอร์ชั้น 4 ทางแสงดำเนินการแบบเดียวกับการทดสอบก่อนหน้านี้ หัวข้อทดสอบทางกลจะทดสอบภายหลังเมื่อได้ข้อสรุปผลการทนไฟแล้ว หัวข้อการทดสอบเผาไฟที่ผ่านมาพบว่าความรุนแรงของผลการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60332-3-24 (แนวตั้ง) มีความรุนแรงน้อยกว่ามาตรฐาน IEC 60331-21 (แนวนอน) แต่การติดตั้งใช้งานสาย OFC ทั่วไปแล้วจะอยู่ในรูปแบบแนวนอน ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงคณะทำงานจึงเลือกหัวข้อทดสอบมาตรฐานมาตรฐาน IEC 60331-21 เพียงหัวข้อเดียว

ผลการทดสอบสาย OFC ทนไฟต้นแบบเวอร์ชั้น 4 ในหัวข้อทางแสงและการเผาไฟพบว่าสายต้นแบบ 24F และ 60F ผ่านเกณฑ์ แต่ 120F ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดเนื่องจากสัญญาณแสงขาดหายเมื่อผ่าดูโครงสร้างภายในพบเส้นใยนำแสงชำรุดเสียหาย

ต้นแบบสายเคเบิลที่ผ่านหัวข้อเผาไฟ (24F และ 60F) เมื่อครบกำหนดระยะเวลา 90 นาที และปิดหัวจ่ายเปลวไฟแล้ว เส้นใยแก้วนำแสงยังสามารถส่งผ่านสัญญาณแสงได้ตามปกติ ก่อนเผาไฟเส้นใยแก้วนำแสงวัดค่าลดทอนสัญญาณได้ 22.62 dB ค่าการลดทอนสัญญาณแสงระหว่างทดสอบอ่านค่าได้ 23.03 dB ค่าเปลี่ยนแปลงจากเดิม 0.41 dB และเมื่อเวลาผ่านไปอีก 100 นาที สัญญาณแสงเริ่มคงที่ อ่านค่าลดทอนได้ 23.28 dB เปลี่ยนแปลงจากเดิม 0.66 dB

การทดสอบสายเคเบิลแบบเวอร์ชั้น 4 จำนวนเส้นใยนำแสง 120F อีก 3 ตัวอย่าง ผลการทดสอบเผาไฟไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดทุกตัวอย่าง สรุปผลได้ว่าสายเคเบิลเส้นใยนำแสงทนไฟที่เหมาะสมควรมีจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงไม่เกิน 60F

จากผลการทดสอบสาย OFC ทนไฟเวอร์ชั้น 4 ที่มีโครงสร้างดังรูปที่ 9 เลือกหุ้มใช้วัสดุ FRPE ชั้นในห่อหุ้มด้วยเทปเหล็กกล้า (Steel Tape) มีคุณสมบัติป้องกันสัตว์กัดแทะและทนความร้อน แกนกลางรับแรงดึงใช้ Steel Wire Coated with HDPE แทน FRP เนื่องจาก FRP เปลี่ยนสภาพหลังการทดสอบ ฉนวนกันความร้อนใช้เทปไมก้า (Mica Tape) สองชั้น เชือกรับแรงดึงใช้ E Glass yarn จำนวนเส้นใยนำแสงที่ผลิตได้สูงสุด 60F จากโครงสร้างนี้คาดว่าเมื่อเกิดไฟไหม้อุณหภูมิ $750^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ ต่อเนื่อง 90 นาที โครงข่ายสาย OFC ต้องให้บริการได้ต่อเนื่องอีกอย่างน้อย 7 วัน

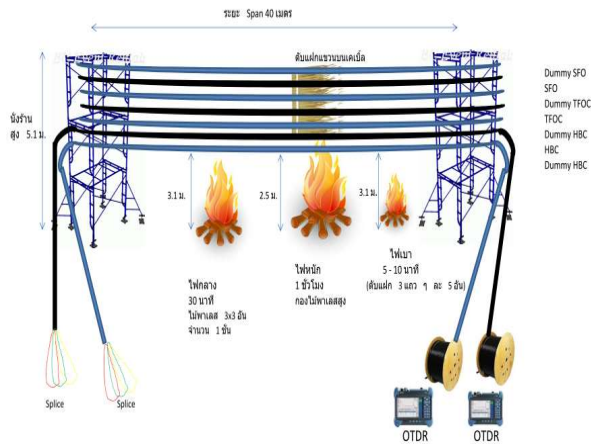
4.1 ผลการทดสอบสายเคเบิลเส้นใยนำแสงทนไฟเวอร์ชั้น 4 ภาคสนาม

