

# การออกแบบเคเบิลใยนำแสงแบบไม่มีโลหะสำหรับใช้งานในเครือข่าย FTTx

## Design of Optical Fiber Cable without Metallic Components for FTTx Network

นฤทธิสมเจริญ<sup>1</sup> ลำภาพล<sup>1</sup> และ อธิคม ฤกษ์บุตร<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สถาบันนวัตกรรมที่ไอที บมจ.ทีโอที

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร [athikom1@hotmail.com](mailto:athikom1@hotmail.com)

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบเคเบิลใยนำแสงสำหรับใช้งานในเครือข่าย FTTx ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้านครหลวง ที่ห้ามติดตั้งสายเคเบิลสื่อสารแบบโลหะตั้งแต่ในช่วงปี 2563 เป็นต้นไป การออกแบบพัฒนาจากโครงสร้างการใช้งานเดิมที่มีโลหะเป็นส่วนรับแรงดึง โดยการใช้วัสดุโลหะที่เหมาะสม จากนั้นทำการผลิตสายเคเบิลแบบแล้วนำไปทดสอบทางแสงและทางกล หลังจากการศึกษาค้นคว้าไป 4 เวอร์ชัน สุดท้ายได้สายเคเบิลใยนำแสงแบบไม่มีโลหะชนิดหน้าตัดกลมที่สามารถนำไปใช้งานจริงในภาคสนามได้

**คำสำคัญ:** เคเบิลใยนำแสง สายกระจายใยแสง สายแบบกลม

### Abstract

This paper describes the design of optical fiber cable (OFC) for FTTx network under the constraint of the MEA (Metropolitan Electricity Authority) such that the communication lines with metal component will not be allowed for installation since 2020. The design was developed from the metal structure of the fiber cable by finding the appropriate material. Then, the prototype of OFC was produced and test in terms of optical and mechanical properties. After studying for 4 versions, the round type OFC without metal component is finally found to be used on practical sites.

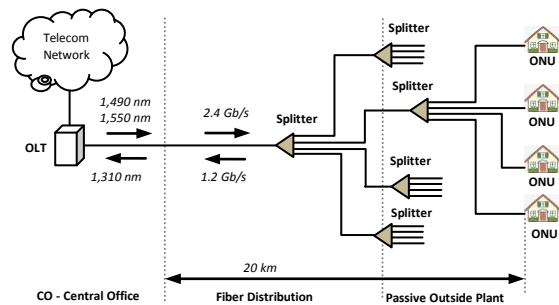
**Keywords:** optical fiber cable, optica; drop cable, round type cable

### 1. บทนำ

บริการ FTTx หรือ Fiber to the x (x อาจหมายถึง H = Home, B= Building/Business, C= Curb/Cabinet, N= Node, ฯลฯ) อยู่ในกลุ่มบริการปลายทาง (last mile) ของโครงข่ายสื่อสารแบบการเข้าถึง (access) บริการ FTTx ส่งผ่านสัญญาณจากศูนย์กลางสื่อสารไปยังผู้ใช้บริการปลายทาง (end user) ด้วยใยนำแสงซึ่งสามารถรองรับข้อมูลจำนวนมากด้วยอัตราส่งผ่านความเร็วสูง บริการ FTTx รับส่งสัญญาณจากผู้ให้บริการต้นทางด้วยอุปกรณ์ OLT (optical line terminal) ไปยังอุปกรณ์ ONU (optical network unit) ของผู้ใช้ปลายทาง ข้อมูลรับส่งจะเดินทางในใยนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวเพียงเส้นเดียว (1F) ซึ่งแตกต่างจากระบบสื่อสารระหว่างเมืองที่ใช้ใยนำแสง 2 เส้น (2F)

FTTx ใช้เทคโนโลยี PON (Passive Optical Network) ซึ่งมีหลายมาตรฐาน รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่าย FTTx แบบ GPON (Gigabit PON) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้ในประเทศในปัจจุบัน สัญญาณขาลง (Downstream) ที่เป็นเสียงและข้อมูล (Voice & Data) และสัญญาณภาพ (video) จาก OLT ใช้แสงที่มีความยาวคลื่น 1,490 nm และ 1,550 nm ตามลำดับ ในขณะที่สัญญาณขาขึ้น (Upstream) ใช้แสงที่มีความยาวคลื่น 1,310 nm