4.1 การจำลองเผาสาย OFC ทนไฟเวอร์ชั้น 4

เพื่อสร้างความเชื่อมั่นเชิงประจักษ์คณะทำงานจำลองสภาพแวดล้อมคล้ายการใช้งานจริงแขวนสาย OFC ต้นแบบเวอร์ชั้น 4 ที่ระดับความสูงและระยะห่างระหว่างเสาเสมือนติดตั้งใช้งานจริง สถานที่จำลอง ณ โรงงาน HBC จังหวัดสิงห์บุรี

ผังจำลองการติดตั้งใช้งานสาย OFC ดังรูปที่ 10 ใช้นั่งร้านก่อสร้างแทนเสาไฟระยะห่างระหว่างนั่งร้าน 40 เมตร จุดจับยึดสาย OFC สูงจากพื้นดิน 5.1 เมตร จับยึดสาย OFC ต้นแบบเวอร์ชั้น 4 จำนวนเส้นใย

แก้วนำแสง 24 และ 60F อย่างละ 2 ตัวอย่าง (ตัวอย่างทดสอบ 4 ตัวอย่าง)



รูปที่ 10 หังจำลองไฟสาย OFC ทนไฟเส้นแบบเวอร์ชัน 4 เจริญจักร

ขณะทดสอบไฟสาย OFC ต้นแบบจะส่งสัญญาณแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสงทุกเส้นเพื่อวัดค่าการลดทอนสัญญาณ (Attenuation) ตลอดการทดสอบไฟ โดยเชื่อมต่อปลายสายเส้นใยแก้วนำแสงทุกเส้น (Loop) วงถึงกันแบบอนุกรม กรณีเส้นใยนำแสงเส้นหนึ่งเส้นชำรุดเสียหายจะทราบผลทันที



รูปที่ 11 เสาสาย OFC ต้นแบบที่ระเหิดและสูงติดตั้งใช้งานจริง

ทดสอบการทนเปลวไฟแสดงดังรูปที่ 11 ความรุนแรงของเปลวไฟจำลองเสมือนที่เกิดขึ้นในการใช้งานจริง ความรุนแรงของเปลวไฟแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือ

- 1) **ไฟเบา** เชื้อเพลิงใช้ดับแค่ 3 แกลลอน 5 อัน วางสุ่มเป็นรูปสี่เหลี่ยม กำหนดระยะเวลาไฟไหม้ประมาณ 5 - 10 นาที
- 2) **ไฟกลาง** เชื้อเพลิงใช้ไม้พาเลส จำนวน 9 อัน วางเป็นรูปสี่เหลี่ยม 3 x 3 เสริมด้วยดับเพลิงหลังคา กำหนดระยะเวลาไฟไหม้ประมาณ 30 นาที
- 3) **ไฟหนัก** เชื้อเพลิงใช้ไม้พาเลสรูปสี่เหลี่ยมประมาณความสูงให้เปลวไฟไหม้โคนสาย OFC เสริมด้วยดับเพลิงหลังคา กำหนดระยะเวลาไฟไหม้ประมาณ 60 นาที

ผลการทดสอบไฟระดับเปลวไฟทั้ง 3 ระดับ สาย OFC ต้นแบบทั้ง 4 ตัวอย่างสามารถส่งผ่านสัญญาณแสงได้ตามปกติตลอดการทดสอบ ค่าการลดทอนสัญญาณค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุด 0.73 dB (ค่ารวมเส้นใยนำแสงทุกเส้นก่อนอนุกรมเป็นวงจรเดียว)