เคเบิลใยแสง (OFC) ที่ใช้ในระบบ FTTx ส่วนที่ออกจาก OLT เรียกว่าส่วนของ distribution ซึ่งในเคเบิล 1 เส้นจะมีใยนำแสงภายในหลายเส้น จากนั้นจะถูกแยกออกเป็นหลายเส้นทางด้วย splitter เคเบิลที่ต่อจาก splitter ไปยัง ONU ของบ้านผู้ใช้ เรียกว่า เคเบิลสายกระจาย (optical drop wire/cable) ซึ่งมักจะมีเส้นใยแก้วเพียง 1-2 เส้นเท่านั้น และต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ITU-T G.657 (A2/B2)



รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมเครือข่าย FTTx (FTTH)

โครงข่ายสื่อสารหลักในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้เคเบิลใยนำแสงเป็นสายสัญญาณในการเชื่อมต่อ แม้ว่าการติดตั้งเคเบิลจะทำได้หลายลักษณะ เช่น การแขวนอากาศ การฝัง ร้อยท่อ รวมทั้งพาดผ่านภูมิประเทศที่เป็นน้ำ แต่การติดตั้งส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะเป็นการติดตั้งแบบแขวนอากาศ (aerial cable) ในอดีตเคเบิลสื่อสารเป็นสายทองแดง ซึ่งมีความแข็งแรงทนทาน สามารถรับแรงดึงและน้ำหนักตนเอง (เคเบิล) ได้เมื่อถูกแขวนไปตามเสาเป็นระยะทางไกล ต่อมาใยนำแสงเริ่มเข้ามามีบทบาทแทนสายทองแดง เนื่องจากใยนำแสงทำจากแก้วซึ่งเปราะบาง เมื่อนำมาประกอบเป็นเคเบิลจึงต้องใช้ลวดโลหะทำหน้าที่เป็นสายสะพาน (messenger wire) เพื่อรับแรงดึงและน้ำหนักของเคเบิล ในอดีตโครงสร้างเคเบิลแบบรูปเลขแปด (figure 8) เป็นโครงสร้างที่ได้รับความนิยมใช้ติดตั้งในเมืองไทย ต่อมาเริ่มมีการพัฒนาโครงสร้าง

เป็นแบบ ADSS (all dielectric self support) ซึ่งเปลี่ยนตัวรับแรงดึงจากโลหะเป็นอโลหะ โดยเคเบิลแบบ ADSS จะไม่มีส่วนประกอบที่เป็นโลหะเลย ซึ่ง ADSS เป็นเคเบิลที่เริ่มนิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา โดยเฉพาะในโครงการเน็ตประชารัฐของรัฐบาล อย่างไรก็ตาม ADSS เป็นเคเบิลที่มีเส้นใยนำแสงบรรจุภายในเป็นจำนวนมาก เหมาะกับการเชื่อมต่อระหว่างโหนดสื่อสาร ซึ่งไม่เหมาะกับการนำใช้งานในเครือข่ายการเข้าถึงอย่าง FTTx ที่ต่อเชื่อมบ้านผู้ใช้กับเครือข่ายของผู้ให้บริการ ที่ต้องการเพียงแค่เส้นใยนำแสงเพียง 1-2 เส้นเท่านั้น ดังนั้นโครงสร้างของสายกระจายเชิงแสงในช่วงแรกจึงมักใช้ลวดโลหะเป็นสายสะพาน

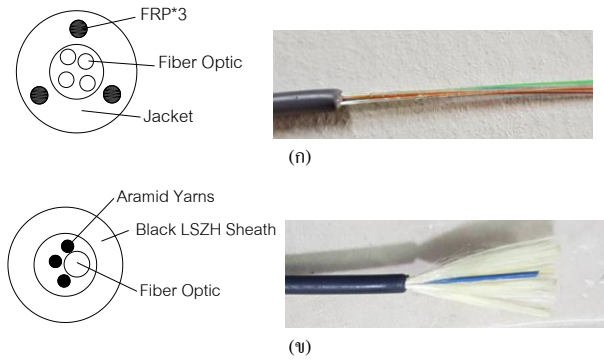
เมื่อเร็ว ๆ นี้ การไฟฟ้านครหลวงได้ออกระเบียบห้ามติดตั้งสายสื่อสารเคเบิลใยแสงที่มีส่วนประกอบที่เป็นโลหะ [1] โดยจะเริ่มบังคับใช้ในช่วงปี 2563 นี้เป็นต้นไป ทำให้ผู้ประกอบการต้องจัดหาเคเบิลสายกระจายที่เหมาะสม ทั้งนี้การออกแบบเคเบิลดังกล่าวมักเป็นองค์ความรู้เฉพาะที่จดสิทธิบัตร [2] ของนวัตกรรมและผู้ผลิตชั้นนำ บทความนี้จะนำเสนอการออกแบบเคเบิลใยแสงแบบไม่มีโลหะเป็นส่วนประกอบสำหรับใช้งานในเครือข่ายเข้าถึงและ FTTx ของทีโอที โดยการเลือกใช้วัสดุรับแรงดึงที่เหมาะสม การกำหนดโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีขนาดเล็กเหมาะกับการใช้งาน และสามารถติดตั้งได้ด้วยอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิม จากการทดลองสร้างต้นแบบ 4 เเวอร์ชันแล้วทดสอบเชิงแสงและเชิงกลตามมาตรฐานสากลที่กำหนด ในที่สุดก็ได้โครงสร้างเคเบิลที่เหมาะสมในเวอร์ชันที่ 4 พร้อมทั้งจะผลิตและติดตั้งใช้งานจริงในประเทศต่อไป

## 2. เคเบิลเส้นใยนำแสงที่ไม่มีโลหะเป็นส่วนประกอบ

จากการศึกษาข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในประเทศไทย จากเว็บไซต์ และจากการประสานกับผู้ผลิตทั้งในและต่างประเทศ พบว่าเคเบิลเส้นใยนำแสงที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะสำหรับเครือข่ายเข้าถึงพอจะแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) เคเบิลแบบมีสายสะพานรับแรงดึงที่ผลิตจากวัสดุกลุ่ม FRP (Fiber-Reinforced Polymer) มีรูปร่างเป็นแกนคล้ายเส้นลวดดัดแสดงในรูปที่ 2 (ก) สามารถติดตั้งใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารด้วยวิธีร้อยท่อหรือวางบนฝ้าเพดาน กรณีภายนอกอาคารสามารถติดตั้งกับสายสะพานที่รับแรงดึงระหว่างจุดติดตั้งก่อนนำเคเบิลคล้องกับห่วงเพื่อประคองสายเป็นระยะ ทำให้มีจุดเด่นที่รับแรงดึงระหว่างจุดติดตั้งได้สูง ข้อด้อยของเคเบิลแบบนี้คือมีรัศมีการโค้งงอมาก ทำให้ไม่สะดวกในการติดตั้งในพื้นที่ที่ต้องมีการโค้งงอมาก

2) เคเบิลแบบไม่มีสายสะพานรับแรงดึงแต่ใช้เส้นใย (Yarn) เช่น Aramid Yarn หรือ Glass Yarn ทำหน้าที่รับแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) การติดตั้งใช้งานภายในอาคารด้วยวิธีร้อยท่อหรือวางบนฝ้าเพดาน มีจุดเด่นคือ โค้งงอได้มาก แต่ก็มีข้อด้อยที่รับแรงดึงระหว่างจุดติดตั้งได้น้อย



รูปที่ 2 เคเบิลเส้นใยนำแสงที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะสำหรับเครือข่ายเข้าถึง