รูปที่ 12 เสาสังเกตและบันทึกค่าทางแสงตลอดการทดสอบ



รูปที่ 13 สาย OFC ทนไฟเส้นแบบเวอร์ชัน 4 ผ่านการทดสอบไฟ

เมื่อผ่าสายเคเบิล OFC ต้นแบบเพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความเสียหายของโครงสร้างภายในที่ห่อหุ้มแต่ละชั้นดังรูปที่ 13 พบว่าเปลือกชั้นนอก (FRPE Sheath) ถูกทำลายเสียหายทั้งหมด ชั้น Armour ที่ผลิตจาก Steel Tape ยังคงสภาพเดิมแต่เปลี่ยนสีจากเดิมสีเขียวเป็นสีดำ ชั้น Mica Tape ยังคงสภาพห่อหุ้ม Cable Core ปกติ เมื่อคลี่ออก เนื้อ Mica Tape (ชั้นนอก) มีสภาพกรอบและแยกชั้นออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้น Mica และชั้น Glass Backed ชั้น E-Glass Yarn (10 เส้น) ยังคงสภาพเป็นเส้นใยปกติสีเปลี่ยนจากเดิมสีขาวเป็นสีดำ ชั้น Mica Tape (ชั้นใน) มีสภาพเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ชั้น Cable Core พบว่า Loose Tube มีสภาพปกติ สุดท้ายแกนกลางรับแรง Steel Wire Coated with HDPE มีสภาพปกติ จากผลการทดสอบ สามารถสรุปได้ว่า สาย OFC ต้นแบบเวอร์ชัน 4 กรณีไฟไหม้รุนแรงต่อเนื่องไม่เกิน 90 นาที มีคุณสมบัติในการให้บริการได้อย่างต่อเนื่องตามปกติอย่างน้อย 7 วัน

4.2 การติดตั้งสาย OFC ทนไฟเวอร์ชัน 4 สำหรับใช้งานจริงภาคสนาม

ในการทดสอบสาย OFC ในสภาพการใช้งานจริง ใช้พื้นที่ในจังหวัดแม่ฮ่องสอนที่มีปัญหาเรื่องไฟไหม้สายเคเบิล OFC อย่างรุนแรงช่วงหน้าแล้งทุกปี จำนวนเส้นใยนำแสง 60F ระยะทาง 100 กิโลเมตร คัดเลือกเส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย” ระยะทาง 33 กิโลเมตร และเส้นทาง “แม่ลาน้อย-ขุนขาม” ระยะทาง 67 กิโลเมตร



รูปที่ 14 สายฯ เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย” ที่โคนไฟไหม้จุดแรก

หลังติดตั้งสาย OFC ทนไฟดับแบบเวอร์ชัน 4 ประมาณ 3 เดือน เจ้าหน้าที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนแจ้งว่าปลายเดือนกุมภาพันธ์ 2562 มีเหตุไฟไหม้ได้แนวสายเคเบิล OFC เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย” ดังแสดงในรูปที่ 14 ระยะสายช่วงนี้ 33 กิโลเมตร เมื่อวัดค่าการสูญเสียสัญญาณ (Loss) ด้วยเครื่องวัด OTDR พบมีค่าลดทอนเพิ่มขึ้นจากเดิมก่อนเกิดเหตุไฟไหม้ 2 dB โดยเป็นการเพิ่มขึ้นแบบถาวร ค่าลดทอนที่เพิ่มขึ้นจากเดิมไม่กระทบต่อ power budget ทั้งนี้การกำหนด power budget ไม่ให้มีค่าการสูญเสียเกิด 125% จากค่ามาตรฐาน เช่นที่ความยาวคลื่นแสง 1310 nm ให้มีค่าลดทอน 0.33 dB/km ระยะทาง 33 km ค่าลดทอนจากสายเคเบิลคือ 10.89 dB และทุกระยะ 4 km จะมีจุดเชื่อมต่อซึ่งมีการลดทอน 0.1 dB ต่อจุด ค่าลดทอนของจุดต่อทั้งหมดคือ 0.83 dB ดังนั้นสายเคเบิล OFC เส้นทาง “แม่สะเรียง-แม่ลาน้อย” ระยะสายช่วงนี้ 33 km จะมีการลดทอนรวมประมาณ 12 dB เมื่อคิด 125% ของ power budget ทำให้สามารถมีการลดทอนเพิ่มเติมได้อีก 3 dB สามารถใช้งานต่อไปได้อีกระยะหนึ่งโดยไม่ต้องเข้าทำการซ่อมแซมในในทันที ในขณะที่สายเคเบิล OFC ทุกเส้นในจุดเดียวกันชำรุดเสียหายทั้งหมด และประมาณกลางเดือนมีนาคม 2562 มีเหตุไฟไหม้เพิ่มอีก 2 จุด (รวม 3 จุด) ซึ่งแม้ว่าจะเกิดไฟไหม้ข้างต้นสาย OFC ทนไฟดับแบบเวอร์ชัน 4 ยังคงสามารถให้บริการได้ต่อเนื่อง