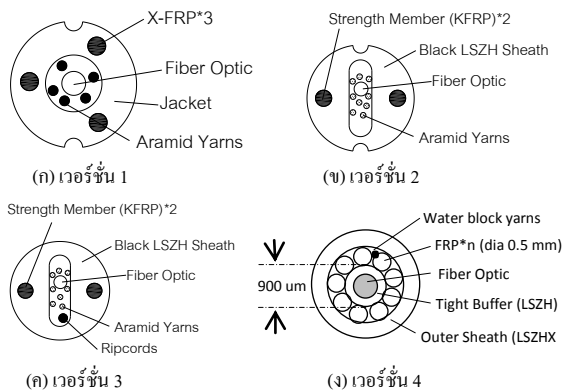
## 3. การออกแบบเคเบิล

โดยทั่วไปเคเบิลเส้นใยนำแสงที่ใช้ในเครือข่ายการเข้าถึงอย่าง FTTx มักประกอบด้วยเส้นใยนำแสงชนิดโหนดเดี่ยวจำนวน 1-2 เส้น ทำให้มีขนาดเล็ก ประกอบกับข้อกำหนดของการไฟฟ้าในการพาดเสา สายเคเบิลที่ใช้ต้องไม่มีส่วนประกอบที่เป็นโลหะ วัสดุที่ใช้ทำสายเคเบิลจึงต้องเป็นอโลหะทั้งหมด ทำให้โครงสร้างสายเคเบิลต้องไม่มีสายสะพานรับแรงดึงโลหะ และต้องเป็นชนิดที่รับน้ำหนักและแรงดึงได้ด้วยตัวเอง (self-support) ที่ผ่านมาผู้ประกอบการในประเทศไทยบางรายที่ให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านสายส่งที่เป็นเคเบิลเส้นใยนำแสงไปยังบ้านผู้ใช้ มักใช้เคเบิลเส้นใยนำแสงชนิดแบน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาสเปกของสายเคเบิลชนิดแบนจะพบว่าถูกออกแบบสำหรับติดตั้งใช้งานกับระยะทางใกล้ (ประมาณไม่เกิน 100 m) อีกทั้งคุณภาพและความคงทนในการใช้งาน ขึ้นกับวัสดุที่ใช้ทำเปลือกหุ้มสายเคเบิล หากเปลือกเคเบิลมีความยืดหยุ่นต่ำ จะทำให้คุณภาพและความคงทนลดลง ในทางกลับกัน เคเบิลชนิดแบนที่มีความคงทนสูง จะเลือกใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง ทำให้ต้นทุนสายเคเบิลเพิ่มสูงขึ้นด้วย

จากบริบทข้างต้น สายเคเบิลชนิดแบนจึงไม่เหมาะกับการใช้งานในเครือข่ายการเข้าถึงของ บมจ.ทีโอที ที่มีโครงข่ายสื่อสารครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ และมีเส้นทางเดินสายในเครือข่ายการเข้าถึงที่อาจมีระยะทางยาวถึง 300 m ในหลายพื้นที่ ดังนั้น บมจ.ทีโอที จึงได้ออกแบบสายเคเบิลเส้นใยนำแสงสำหรับใช้งานในเครือข่ายการเข้าถึง (Access OFC) เพื่อรองรับการใช้งานที่มีระยะทางยาวได้ ภายใต้ชื่อ Optical Fiber Drop Cable for FTTx ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบกลม (Round Type) บรรจุเส้นใยนำแสงชนิดโหนดเดี่ยว 1-2 เส้น เรียกสั้น ๆ ว่า OFC Round Type สายเคเบิลที่ออกแบบไม่มีท่อหุ้ม (Loose Tube) แต่จะใช้เส้นใยนำแสงชนิดท่อแน่น (Tight-Buffered Fiber) พันด้วย Aramid Yarn เพื่อช่วยรับแรงและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากแรงกระทำต่อเส้นใยนำแสง เนื่องจากแนวปฏิบัติในการติดตั้งสายเคเบิลแบบแขวนอากาศ จะแขวนบนเสาไฟฟ้าที่มีระยะห่างระหว่างเสา 40 m อีกทั้งอาจต้องมีการโค้งงอได้ระดับหนึ่งสำหรับการขดสายส่วน

ความยาวสำรองเป็นวงหรือลูป (loop) ที่เสาไฟฟ้าหรือก่อนเข้าอาคาร เพื่อความสะดวกต่อการซ่อมบำรุงในอนาคต จึงต้องออกแบบให้เคเบิลรับแรงดึงขณะใช้งานได้ถึง 1,000 N และสามารถติดตั้งด้วยอุปกรณ์ยึดสายกระชาก (drop wire clamp) ที่ใช้อุณหภูมิได้หนึ่ง เมื่อมีการโค้งงอ สายเคเบิล เส้นใยนำแสงภายในจะเกิดการยึดที่ผิวด้านหนึ่งและถูกกดที่ผิวอีกด้านหนึ่ง ดังนั้น สายเคเบิลที่ออกแบบต้องมีรัศมีการโค้งไม่น้อยกว่า 20 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเคเบิลขณะติดตั้ง และไม่น้อยกว่า 15 เท่า เมื่อติดตั้งและจับยึดเคเบิลเรียบร้อยแล้ว โดยที่การโค้งต้องไม่กระทบต่อการทำงานเชิงแสงของมัน

นอกจากนี้ ในการออกแบบ โครงสร้างสายเคเบิลชนิดกลมนี่จะต้องคำนึงถึงถึงการป้องกันสัตว์กัดแทะ วัสดุที่ใช้ทำเคเบิลต้องเป็นโลหะ ในขณะที่เคเบิลต้องมีความแข็งแรงทนทานและรับแรงดึงได้ดี จึงเลือกใช้วัสดุที่เป็นกลุ่มไฟเบอร์พลาสติกเสริมแรงหรือวัสดุคอมโพสิต (Composites) ในเบื้องต้นได้ทำการศึกษาวัด 4 ประเภท คือ GFRP (Glass Fiber-Reinforced Polymer), AFRP/KFRP (Aramid/Kevlar Fiber-Reinforced Polymer), CFRP (Carbon Fiber-Reinforced Polymer) และ Nylon-12 เมื่อพิจารณาคุณสมบัติวัสดุและหารือกับผู้ผลิตสายแล้ว วัสดุที่เหมาะสมในโครงการนี้จะเลือกใช้ GFRP และ AFRP/KFRP เนื่องจากสามารถโค้งงอได้มาก รับแรงดึงได้สูง น้ำหนักเบา มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและราคาเหมาะสม



รูปที่ 3 โครงสร้างของเคเบิลที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ

รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างเคเบิลที่ออกแบบในโครงการวิจัยนี้จำนวน 4 เวอร์ชัน รูปที่ 3 (ก) เวอร์ชัน 1 พัฒนาจากโครงสร้างสายเคเบิลภายในอาคารของได้หวั่นชนิด Non-metallic Anti-bending ใช้วัสดุ GFRP ฝังในเปลือกเพื่อรับแรงดึง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (OD) 3.5 mm เสาร่องสองร่องตรงข้ามกันเพื่อความสะดวกในการลอกเปลือก เมื่อทำการผลิตเคเบิลต้นแบบความยาว 1000 m แล้วทำการทดสอบการรับแรงทางกลแรงดึง 300 N ต่อเนื่อง 5 นาที พบว่าคุณสมบัติทางแสงไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน อีกทั้ง โรงงานผู้ผลิตแจ้งว่ากระบวนการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก จากข้อจำกัดเรื่องขนาด OD 3.50 mm ทำให้ควบคุมความหนาของเปลือกได้ค่อนข้างยาก อีกทั้งในกระบวนการผลิตสายบางช่วงวัสดุรับแรงดึง GFRP ฝัลออกมาภายนอกเปลือกหุ้ม จากข้อจำกัดเรื่องขนาด OD ทำ

ให้ไม่สามารถใช้แกน GFRP ขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อรับแรงดึงที่มากกว่านี้ได้ จึงได้ทำการปรับปรุงเป็นเวอร์ชัน 2 ดังรูปที่ 3 (ข) โดยปรับโครงสร้างใช้แกนรับแรงดึง 2 เส้นฝังในเปลือกตรงข้ามกัน แกนกลางออกแบบเป็นทอกลวงรูปวงรี และเพิ่มความหนาเปลือกตำแหน่งแกนรับแรงดึงให้สามารถเพิ่มสายรับแรงดึงขนาดใหญ่ขึ้น การเสาร่องเป็นเช่นเดียวกับเวอร์ชัน 1 ในระหว่างการออกแบบเวอร์ชัน 2 ได้รับรายงานจากผู้ให้บริการ FTTx ที่ใช้เคเบิลชนิดแบนที่มีร่องคล้ายกันนี้ว่า เจอปัญหาแมลงวางไข่ในร่องที่เสา เมื่อแมลงโตขึ้นได้ซ่อนไข่เปลือกเป็นเหตุให้โครงสร้างสายชำรุดเสียหายได้ จึงได้พัฒนามาเป็นเวอร์ชัน 3 โดยตัดร่องทั้ง 2 ร่องออกพร้อมเพิ่มสาย Ripcords ในทอวงรีภายในเพื่อสะดวกในการลอกเปลือก พร้อมทั้งเปลี่ยนวัสดุรับแรงดึงเป็น AFRP/KFRP ดังรูปที่ 3 (ค)