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสายเคเบิลเส้นใยนำแสงทนไฟสำหรับใช้งานในเครือข่ายเส้นใยนำแสงตามมาตรฐาน ITU-G.652D ด้วยการพัฒนาโครงสร้างจากสายเคเบิลเส้นใยนำแสงเดิมและพัฒนาวัสดุห่อหุ้มที่ทนไฟรวมการพัฒนาทั้งหมด 4 เวอร์ชัน จนได้เวอร์ชัน 4 ที่ผ่านการทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐาน IEC (การทนไฟ) ทั้งการทดลองเผาเชิงประจักษ์ในสนามทดลองและการนำไปติดตั้งใช้งานจริงภาคสนามในจังหวัดแม่ฮ่องสอน 100 กิโลเมตร สายเคเบิลเส้นใยนำแสงทนไฟที่พัฒนาขึ้นนี้มีคุณสมบัติเมื่อเกิดไฟไหม้ อุณหภูมิ $750^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 90 นาที โครงข่ายสาย OFC ยังคงให้บริการได้ต่อเนื่องอย่างน้อย 7 วัน จึงมีความเหมาะสมกับการนำไปติดตั้งในโครงข่ายเส้นใยนำแสงในพื้นที่ที่เสี่ยงไฟไหม้ โดยเฉพาะในพื้นที่ป่าที่มีเหตุไฟไหม้ซ้ำซาก ทั้งนี้ บริษัท โทรคมนาคม

แห่งชาติ จำกัด (มหาชน) ได้ใช้ข้อมูลบางส่วนในการดำเนินการที่เป็นแนวทางของงานวิจัยนี้ในการกำหนดมาตรฐานสายเคเบิลเส้นใยนำแสงทนไฟชื่อ สาย FRSS OFC (Fire Resistance Self-supporting Single Mode Optical Fiber Cable) [9] และได้รับอนุสิทธิบัตร [10] เพื่อนำมาใช้งานในองค์กร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทีมงานจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) (NT) บริษัท สยาม ไฟเบอร์ ออปติกส์ จำกัด (SFO) บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC) บริษัท เอชบีซี เทเลคอม จำกัด (HBC) และ บริษัท ชูริจเคมีคอลส์ เอสซีจี ในเครือปูนซีเมนต์ไทย (SCG) ที่ให้คำปรึกษา สนับสนุนการออกแบบผลิต และการทดสอบต้นแบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] National Telecom Public Company Limited's Fixed Line and Broadband Development Sector, “All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable (ADSS OFC),” **Specification No. OES-004-045-03** (October 2021): 1-2, 4.
- [2] National Telecom Public Company Limited's Fixed Line and Broadband Development Sector, “Ant-Rodent Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable (ARSS OFC),” **Specification No. OES-004-054-02** (October 2021): 1-2, 5-6.
- [3] National Telecom Public Company Limited's Fixed Line and Broadband Development Sector, “ADSS FRP Armoured Optical Fiber Cable (ADSS FRP OFC),” **Specification No. OES-004-057-02** (October 2021): 1-2, 5-8.
- [4] Y. Yang, M.F.M. Fahmy, S. Guan, Z. Pan, Y. Zhan, and T. Zhao, “Properties and applications of FRP cable on long-span cable-supported bridges: A review,” *Composites Part B: Engineering*, 107934, doi:10.1016/j.compositesb.2020.107934
- [5] YOFC Optical Fiber and Cable CO., Ltd., Invention Patent Number CN 103061163 B Issued; June 2015.
- [6] John G. Stone North Haven; George S. Burtner; Christian A. Alam Cheshire, Conn. Ceero Corporation New York, United States Patent Number US 3576940 Issued; May 1971
- [7] เคเบิลเส้นใยนำแสง เล่ม 1-2 ข้อกำหนดคุณลักษณะทั่วไป - วิธีดำเนินการทดสอบเคเบิลเส้นใยนำแสงพื้นฐาน, มอก. 2051-2556, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), ตุลาคม 2556

- [8] *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions - Part 3-24: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables - Category C*, IEC 60332-3-24:2018, International Electrotechnical Commission, July 2018.
- [9] *Tests for electric cables under fire conditions - Circuit integrity - Part 21: Procedures and requirements - Cables of rated voltage up to and including 0,6/1,0 kV*, IEC 60331-21, International Electrotechnical Commission, April 1999.
- [10] TOT Public Company Limited's Fixed Line and Broadband Development Sector, "Fire Resistance Self-supporting Single Mode Optical Fiber Cable (FRSS OFC)," **Specification No. OES-004-058-01** (November 2019): 1-2, 3-7.
- [11] บริษัท จุรินทร์ไทยไวร์แอนด์เคเบิ้ล จำกัด (มหาชน), บริษัท เอชบีซี เทเลคอม จำกัด และ บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด, "เคเบิล เส้นใยนำแสงทนไฟ แขนงในอากาศรับน้ำหนักตัวเองได้ มีเกราะ ป้องกันสัตว์กัดแทะ", เลขที่อนุสิทธิบัตร 16472, 28 พฤษภาคม 2562