เมื่อทำการผลิตต้นแบบเคเบิลเวอร์ชัน 3 จำนวน 1 ระเบียบ ยาว 1000 m แล้วทำการทดสอบเชิงกลและเชิงแสง พบว่าส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด แต่เมื่อสุ่มวัดขนาดกลับพบว่า ค่า OD มีค่าไม่คงที่เกินกว่าที่กำหนด แสดงว่ายังคงมีปัญหาในการควบคุมขนาดระหว่างการผลิต เช่นเดียวกับเวอร์ชันที่ผ่านมา ประกอบกับเมื่อทดสอบการเชื่อมต่อดั้ววิธีหลอมรวมแบบสไปลซ์ (fusion splice) กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้อุปกรณ์ของ บมจ.ทีโอที ได้พบปัญหาไม่สามารถเชื่อมต่อได้ในหลายกรณี จึงได้พัฒนาเป็นเวอร์ชัน 4 ต่อมา

เคเบิลเวอร์ชัน 4 มีโครงสร้างแตกต่างจากเวอร์ชัน 1-3 โดยพัฒนาจากโครงสร้างของเคเบิล ADSS ชนิดมีเกราะโลหะที่ป้องกันสัตว์กัดแทะ แกนในสุดวางเส้นใยนำแสง 1F ชนิดท่อแน่น (Tight Buffer) เส้นผ่านศูนย์กลาง 900 um ตามมาตรฐาน ITU-G657A/A1 ฝับรอบด้วยเส้นใยกันน้ำ (Water Block Yarns) ก่อนล้อมรอบด้วยเส้น FRP เป็นวงกลม ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเกราะป้องกันสัตว์กัดแทะ ชั้นนอกสุดห่อหุ้มเปลือกด้วยวัสดุป้องกันลามไฟ LSZH (Low Smoke Zero Halogen) OD รวม 3.50 mm จากการทดสอบเคเบิลต้นแบบที่ผลิตมาจำนวน 1 ระเบียบ ยาว 1000 m พบว่า เคเบิลเวอร์ชัน 4 ผ่านการทดสอบเหมาะสมกับการนำมาใช้งานในเครือข่ายของ บมจ.ทีโอที

#### 4. ผลการทดสอบเคเบิลเวอร์ชัน 4

การทดสอบคุณสมบัติเชิงแสงและเชิงกลเบื้องต้นของเคเบิลเวอร์ชัน 4 จะต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) และ/หรือ IEC [3], [4] จากโรงงานผู้ผลิตเคเบิลต้นแบบก่อน เช่น Mode Field Diameter, Cladding Diameter, Zero Dispersion, Chromatic Dispersion, Polarization Mode Dispersion ฯลฯ ทั้งนี้ผลการทดสอบทางกลที่สำคัญผ่านมาตรฐานทุกหัวข้อ จากนั้นผู้วิจัยทำการทดสอบซ้ำ ณ ห้องปฏิบัติการของสถาบันนวัตกรรม ทีโอที (น.ฐ.) เพื่อทวนสอบ/ทดสอบเพิ่มเติม และวิเคราะห์ปัญหาที่คาดว่าจะเกิดจากการติดตั้งใช้งาน

ปัญหาการควบคุมขนาด OD ถูกขจัดไปด้วยการออกแบบในเวอร์ชัน 4 ผลการทวนสอบด้วยเครื่องวัดละเอียด Profile Projector จากการตัดตัวอย่าง 3 ตำแหน่ง ระยะห่างตำแหน่งละ 3 เมตร ได้ค่าเฉลี่ย OD อยู่

ในช่วง 3.3-3.7 mm ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 1 ค่าการลดทอนสัญญาณของสายเคเบิล Version 4 ที่วัดด้วยเครื่องมือ OTDR

Wavelength (nm)	Specification of Max. Attenuation (dB/km)		Test Result cable V.4
	TOT (OES-004-055-02)	cable V.4	
1310	0.38	0.38	0.332 (0.337)
1383	0.35	0.35	0.287 (0.279)
1490	0.30	0.30	0.235 (0.241)
1550	0.28	0.26	0.186 (0.199)
1625	0.30	0.30	0.192 (0.201)
≤ ** dB/km			dB/km

หมายเหตุ \*\* คือค่า Test Result Cable Version 4 เมื่อค่าแรกเป็นค่าจากโรงงานผู้ผลิต ค่าในวงเล็บเป็นผลทวนสอบของสถาบันวิศวกรรม ทีโอที

การวัดคุณลักษณะเชิงแสง เช่น ค่าการลดทอนสัญญาณ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 จะเห็นว่าผลการทดสอบผ่านเกณฑ์เพราะมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดในทุกค่าความยาวคลื่นที่ใช้งาน เช่น ที่ความยาวคลื่นแสง 1550 nm ค่าที่วัดได้จากโรงงานและห้องทดสอบของทีมวิจัยคือ 0.186 dB/km และ 0.199 dB/km ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดในสเปก

ความสามารถในการโค้งงอถือเป็นสิ่งสำคัญในการติดตั้งเคเบิลในเครือข่าย FTTx มาตรฐาน ITU G652 กำหนดครีสมิโค้งงอค่าสูงสุดที่ 30.0 mm ในการทดสอบการโค้งงอค่าสูงสุดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการลดทอนสัญญาณ ทำการม้วนสาย 10 รอบ บนแกนรัศมี 15 mm แล้ววัดค่าการลดทอนสัญญาณที่ความยาวคลื่น 1550 nm ได้ ≤ 0.25 dB/km ใดๆก็ตาม เมื่อทดลองโค้งงอรัศมีที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน วัสดุรับแรงดึงที่ผลิตจาก FRP เกิดมีเสียงผิดปกติ แต่ไม่กระทบคุณสมบัติในการนำแสง ผิวภายนอกของเปลือกเมื่อตรวจพินิจด้วยตาเปล่าไม่ชำรุดเสียหาย สรุปผลการทดสอบการโค้งงอผ่านเกณฑ์ที่กำหนด สามารถรองรับการโค้งงอในสภาพวิกฤตได้เหมาะสมกับการนำมาใช้งาน

การทดสอบการรับแรงดึงแบบทำลายของเคเบิลที่ใช้วัสดุรับแรงดึง FRP เวอร์ชัน 4 จำนวน 3 ตัวอย่าง กระทำที่ความเร็วทดสอบ 50 mm/min ผลการทดสอบรับแรงดึงแบบทำลายเฉลี่ยเท่ากับ 1019.20 N ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าแรงดึงขณะใช้งานที่กำหนดเป็น ≥ 300 N ทั้งนี้วัสดุรับแรงดึงที่ผลิตจากแกน FRP สามารถลดต้นทุนในการผลิตเฉพาะวัสดุรับแรงดึงลงได้ 10-30 %

การทดสอบการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงของสายเคเบิลแบบเวอร์ชัน 4 ด้วยเครื่อง Fusion Splicer กับเส้นใยนำแสงอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น สาย Pigtail Optical Fiber และสายของอุปกรณ์ OFTK ด้วยอุปกรณ์จับยึดสายขนาด 3.50 mm ผลการทดสอบผ่านทุกหัวข้อตามเกณฑ์ที่กำหนด (เวอร์ชัน 3 ไม่ผ่านการทดสอบนี้)

## 5. สรุป

บทความนี้นำเสนอรายละเอียดในการออกแบบเคเบิลเส้นใยนำแสงแบบไม่มีโลหะเป็นส่วนประกอบสำหรับใช้งานในเครือข่ายการเข้าถึง

แบบ FTTx ตามมาตรฐาน ITU-G.657A/A1/A2 แนวความคิดในการออกแบบพัฒนาจากเคเบิลแบบเดิมที่มีลวดโลหะเป็นสายสะพานทำหน้าที่รับแรงดึง โดยการเลือกใช้วัสดุ FRP แทนโลหะในการรับแรงดึงจากการพัฒนาออกแบบเคเบิล 4 เวอร์ชัน ในที่สุดได้เคเบิลเวอร์ชัน 4 ที่พัฒนามาจากการย่อส่วนโครงสร้างเคเบิลแบบ ADSS ที่ใช้ FRP จัดวางเป็นเกราะเพื่อรับแรงดึงและป้องกันสัตว์กัดแทะไปพร้อมกัน ผลการทดสอบเชิงกลและเชิงแสงจากโรงงานที่ผลิตต้นแบบและการทวนสอบการวัดจากทีมงานของสถาบันวิศวกรรม ทีโอที พบว่าเคเบิลเวอร์ชัน 4 ผ่านการทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหมาะกับการนำไปใช้งานในเครือข่ายสื่อสารของทีโอทีตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าที่กำหนดให้สายเคเบิลสื่อสารที่พาดเสาไฟฟ้าต้องไม่มีส่วนประกอบของโลหะนับตั้งแต่ช่วงปี 2563 เป็นต้นไป

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทีมงานจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร บมจ.ทีโอที บริษัทไฟเบอร์ ออปติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด บริษัท เอสซีซี เคมิคอลส์ จำกัด บริษัท อินเทอร์เน็ต คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (มหาชน) และ บริษัท ที.ยู.บี. แอคเซสซอรี จำกัด ที่ให้คำปรึกษาและ สนับสนุนการ ออกแบบ ผลิต และทดสอบสายเคเบิลต้นแบบ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ระเบียบการไฟฟ้านครหลวง ว่าด้วย หลักเกณฑ์การติดตั้งสายสื่อสารบนเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง พ.ศ. 2563
- [2] B. Villiger et al., *Long Span Drop Cables*, USA, US Patent 2020/0158971 A1, May 21, 2020.
- [3] อธิคม ฤกษ์บุตร, “มาตรฐานทางเทคนิคสำหรับการทดสอบเคเบิลเส้นใยนำแสงในงานสื่อสาร โทรคมนาคม”, เอกสารรวมเล่มการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42 (EECON-42), โรงแรมเดอะกรีนเนอรี่ รีสอร์ท เขาใหญ่, จ.นครราชสีมา, หน้า 337-340, 30 ตุลาคม - 1 พฤศจิกายน 2562
- [4] มอก. 2051-2556, เคเบิลเส้นใยนำแสง เล่ม 1 – 2 ข้อกำหนดคุณลักษณะทั่วไป – วิธีดำเนินการทดสอบเคเบิลเส้นใยนำแสงพื้นฐาน, *ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 130 ตอนพิเศษ 17 ง*, ตุลาคม 2556



**นฤทธิสมเจริญย์ ส้าภาพล** สำเร็จปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นผู้จัดการส่วนบริหารทดสอบและสอบเทียบ สถาบันวิศวกรรมทีโอที มีความเชี่ยวชาญในการสร้างนวัตกรรมด้านโทรคมนาคม เคยได้รับรางวัลระดับนานาชาติ รางวัลเหรียญทอง Gold Medal Brussels Eureka 2000 ในงาน Brussels Eureka2000 (49th World Exhibition of Innovation Research and New Technology) ประเทศเบลเยียม และรางวัลประกวดสิ่งประดิษฐ์ รองชนะเลิศอันดับหนึ่ง ปี พ.ศ. 2539 จากสภาวิจัยแห่งชาติ



**อธิคม ฤกษ์บุตร** สำเร็จปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปริญญาโทวิศวกรรมไฟฟ้าจาก Florida Institute of Technology สหรัฐอเมริกา และปริญญาเอกวิศวกรรมไฟฟ้าสาขา Optical Communication จาก University of New South Wales ออสเตรเลีย ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร มีความสนใจงานวิจัยด้านเทคโนโลยีเชิงแสง ระบบสื่อสารเชิงแสง และการประมวลสัญญาณเชิงแสง เป็นนชกสมาคมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (ประเทศไทย) นายกสมาคมวิชาการด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมโทรคมนาคม และ ประธาน กว.ที่ 78 จัดทำมาตรฐานสื่อสารโทรคมนาคม ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม