



รายงานผลการวิจัยและพัฒนา
เรื่อง

วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาโครงข่ายสาย Optical Fiber
ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์

ANALYSIS AND TROUBLESHOOTING FOR
OPTICAL FIBER DAMAGE CAUSED BY RODENT.

โดย

นาย สมศักดิ์ มหาวิริโย

นาย สิทธิพร สิทธิพลางกูร	นาย สันต์ เพชรพราว	นาย สุริยะะ เจือจันทร์
นาย สุพจน์ พุกสุริยวงศ์	นาย พิสันต์ พงษ์ไชโสภณ	นาย สุทัศน์ ชำศิริ
นาย ประทีป พูลเกษม	นาย นิพันธ์ วรรณนันทชัย	นาย กวี จะเกร็ง
นาย ปกรณ์ มิตรรางกูร	นาย พิพัฒน์ จงรักวิทย์	นาย สมาน ปู่เมือง
นาย วิศรุต ควรสุภา	นาย พรศิลป์ จันทรงสิกุล	นาย กนกศักดิ์ อารงลักษณ์รัตน์
นาย เดชา สุขพ้อคำ	นาย ประชุมพล กองนิล	นาย สุระทิน ยงสมบุญ
นาย ธงชัย ชันทอง	นาย สุวันชัย เจริญนนทวัฒน์	นาย ปราบธนา โปธารมย์
นาย นฤทธิสมเจริญ สำเภาพล		

สำนักขายและบริการลูกค้าภูมิภาคที่ 1

สายงานขายและบริการลูกค้า บริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน)



รายงานผลการวิจัยและพัฒนา

เรื่อง

วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาโครงข่ายสาย Optical Fiber
ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์

ANALYSIS AND TROUBLESHOOTING FOR
OPTICAL FIBER DAMAGE CAUSED BY RODENT.

ชนิดของรายงาน

ผลการศึกษา ผลการวิจัย ผลการสำรวจ

ชนิดของรายงาน

ลับ เฉพาะ บมจ. ทีโอที ทั่วไป

(นาย สมศักดิ์ มหาวิริโย)

ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่สำนักขายและบริการลูกค้าภูมิภาคที่ 1

16 ม.ค. 2560

สรุปผู้บริหาร

สายเคเบิลใยแก้วนำแสง (OFC: Optical Fiber Cable) ชำรุดเสียหายจากสัตว์กัดแทะ สร้างผลกระทบต่อการใช้งานทั้งโครงข่ายหลัก (Core Network) และโครงข่ายรอง (Access Network) เมื่อสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหาย พนักงานที่ดูแลโครงข่ายนั้นๆ ต้องรีบดำเนินการซ่อมบำรุง เปลี่ยนเคเบิลเส้นใหม่ทดแทน บางพื้นที่ปัญหาเกิดซ้ำๆ ต้องฝังสายเคเบิล OFC ลงใต้พื้นดินช่วงที่มี ปัญหาสัตว์กัดแทะรุนแรง

จากปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งาน บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ได้มีคำสั่งแต่งตั้ง คณะทำงานที่ ต.183/2559 เรื่อง “แต่งตั้งคณะทำงานวิเคราะห์และแก้ปัญหาโครงข่ายสาย Optical Fiber ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์” ลงนามโดย นาย มนต์ชัย หนูสง กรรมการผู้จัดการใหญ่ (กจญ.) มอบหมาย นาย สมศักดิ์ มหาวิริโย ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่สำนักขายและบริการลูกค้า ภูมิภาคที่ 1 เป็นหัวหน้าคณะทำงาน

ผลการดำเนินงาน วิเคราะห์ ศึกษาแนวทางแก้ไข ผลิตต้นแบบทดลองในห้องปฏิบัติการและ ภาคสนาม ผลการดำเนินงานสามารถแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด ครอบคลุมสามารถแก้ไขปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ทั้งที่ติดตั้งใช้งานเดิม และจะติดตั้งใหม่

สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานแล้ว สามารถเคลือบผิวด้วยสารจาระบีเคลือบเชื่อมกับเปลือก ของสายเคเบิล OFC แต่มีข้อจำกัดต้องเคลือบฯ ซ้ำทุก 2-3 ปี

สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใหม่ ทีมงานวิจัยได้ออกแบบสาย ARSS OFC (Anti-Rodent Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) โครงสร้างมีเกราะโลหะห่อหุ้มป้องกันสัตว์กัดแทะ สามารถรับแรงดึงด้วยตัวเองเหมือนสาย ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) ข้อมูลทางเทคนิคสอดคล้องกับข้อบังคับการแขวนสายสื่อสาร สามารถแขวนกับ เสาของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ได้

สาย OFC ขนาด 1-2 F ทีมงานวิจัยโครงการนี้ ออกแบบโครงสร้างมีโลหะห่อหุ้ม (Spiral Steel Pipe) ผลิตจาก Stainless Steel เกรด SUS304 ด้านบนมีเส้นลวดรับแรงขนาด 1X1.2 ฉนวนใช้ วัสดุ LSZH (Low Smoke Zero Halogen) ภายใต้ชื่อสาย Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F)” หรือ เรียกสั้นๆ Armoured Round Type

วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาโครงข่ายสาย Optical fiber ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์

Analysis and Troubleshooting for Optical Fiber Damage Caused by Rodent.

นาย สมศักดิ์ มหาวิริโย¹ และคณะ

Somsak Mahaviriyo and Team

บทคัดย่อ

ปัญหาสายเคเบิลใยแก้วนำแสง (OFC: Optical Fiber Cable) ที่แขวนกับเสาของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ชำรุดเสียหายจากสัตว์กัดแทะกระจายในหลายพื้นที่ของประเทศไทย บมจ.ทีโอที แก้ปัญหาโดยนำสายเคเบิล OFC ที่มีเกราะโลหะหุ้มชนิด Armoured Aerial Cable (AA) มีสายสะพานรองรับน้ำหนักคล้ายสาย AP-8 มาใช้งาน สามารถแก้ปัญหาจากสัตว์กัดแทะสาย OFC ลงได้ แต่ไม่สามารถนำสายเคเบิล OFC ที่มีเกราะโลหะหุ้มมาใช้ในเขต กฟน. ได้ จากเหตุผลสายสะพานดึงให้เสาไฟฟ้าล้มเป็นแนวหลายๆ ต้น กรณีมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นและในอนาคต กฟภ. จะห้ามแขวนดังกล่าวด้วย จากปัญหาข้างต้น ทีมงานได้วิจัยออกแบบสาย ARSS OFC (Anti-Rodent Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) โครงสร้างมีเกราะโลหะหุ้ม รับแรงดึงด้วยตัวเองเหมือนสาย ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและทดลองติดตั้งใช้งานจริงในสนาม สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะสาย OFC ได้

Abstract

The problems of Optical Fiber Cable hanging on electricity posts of Provincial Electricity Authority (PEA) and Metropolitan Electricity Authority (MEA), which was damaged by rodent currently, occurred in several areas of Thailand. Although TOT could use Armoured Aerial Cable (AA) with Cable Bridge for self-support which resembles AP-8 to solve this problem. But Armoured Aerial Cable (AA) could not be used in MEA's areas due to cable bridge may pull down electricity posts. In case of this accident occurs, PEA also will not allow to hang this cable in the future. From the above mentioned problem, TOT had designed ARSS OFC (Anti-Rodent self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) which its structure is enclosed by metal with self-support pulling force as well as ADSS OFC (All Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Cable) to solve the problem instead. The result in laboratory and field trial found that can protect cable from rodent damage effectively.

Key Word: Optical Fiber Cable, ARSS, Anti-Rodent Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable, Rodent

E-mail: naritsos@tot.co.th

¹ สำนักขายและบริการลูกค้าภูมิภาคที่ 1 สายงานขายและบริการลูกค้า บริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน)

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของงานวิจัยการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาโครงข่ายสาย Optical Fiber ขำรดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์นี้ สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือของพนักงานทั้งในระดับผู้บริหารและพนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่ในสนามของ บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) หรือ บมจ.ทีโอที ทั้งนครหลวงและภูมิภาคที่ให้ข้อมูลคำแนะนำและเป็นสนามทดลองในการเก็บข้อมูล และบริษัทที่ร่วมวิจัยผลิตต้นแบบ เคเบิล อุปกรณ์จับยึด อุปกรณ์ติดตั้งใช้งานทั้งในประเทศและต่างประเทศ ที่สนับสนุนต้นแบบ ข้อมูลด้านวิชาการ ร่วมวิเคราะห์แนวทางในการแก้ไขปัญหา และให้คำปรึกษาอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณ

ผู้บริหาร บมจ.ทีโอที จำกัดมหาชน

นาย มนต์ชัย หนูสง	กรรมการผู้จัดการใหญ่
นาย กำธร ไวทยกุล	รองกรรมการผู้จัดการใหญ่หน่วยธุรกิจโครงสร้างพื้นฐาน
นาย โสภณ เนตรสุวรรณ	ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่สำนักสนับสนุนโครงสร้างพื้นฐาน
นาย เทพธีระ เพชรรัตน์	ผู้จัดการสถาบันนวัตกรรม ทีโอที

สังกัด สถาบันนวัตกรรม ทีโอที

คุณ รณยุทธ ประเสริฐประศาสน์, คุณ ทศไฉย เลานวัฒนา, คุณ ถนอมศักดิ์ แก้วสุกัญญา
คุณศักดิ์สิทธิ์ จิระเสวี, คุณ ดำริห์ ตรีจรรยา, คุณ ไพศาล แข่งเจริญ, คุณ กิตติโชค บุญชัยยะ
คุณ วรวิทย์ อรชร, คุณ มินตรา ศรีอำพันธุ์, คุณ สรรเสริญ ทรงเผ่า, คุณ ยุทธนา ขาวอุปถัมภ์
คุณ วรวิทย์ รอดอนันต์

สังกัด ส่วนบริการลูกค้าจังหวัดราชบุรี (บมจ.1.1 (รบ.))

นายประภัสร์ เขียนประชา, นายประสาน ต้นสุน, นายคณิศร แต่งประวัตติ
บ. พีวีเอส คอมมูนิเคชั่น (แขวนสายต้นแบบฯ)

สังกัด ส่วนปฏิบัติการระบบตอนนอกที่ 4.2 (ตบน.4.2)

คุณ เสณเวส คณศวรานันท์, คุณ สมเกียรติ พาณิชย์, คุณ ฐิติ พราหมณนันท์
คุณ ทองปาน จำลองสอง, คุณ ธีรพล เทียมสีหา, คุณ โกศล ปัญญาเลิศตระกูล
คุณ แดนไกล ภูวัตตุ คุณ วรารุณี พุ่มแย้ม

บริษัท เอชบีซี เทเลคอม จำกัด (HBC)

คุณ อาคม แรกตั้ง, คุณ นาวิ จำงสกุล, คุณ สมหมาย ขุขันธิน, คุณ อำนาจ เกิดศรี

บริษัท สยามไฟเบอร์ ออพติคส์ จำกัด (SFO)

คุณ สติชัย ตาบเพ็ชร, คุณ สันติ พูลเสมอ, คุณ สาธิตา ผดุงเพ็ชร

บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC)

คุณ สุรินทร์ ดุงโคกกรวด, คุณ อรุพงษ์ จันทร์เสม, คุณกิตติศักดิ์ คชภักดี
คุณ วรรณลักษณ์ ชวักัณหา

บริษัทไฟเบอร์ ออปติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM)

คุณ สุรชัย เสรีวิริยะกุล, คุณ พิบูลศรี สมบูรณ์, คุณ วีรพล หิรัญธารา, คุณ ภาวิณี พัทธิมไสย

บริษัท แอสตรา คอมมิวนิเคชั่น เซอร์วิส

คุณ จันทพร เจริญลาภนพรัตน์, คุณ ณิชภัทร ทองละมุน, คุณสุชญา สีนเจริญกุล
คุณ สรลัดดา งามชาติตระกูล

ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส เจ พี เทคโนโลยี (SJP)

คุณ วิโรจน์ เลิศวารีเวช, คุณ เจษฎา เลิศวารีเวช

บริษัท Preformed Line Products (Thailand) Ltd.

คุณ อำนวย กาญจนรัตน์, คุณ กิตติ ตั้งจิตทวีชัย, คุณ เรืองเดช เฉลิมญาติ

และอาจมีอีกหลายส่วนงานที่ได้กล่าวถึง คณะทำงานขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้
และหวังว่าคงได้รับความร่วมมือจากทุกท่านในโอกาสต่อไป

คณะทำงาน

TOT Public Company Limited
(www.tottcal.com)

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย	2
1.3 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	2
1.4 พันธมิตรร่วมวิจัย	3
1.5 วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย	4
บทที่ 2. โครงสร้างสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงและปัญหาสัตว์กัดแทะสาย	5
2.1 โครงสร้างเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง	6
2.1.1 เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)	6
2.1.2 Cut-off Wavelength	9
2.1.3 ความถี่นอร์มอลไลซ์ (Normalized Frequency)	10
2.1.4 Propagation Mode	11
2.1.5 การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสง	12
2.1.5.1 Fiber Loss	12
2.1.5.1.1 การลดทอนของสัญญาณเกิดจากเส้นใยแก้วนำแสง	12
2.1.5.1.2 การลดทอนของสัญญาณเกิดจากการนำเส้นใยแก้วนำแสงไปใช้งาน	14
2.1.5.2 Chromatic Dispersion	19
2.1.5.3 Polarization-mode dispersion (PMD)	20
2.1.6 Zero-dispersion	22
2.2 เคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable)	25
2.2.1 Tight-Buffered Fiber	26
2.2.2 Loose Tube	26
2.2.3 สายภายใน (Indoor Cable)	27
2.2.4 สายภายนอก (Outdoor Cable)	27
2.2.4.1 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงแบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable)	27
2.2.4.2 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงติดตั้งใต้พื้นดิน (Underground Cable)	33
2.2.4.3 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงติดตั้งใต้น้ำ (Submarine Cable)	35
2.3 สรุป	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3. วิเคราะห์ ผลิตภัณฑ์แบบและทดลองในห้องปฏิบัติการ	37
3.1 สํารวจและเก็บข้อมูลปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC	38
3.2 สายเคเบิล OFC หลักที่ติดตั้งภายนอกอาคาร	39
3.2.1 สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานแล้ว	39
3.2.1.1 จาระบีแคลเซียม (Chassis Gleaze)	40
3.2.2 สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานใหม่	42
3.2.2.1 ออกแบบสายเคเบิล OFC ป้องกันสัตว์กัดแทะทดแทนสายเคเบิล ADSS OFC	42
3.2.2.1.1 ทดลองคุณสมบัติของสาย AP-8 Armoured OFC และ ADSS OFC	43
3.2.2.1.2 คุณสมบัติของสาย AP-8 Armoured OFC	43
3.2.2.1.3 ทดลองคุณสมบัติของสายเคเบิล ADSS OFC	45
3.2.2.1.4 ออกแบบสายเคเบิล ARSS OFC	48
3.3 กำหนดระหว่างช่วงเสาไฟฟ้าสำหรับติดตั้งสายเคเบิล ARSS OFC	52
3.4 ผลิตภัณฑ์แบบสายเคเบิล ARSS OFC	54
3.4.1 ทดสอบต้นแบบ ARSS OFC	54
3.5 สาย OFC รองที่ติดตั้งภายนอกและภายในอาคาร	56
3.5.1 สาย Optical Fiber Drop Cable (Round Type)	56
3.5.1.1 ออกแบบสาย OFC Round Type ป้องกันสัตว์กัดแทะ	56
3.5.1.2 ออกแบบสาย Armoured Round Type	57
3.5.1.2.1 ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 1 และ 2	58
3.5.1.2.2 ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 3 และ 4	59
3.5.1.2.3 Armoured Round Type Version 5	63
3.3 อุปกรณ์การติดตั้ง	64
3.4 สรุป	68
บทที่ 4. ทดลองภาคสนาม	70
4.1 เคลือบผิวสายเคเบิล OFC ด้วยจาระบีแคลเซียม (Chassis Gleaze)	70
4.2 ทดลองติดตั้งสาย ARSS OFC	72
4.3 ทดลองติดตั้งสาย Armoured Round Type	78
4.4 สรุป	79
บทที่ 5. สรุป	81

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ก. กระจกและหนูในประเทศไทย

ภาคผนวก ข. ผลทดสอบสายเคเบิล OFC ต้นแบบ โดย มหาวิทยาลัยมหิดล

ภาคผนวก ค. ค่าการรับแรงดึงของวัสดุดิบที่นำมาผลิตสายเคเบิล OFC

ภาคผนวก ง. คู่มือการแก้ไขปัญหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำไฟเบอร์ออปติกส์ TNEP

เอกสารอ้างอิง

TOT Public Company Limited
(www.tottcal.com)

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพประกอบที่ 2.1	แสดงบริการ GPON FTTx ที่มีโครงสร้างแบบ Point-to-Multipoint	5
ภาพประกอบที่ 2.2	แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)	7
ภาพประกอบที่ 2.3	แสดง Index Profile จาก Core ไปหา Cladding คล้ายชั้นบันไดของ SI	7
ภาพประกอบที่ 2.4	Index Profile แสงหักเหภายใน Core และสะท้อนบริเวณ Cladding ของ GI	8
ภาพประกอบที่ 2.5	แสดง Index ของ Multi-Mode Optical Fiber	9
ภาพประกอบที่ 2.6	แสดง Index ของ Single Mode Optical Fiber	9
ภาพประกอบที่ 2.7	แสดงทิศทางของ Propagation Mode ของเส้นใยแก้วนำแสง	11
ภาพประกอบที่ 2.8	การกระจายการกระจายแสงแบบเรย์เลห์	14
ภาพประกอบที่ 2.9	การลดทอนของสัญญาณเกิดจากการนำเส้นใยแก้วนำแสงไปใช้งาน	14
ภาพประกอบที่ 2.10	แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแนวตรง	15
ภาพประกอบที่ 2.11	แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอ	15
ภาพประกอบที่ 2.12	แสดง Index Profile ของเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละชนิด	16
ภาพประกอบที่ 2.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ Critical Radius $\phi_{Core} = 8.6 \mu m$	17
ภาพประกอบที่ 2.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ Critical Radius $\phi_{Core} = 9.5 \mu m$	18
ภาพประกอบที่ 2.15	การสูญเสียแสงที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง	18
ภาพประกอบที่ 2.16	แสดง Chromatic Dispersion แสงที่มีสีหรือความยาวคลื่นต่างกัน เดินทางไปถึงปลายทางไม่พร้อมกัน	20
ภาพประกอบที่ 2.17	แสดงการเกิด Polarization-mode dispersion ในเส้นใยแก้วนำแสง	21
ภาพประกอบที่ 2.18	ลักษณะการเดินทางของคลื่นแสงในเส้นใยแก้วนำแสง	21
ภาพประกอบที่ 2.19	Polarization-mode Dispersion ทำให้มีการบานออกของสัญญาณพัลส์	22
ภาพประกอบที่ 2.20	เส้นใยแก้วนำแสงที่ผลิตมาเพื่อแก้ปัญหา PMD	22
ภาพประกอบที่ 2.21	Wavelength Window และ Zero-dispersion ที่ 1550 nm	23
ภาพประกอบที่ 2.22	ความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้นในตำแหน่งช่วงสัญญาณเดิม	23
ภาพประกอบที่ 2.23	เปรียบเทียบ Pulse Dispersion กับ Zero Dispersion	24
ภาพประกอบที่ 2.24	เปรียบเทียบ แอมพลิจูดความยาวคลื่น EDFA กับ DSF และ NZ - DSF	25
ภาพประกอบที่ 2.25	โครงสร้าง Tight-Buffered Fiber (Indoor/Outdoor Tight Buffer)	26
ภาพประกอบที่ 2.26	Fiber Access Lengths In Loose Tube และสถานะต่างๆ ของเส้น Fiber	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 2.27	สาย Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable	28
ภาพประกอบที่ 2.28	สาย Armoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable	30
ภาพประกอบที่ 2.29	สาย ADSS OFC	31
ภาพประกอบที่ 2.30	สาย Dropwire Twisted	31
ภาพประกอบที่ 2.31	สาย Armoured Dropwire Twisted	32
ภาพประกอบที่ 2.32	สาย Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1F (A) และ 2F (B)	33
ภาพประกอบที่ 2.33	สาย Optical fiber Duct Cable	34
ภาพประกอบที่ 2.34	Optical Fiber Direct Buried Cable	34
ภาพประกอบที่ 2.35	สาย Submarine Cable	35
ภาพประกอบที่ 3.1	สายเคเบิล OFC ที่โดนสัตว์กัดแทะ	38
ภาพประกอบที่ 3.2	จาระบีแคลเซียม (Chassis Grease)	40
ภาพประกอบที่ 3.3	ทดสอบค่า Breaking Load ของสาย AP-8 Armoured OFC	44
ภาพประกอบที่ 3.4	ทดสอบค่า Breaking Load สายเคเบิล ADSS OFC แนวตั้ง	46
ภาพประกอบที่ 3.5	ทดสอบค่า Breaking Load สายเคเบิล ADSS OFC แนวนอน	47
ภาพประกอบที่ 3.6	ร่างต้นแบบสายเคเบิล ARSS OFC ตามรูปแบบที่ 1)	51
ภาพประกอบที่ 3.7	ขบวนการห่อหุ้มแผ่นเหล็กรูปลอนคลื่นของสายเคเบิล ARSS OFC	54
ภาพประกอบที่ 3.8	ทดสอบค่า Breaking Load สายต้นแบบ ARSS OFC ณ ห้องปฏิบัติการ PLP	55
ภาพประกอบที่ 3.9	ร่างแบบแนวคิดในการออกแบบสาย Armoured Round Type	56
ภาพประกอบที่ 3.10	Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 2F	57
ภาพประกอบที่ 3.11	ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 1	58
ภาพประกอบที่ 3.12	ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 2	58
ภาพประกอบที่ 3.13	ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 1 และ 2 จำลองลดตัดออกนอกถนนห่อหุ้ม	58
ภาพประกอบที่ 3.14	ตัวอย่าง Flexible Conduit ที่ผลิตด้วยวิธีแบบหมุนเกลียว (Spiral Steel Pipe)	59
ภาพประกอบที่ 3.15	ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 3 (A) และ Version 4 (B)	60
ภาพประกอบที่ 3.16	วิธีการปก Spiral Steel Pipe ของสาย Armoured Round Type	60
ภาพประกอบที่ 3.17	ทดสอบการรับแรงดึงสาย Armoured Round Type Version 3 และ 4	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 3.18	วิธีการพัน Support Strand ของสาย Round Type เข้ากับ Dropwire Clamp	62
ภาพประกอบที่ 3.19	ทดสอบการรับแรงดึงสาย Support Strand 1x1.2 <i>mm.</i> และ 7x0.4 <i>mm.</i>	62
ภาพประกอบที่ 3.20	ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 5	63
ภาพประกอบที่ 3.21	สาย Armoured Round Type Version 5 ต้นแบบที่ทดลองใช้งานภาคสนาม	64
ภาพประกอบที่ 3.22	อุปกรณ์ ADSS Suspension Unit สำหรับจับยึดสาย ARSS OFC	65
ภาพประกอบที่ 3.23	อุปกรณ์ Spiral Vibration Damper for ADSS Cable	65
ภาพประกอบที่ 3.24	ทีมงานวิจัยร่วมทดสอบ ออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายเคเบิล ARSS OFC	66
ภาพประกอบที่ 3.25	ต้นแบบและผลการทดสอบอุปกรณ์ Preformed Dead End	66
ภาพประกอบที่ 3.26	อุปกรณ์ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS)	67
ภาพประกอบที่ 3.27	อุปกรณ์จับยึด Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS)	68
ภาพประกอบที่ 4.1	สายเคเบิล OFC พาดผ่านแนวป่าที่เป็นแหล่งอาศัยของสัตว์กักตุน	71
ภาพประกอบที่ 4.2	อุปกรณ์ที่ใช้เคลือบผิวสายเคเบิล OFC ด้วยจาระบีแคลเซียม	71
ภาพประกอบที่ 4.3	ขั้นตอนการเคลือบจาระบีแคลเซียม	72
ภาพประกอบที่ 4.4	สายเคเบิล OFC หลังจากทาเคลือบจาระบีแคลเซียมเรียบร้อยแล้ว	72
ภาพประกอบที่ 4.5	สายต้นแบบ ARSS OFC 12F ผลิตจาก บริษัท SFO	73
ภาพประกอบที่ 4.6	จุดเริ่มต้นตั้งสายต้นแบบ ARSS OFC เลียบไปตามเส้นทางกรมหลวงชนบท 4061	73
ภาพประกอบที่ 4.7	เส้นทางกรมหลวงชนบท 4061 สภาพภูมิประเทศพื้นที่เป็นเนินเขามีป่ารกชัฏ	74
ภาพประกอบที่ 4.8	อุปกรณ์ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS)	74
ภาพประกอบที่ 4.9	อุปกรณ์ Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS)	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพประกอบที่ 4.10	วิธีการต่อแผ่นเหล็กบางรูปคลื่นหรือ Ground Shield ลงดิน	76
ภาพประกอบที่ 4.11	หัวต่อเคเบิลสายเคเบิล ADSS OFC นำมาดัดแปลงเพิ่มจุดต่อลง Ground	76
ภาพประกอบที่ 4.12	ขนาดสาย Ground ภายในหัวต่อเคเบิลสาย ARSS OFC	77
ภาพประกอบที่ 4.13	ทีมงานวิจัยเก็บข้อมูลการติดตั้งสายเคเบิล ARSS OFC ต้นแบบใน	77
ภาพประกอบที่ 4.14	กรรมการผู้จัดการใหญ่ เยี่ยมชมพื้นที่ติดตั้งสายเคเบิล ARSS OFC ต้นแบบ	78
ภาพประกอบที่ 4.15	สาย Round Type ปกติที่ชำรุดเสียหายจากสัตว์กัดแทะ	78
ภาพประกอบที่ 4.16	สาย Armoured Round Type ติดตั้งใช้งานในพื้นที่มีปัญหาสัตว์กัดแทะ	79

TOT Public Company Limited
(www.tottcal.com)

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	การลดทอนจากอิมโพลท์ที่เจือปนในเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดจากการหลอมเหลว	13
ตารางที่ 2.2	ขนาดสายสะพานโครงสร้าง Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable	29
ตารางที่ 3.1	คุณสมบัติของจาระบีแคลเซียม	40
ตารางที่ 3.2	ผลการทดสอบ Environmental Stress Cracking Of Ethylene Plastic	41
ตารางที่ 3.3	ผลการทดสอบค่า Breaking Load สายสะพานของสาย AP-8 Armoured OFC	44
ตารางที่ 3.4	คุณสมบัติการรับแรงของ FRP และ Aramid Yarn จากผู้ผลิต (Data Sheet)	45
ตารางที่ 3.5	ผลการทดสอบค่า Breaking Load แนวตั้งของสายเคเบิล ADSS 12 F.	47
ตารางที่ 3.6	ผลการทดสอบค่า Breaking Load แนวนอนของสายเคเบิล ADSS 24 F.	48
ตารางที่ 3.7	ผลการคำนวณหาแรงดึงของสายต่อระยะตกท้องข้างของสายเคเบิล ARSS OFC	53
ตารางที่ 3.8	ผลการทดสอบค่า Breaking Load ของสายต้นแบบ ARSS OFC 12F.	55
ตารางที่ 3.9	ผลการทดสอบค่า Breaking Load สาย Support Strand OFC Round Type	63
ตารางที่ 3.10	ตารางการเลือกใช้งานอุปกรณ์ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS)	67
ตารางที่ 3.11	ตารางการเลือกใช้งานอุปกรณ์ Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS)	68

สารบัญกราฟ

กราฟที่ 3.1 แรงดึงของสายที่ระยะห้องข้างแต่ละช่วงของระยะห่างเสา

หน้า
53

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบสื่อสารสัญญาณ(Transmission System) ที่ส่งสัญญาณสื่อสารผ่านตัวกลาง Optical Fiber Cable หรือ OFC [1] เป็นสื่อในการส่งผ่านสัญญาณได้รับความนิยมมากขึ้น เหตุผลหลักคือต้นทุนในการวางสาย Optical Fiber เมื่อเปรียบเทียบกับสายเคเบิลทองแดง (Copper Cable) ทั้งในแง่ความเร็ว ความจุในการส่งผ่านข้อมูลมีต้นทุนที่ต่ำมาก ประเด็นสำคัญโครงข่าย Optical Fiber ไม่มีปัญหาเรื่องไฟฟ้าเหนี่ยวนำเข้าสายเคเบิล OFC เหมือนกับสายเคเบิลทองแดง การขยายโครงข่ายสามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว ต้นทุนในการซ่อมบำรุงรักษาต่ำ

ปี พ.ศ. 2538 - 2545 บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) หรือ บมจ.ทีโอที ได้ก่อสร้างโครงข่าย OFC ภายใต้โครงการที่เรียกว่า “Transmission Network Expansion Project (TNEP)” จำนวน 149 เส้นทาง [2] ระยะทางประมาณ 9,764 กิโลเมตร ครอบคลุมการให้บริการทั่วประเทศ แบ่งเป็นเขตนครหลวง 49 เส้นทาง ระยะทางประมาณ 481 กิโลเมตร และเขตภูมิภาค 100 เส้นทาง ระยะทางประมาณ 9,283 กิโลเมตร จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ติดตั้งในโครงการมีจำนวน 60 F¹, 120 F. สูงสุด 216 F. โครงข่าย OFC ภายใต้โครงการ TNEP เน้นการเชื่อมต่อระหว่างจังหวัดกับจังหวัด หรือส่วนกลางสู่ภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย

ปัจจุบัน (พ.ศ. 2559) บมจ.ทีโอที มีการขยายโครงข่าย OFC เพิ่มเติมเชื่อมต่อระหว่างอำเภอกับอำเภอ อำเภอกับตำบล จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงเส้นหลักจำนวนระหว่าง 12 - 60 F. (จำนวนไฟเบอร์ที่ใช้งานสูงสุดคือ 12 และ 24 F.) และจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงเส้นรอง (เชื่อมต่อชุมสายย่อยหรือเข้าอาคารผู้ใช้บริการ) จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงระหว่าง 1 - 12 F.

การให้บริการทั้งเขตนครหลวงและภูมิภาค ผู้ให้บริการโทรคมนาคมติดตั้งโครงข่าย OFC ได้ 2 แนวทาง คือ

แนวทางที่ 1) ติดตั้งสาย Optical Fiber ได้ผิวดินโดยตรงด้วยสายเคเบิล OFC ชนิด Direct Buried Cable [1] หรือในท่อร้อยสาย ด้วยสายเคเบิล OFC ชนิด Duct Cable [1] ต้นทุนในการติดตั้งสูง เหมาะสมกับเขตเมือง

แนวทางที่ 2) ติดตั้งแบบแขวนในอากาศรับน้ำหนักตัวเองได้ โดยแขวนกับเสาไฟฟ้าตามแนวถนน แบ่งเป็น

- เสาของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ใช้สายเคเบิล OFC แบบ Figure-8 (AP-8) จะมีสายสะพานรับแรงดึงอยู่ด้านบนของสาย เมื่อมองรูปร่างในภาคตัดขวางคล้ายรูปเลข 8 จึงมีชื่อเรียกว่า AP-8 OFC (Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable) [1] (กฟภ. มีแนวโน้มประกาศห้ามแขวนสาย AP-8 OFC กับเสาของ กฟภ. จากเหตุผลสายสะพานดึงให้เสาล้มกรณีมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นเร็วๆ นี้)

¹ F. = Fiber (จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง)

- เส้าของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) กำหนดให้ใช้สายเคเบิล OFC ชนิด ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) [3] เท่านั้น โครงสร้างของเคเบิลจะรับแรงดึงด้วยตัวเอง ไม่มีสายสะพานรับแรงดึงภายนอก ด้วยเหตุผลเดียวกับที่ กฟภ. จะห้ามแขวนสาย AP-8 OFC จากเหตุผลสายสะพานดึงให้เสาเข็มกรณีมีอุบัติเหตุ

ปัญหาสายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งแบบแขวนในอากาศรับน้ำหนักตัวเองได้ ตามแนวทางที่สอง ทั้งเขตนครหลวงและภูมิภาคคือ สายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์ทั้งสายเคเบิลเส้นหลักและเคเบิลเส้นรอง โดยเฉพาะกระรอก จากปัญหาการกัดแทะของกระรอก เขตภูมิภาคบางพื้นที่นำสายเคเบิล OFC ชนิด Armoured Aerial Cable (AA) โครงสร้างคล้ายสาย AP-8 ที่มีเกราะโลหะภายนอกมาติดตั้งทดแทนสาย AP-8 OFC แต่ในเขตนครหลวงไม่สามารถนำสายชนิด Armoured Aerial Cable (AA) มาติดตั้งใช้งานได้ เนื่องจาก กฟน. ห้ามแขวนสายเคเบิลที่มีสายสะพานกับเส้าของ กฟน.

ในอนาคต กฟภ. จะออกกฎข้อบังคับไม่ให้ผู้ให้บริการโทรคมนาคมแขวนสายเคเบิลที่มีสายสะพาน (AP-8) กับเส้าของ กฟภ. เหมือนกับ กฟน. จากปัญหาสายสื่อสารโทรคมนาคมแขวนในแนวต่ำสุดของแนวเส้านั้นๆ เมื่อรถเกี่ยวสายโทรคมนาคม สายสะพานซึ่งทนแรงดึงแบบทำลาย (Breaking Load) สูงมาก เกิดปัญหาสายสะพานดึงให้เส้าของการไฟฟ้าล้มตาม แต่อนุญาตให้แขวนได้เฉพาะสายชนิด ADSS OFC ที่ไม่มีสายสะพานและค่าทนแรงดึงแบบทำลายต่ำเมื่อรถเกี่ยวสายจะขาดจากกันก่อนดึงเส้าไฟฟ้าชำรุดเสียหาย

ทั้งนี้ กฟน. และ กฟภ. อนุญาตให้แขวนสายเคเบิล OFC ที่มีขนาดสายสะพาน เท่ากับหรือน้อยกว่า 1.6 mm. กับเส้าของทั้งสองการไฟฟ้าได้ เนื่องจากสายสะพานขนาด 1.6 mm. มีแรงดึงแบบทำลายต่ำ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยนี้ เพื่อศึกษาและสำรวจปัญหาสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์โดยเฉพาะกระรอก จากปัญหาการกัดแทะสายเคเบิล OFC ศึกษาหาแนวทางลดปัญหาการกัดแทะ เช่น ออกแบบสายเคเบิล OFC ชนิดพิเศษ เป็นต้น พร้อมศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้ง อุปกรณ์เชื่อมต่อสายเคเบิล OFC ทั้งนี้แนวทางแก้ปัญหาต้องสอดคล้องกับกฎข้อบังคับของการไฟฟ้าในการแขวนพาดสายสื่อสารโทรคมนาคมกับเส้าไฟฟ้า แนวทางแก้ปัญหาต้องไม่เป็นอุปสรรคของการปฏิบัติงาน ต้นทุนในการดำเนินการต่ำ

1.3 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

กฟน. กำหนดให้ผู้ให้บริการโทรคมนาคมทุกค่าย ห้ามแขวนสายเคเบิล OFC ที่มีขนาดสายสะพานเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1.6 mm. กับเส้าของ กฟน. จากข้อกังวลเรื่องสายสื่อสารซึ่งแขวนต่ำกว่าสายส่งไฟฟ้าแรงต่ำ โอกาสจะโดนรถชนเกี่ยวสายสูงเป็นสาเหตุให้สายสะพานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่รับแรงดึงแบบทำลายสูงดึงเส้าไฟฟ้าล้มตามแรงกระชากของสายสะพาน กฟน. จึงออกกฎข้อบังคับให้แขวนสายสื่อสารโทรคมนาคมกับเส้าไฟฟ้าสายเคเบิล OFC ที่มีขนาดสายสะพานเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1.6 mm. ต้องเป็นสายเคเบิล OFC ชนิด ADSS OFC เท่านั้น

สายเคเบิล OFC ที่มีขนาดสายสะพานเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 mm. บมจ.ทีโอที ใช้สายเคเบิล OFC ชนิด Optical Fiber Cable for Access Service (Dropwire Twisted) [4] จำนวนเส้นใย

แก้วนำแสงระหว่าง 4 - 12 F. มาใช้งานแต่ในเขตที่มีปัญหาเรื่องการกัดแทะของสัตว์ สายเคเบิล OFC Dropwire Twisted ไม่สามารถป้องกันการชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์ได้

บมจ.ทีโอที ได้ศึกษาและออกแบบสายเคเบิล OFC ที่มีแผ่นเหล็กบางหุ้มเส้นใยแก้วนำแสง ก่อนหุ้มเปลือกภายนอก ชื่อสาย Armoured Optical Fiber Cable for Access Service (Armoured Dropwire Twisted) [5] ผลการใช้งานสามารถป้องกันสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด

แต่สายเคเบิล ADSS OFC ที่มีจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงระหว่าง 12 - 312 F. ยังมีปัญหาเรื่องการกัดแทะของสัตว์ บมจ.ทีโอที ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสายที่ชำรุดจากปัญหาสัตว์กัดแทะ กระทบต่อคุณภาพการให้บริการ ต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น

ส่วนงาน บมจ.ทีโอที ในเขตภูมิภาค แก้ปัญหาโดยใช้สายเคเบิล OFC ชนิด Single Mode Optical Fiber Cable โครงสร้าง AP-8 ที่มีแผ่นเหล็กบาง (Armoured) ห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงก่อนหุ้มเปลือกภายนอก [1] สามารถป้องกันสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์ลงได้ แต่ในอนาคตอันใกล้ กฟภ. จะใช้กฎข้อบังคับเดียวกับ กฟน. ห้ามแขวนสายเคเบิล OFC ที่มีขนาดสายสะพานเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1.6 mm. ดังนั้นปัญหาสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์จะเป็นปัญหาใหญ่ของโครงข่าย OFC

แนวทางการศึกษาวิจัย หาแนวทางหรือวัสดุที่เหมาะสมมาผลิตสายเคเบิล OFC ที่สามารถลดปัญหาการกัดแทะของสัตว์ลงได้ เช่น ห่อหุ้มด้วย E-Glass Yarn, Aramid Yarn, Steel Armoured หรือใส่สาร Rodent Additives ลงใน HDPE ที่ห่อหุ้มภายนอก เป็นต้น

1.4 พันธมิตรร่วมวิจัย

เนื่องจาก บมจ.ทีโอที ไม่มีโรงงานผลิตสายเคเบิล OFC และอุปกรณ์จับยึดต่างๆ จึงได้ประสานงานพันธมิตรที่เป็นคู่ค้ากับ บมจ.ทีโอที ร่วมวิจัย ออกแบบ ผลิตต้นแบบ แบ่งพันธมิตรร่วมวิจัยได้ 3 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 บริษัทผลิตสายเคเบิล OFC จำนวนคู่สาย 12 F. ขึ้นไป (เน้นในประเทศไทย) จำนวน 3 บริษัท ดังนี้

- 1) บริษัท เอชบีซี เทเลคอม จำกัด (HBC)
- 2) บริษัท สยามไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (SFO)
- 3) บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC)

กลุ่มที่ 2 บริษัทผลิตสายเคเบิล OFC จำนวนคู่สาย 12 F. ลงมา เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตสายขนาดเล็ก ผู้ผลิตในประเทศไทยยังไม่พร้อม จึงประสานงานบริษัทตัวแทนจำหน่ายนำสายเคเบิล OFC สำเร็จรูปจากต่างประเทศ จำนวน 3 บริษัท ดังนี้

- 1) บริษัทไฟเบอร์ ออปติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM)
- 2) บริษัท แอสตรา คอมมิวนิเคชั่น เซอร์วิส (ASTRA)
- 3) ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.เจ.พี. อินเตอร์เทรด (SJP)

กลุ่มที่ 3 เป็นบริษัทอุปกรณ์จัดยึดสายติดตั้งกับเสาของการไฟฟ้า มีบริษัทเข้าร่วมวิจัยเพียงบริษัทเดียว คือ บริษัท พีฟอร์ม ไลท์ โปรดักท์ จำกัด (PLP)

1.5 วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย

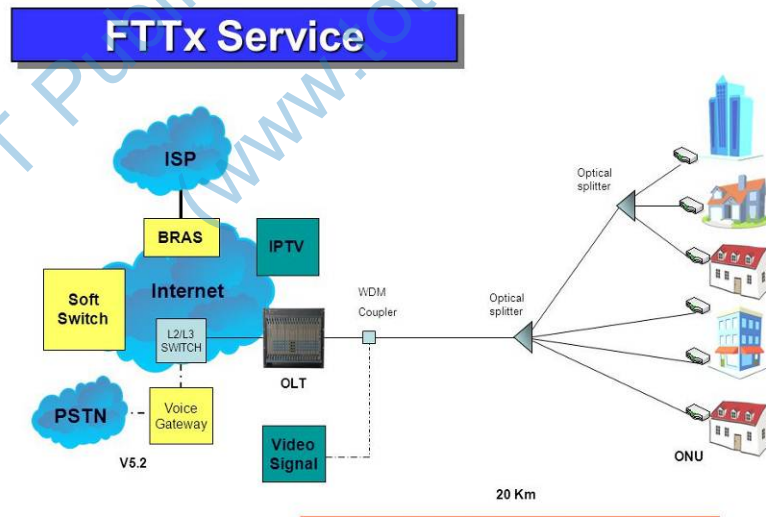
- 1) สํารวจและเก็บข้อมูลปัญหาสํารวจกัฒนาศายเคเบิล OFC จากภาคสนาม
- 2) สรุปลผลการทดสอบหาแนวทางแก้ปัญหาลองกันสํารวจกัฒนาศายเคเบิล OFC
- 3) จัดทำต้นแบบทดสอบในห้องปฏิบัติการ
- 4) จัดทำต้นแบบทดสอบภาคสนาม
- 5) เก็บบันทึกข้อมูลการใช้งาน ปัญหา และแนวทางแก้ไข
- 6) สรุปลและนำเสนอผลงานวิจัยต่อผู้บริหารเพื่อขยายผลนำไปใช้งานต่อไป

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)

บทที่ 2. โครงสร้างสายเคเบิลใยแก้วนำแสง และปัญหาสัตว์กัดแทะสาย

จากปัญหาเคเบิลที่ใช้โลหะทองแดง (Copper Cable) เป็นสื่อกลางส่งผ่านสัญญาณ มีข้อจำกัดในการให้บริการ ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล ระยะทางที่ให้บริการ ต้นทุนการติดตั้งและการบำรุงรักษาสูง เกิดปัญหาการลัดวงจรเคเบิลทองแดงเพื่อนำไปขาย ในขณะที่ต้นทุนโครงข่ายสื่อสารทางสายที่ใช้เคเบิลใยแก้วนำแสงหรือสายเคเบิล OFC (Optical Fiber Cable) กลับลดลงสวนทางกับเคเบิลทองแดง และมีการพัฒนาเทคโนโลยี FTTx (Fiber to the X) ที่ใช้ใยแก้วนำแสงเป็นสื่อกลางทั้งเส้นทาง เริ่มจากชุมสายถึงอาคารผู้รับบริการ (กรณีให้บริการถึงบ้านพักอาศัยจะใช้คำว่า FTTH หรือ Fiber to the Home เป็นต้น)

บริการ FTTx ต้นทุนในการให้บริการต่ำลง แก้ปัญหาเรื่องความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลที่เคยผูกมัดกับระยะทางที่ให้บริการ สามารถตอบโต้ปัญหาที่เกิดกับสายสื่อสารสัญญาณทองแดงได้ ทั้งนี้ บมจ.ทีโอที เลือกใช้เทคโนโลยี GPON FTTx (Gigabit Passive Optical Network Fiber to the X) โครงสร้างการให้บริการเป็นแบบ Point-to-Multipoint โดยใช้ Optical Splitter ซึ่งเป็นอุปกรณ์ Passive Component ที่ไม่ต้องจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ระหว่างชุมสายกับบ้านผู้ใช้บริการ



ภาพประกอบที่ 2.1 แสดงบริการ GPON FTTx ที่มีโครงสร้างแบบ Point-to-Multipoint

โครงข่าย OFC ในเขตเมืองหรือชุมชนหนาแน่นนิยมติดตั้งสาย Optical Fiber ใต้ผิวดิน โดยตรงด้วยสายเคเบิล OFC ชนิด Direct Buried Cable [1] หรือในท่อร้อยสาย ด้วยสายเคเบิล

OFC ชนิด Duct Cable [1] แต่ต้นทุนในการดำเนินการสูง นอกเขตเมืองนิยมแขวนกับเสาไฟฟ้าตามแนวถนนด้วยสายเคเบิล OFC เขตภูมิภาคติดตั้งด้วยสาย AP-8 OFC (Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable) ที่มีสายสะพานรับแรงดึงอยู่ด้านบนของสาย เขตนครหลวงติดตั้งด้วยสายเคเบิล OFC ชนิด ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) ตัวเคเบิลรับแรงดึงด้วยตัวเอง ไม่มีสายสะพานรับแรงดึงภายนอก ตามกฎข้อบังคับของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ที่ห้ามแขวนเคเบิลที่มีสายสะพาน

ปัญหาสายเคเบิล OFC ที่แขวนกับเสาไฟฟ้าชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์ทั้งสายเคเบิลเส้นหลักและเคเบิลเส้นรอง เขตภูมิภาคบางพื้นที่นำสายเคเบิล OFC ชนิด Armoured Aerial Cable (AA) โครงสร้างคล้ายสาย AP-8 ที่มีเกราะโลหะภายนอกมาติดตั้งทดแทนสาย AP-8 OFC แต่ในเขตนครหลวงไม่สามารถนำสายชนิด Armoured Aerial Cable (AA) มาติดตั้งใช้งานได้เนื่องจาก กฟน. ห้ามแขวนสายเคเบิลที่มีสายสะพานกับเสาของ กฟน. และในอนาคตอันใกล้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จะห้ามแขวนเคเบิลที่มีสายสะพานเหมือนเสาของ กฟน.

แนวทางแก้ไขปัญหาสัตว์กัดแทะ โดยเฉพาะกระรอก หาแนวทางหรือวัสดุที่เหมาะสมมาผลิตสายเคเบิล OFC ที่สามารถลดปัญหาการกัดแทะของสัตว์ลงได้ เช่น ห่อหุ้มด้วย E-Glass Yarn, Aramid Yarn, Steel Armoured หรือใส่สาร Rodent Additives ลงใน HDPE ที่ห่อหุ้มภายนอก เป็นต้น กำหนดการรับแรงดึงในสภาพการใช้งานปกติคล้ายสาย ADSS OFC ป้องกันสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์และไม่ขัดกับกฎข้อบังคับทั้งของ กฟน. และ กฟภ.

2.1 โครงสร้างเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง

2.1.1 เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)

เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) ผลิตจาก Silica (SiO_2) เป็นส่วนใหญ่ มีเส้นใยแก้วนำแสงบางแบบทำจากโพลีเมอร์หรือวัสดุสังเคราะห์อื่นๆ แต่ก็ใช้งานสำหรับระยะทางสั้นๆ เท่านั้น เพราะมีการลดทอน (Loss) สูง ส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสงประกอบด้วย

1) เส้นใยแก้วหรือคอร์ (Core) ทำหน้าที่นำสัญญาณแสงไปตามแกนกลาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขึ้นกับชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง เช่น $62.5/125 \mu m$, $50/125 \mu m$, $9/125 \mu m$

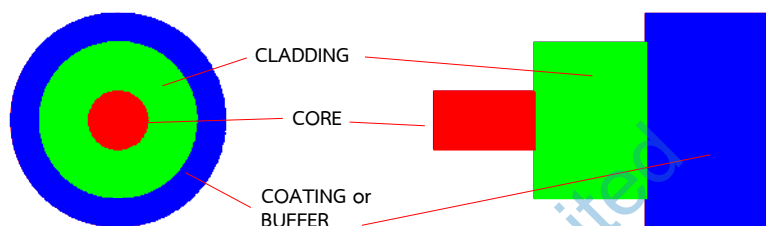
2) ฉนวนเคลือบหรือเคลดดิ้ง (Cladding) เป็นสารเคลือบภายนอก Core ที่มีค่าดัชนีหักเหทางแสงพอเหมาะ ควบคุมให้ลำแสงวิ่งไปตามเส้นใยแก้วนำแสงด้วยขบวนการสะท้อนกลับของแสง มาตรฐานเคลือบที่เส้นผ่านศูนย์กลาง $125 \mu m$

3) ฉนวนป้องกันหรือบัฟเฟอร์ (Coating or Buffer) ห่อหุ้มต่อจาก Cladding ในขบวนการผลิตเดียวกัน นิยมใช้สาร UV curable acrylate ที่แห้งเร็ว จากคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงที่ประกอบด้วย Core และ Cladding จะ แข็ง-เปราะ ไม่สามารถโค้งงอได้ จำเป็นต้อง Coating ให้แข็งแรงและประคองให้เส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอได้ ช่วยป้องกันแสงจากภายนอกไม่ให้เข้ามาภายในเส้นไฟเบอร์ มาตรฐานมีเส้นผ่านศูนย์กลาง $250 \mu m$

4) Loose Tube หรือ Fiber Buffer Tube ลักษณะท่อกลมกลวง ผลิตจาก PBT (Polybutylene Terephthalate) ภายในวางเส้นใยแก้วนำแสง ต่ำสุด 2 Fiber สูงสุด 12 Fiber ต่อ 1 Loose Tube ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง (Bare Fiber) ภายใน Loose Tube มี Thixotropic Compound (Filling) ป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงเกิด Micro Bending โค้งงอจากแรงกระทำจาก

ภายนอก ซึ่งเส้นใยแก้วนำแสงที่วางตัวคล้ายตัวหนอนใน Loose Tube เมื่อเจอสภาพแวดล้อมจากการใช้งาน เช่น แรงดึง แรงกด เส้นใยแก้วนำแสงจะเคลื่อนตัวโดยมี Compound ปรับสภาพตามการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหาย

ตัวอย่างเช่นเคเบิลชนิด Single-mode ขนาด $9/125 \mu\text{m}$ หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ Core $9 \mu\text{m}$ และเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ Cladding $125 \mu\text{m}$ โดยมีบัฟเฟอร์หุ้มรอบเส้นใยแก้วนำแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $245 \pm 5 \mu\text{m}$



ภาพประกอบที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)

ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงแบ่งออกได้ตาม Refractive Index Profile [5] ได้ 2 ชนิด คือ

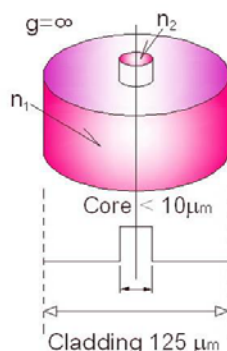
- 1) Step Index
- 2) Graded Index

แบ่งตาม Propagation Mode [5] ได้อีก 2 ชนิด คือ

- 1) Multi Mode
- 2) Single Mode

เส้นใยแก้วนำแสงแบ่งตาม Refractive Index Profile

1) Step Index (SI) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้จะมีค่าดัชนีหักเหของแสงของ Core และ Cladding ที่แตกต่างกัน โดยที่บริเวณ Core (n_2) จะมีค่าดัชนีหักเหของแสงสูงกว่า Cladding (n_1) เล็กน้อย ($n_1 < n_2$) เมื่อพิจารณา Index Profile ของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด “SI” การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหของแสงจาก Core ไปหา Cladding จะมีการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดคล้ายขั้นบันได จึงเรียกเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ว่า Step Index Fiber

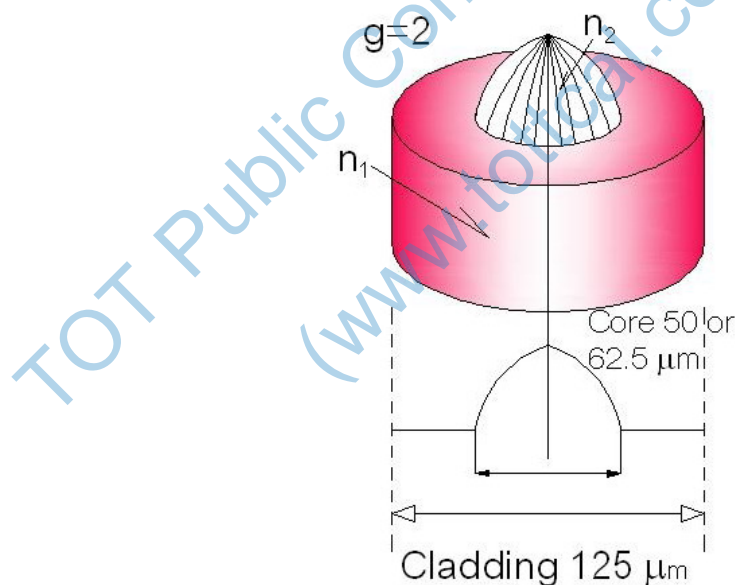


ภาพประกอบที่ 2.3 แสดง Index Profile จาก Core ไปหา Cladding คล้ายขั้นบันไดของ SI

Step Index Fiber มีทั้ง Single Mode และ Multi-Mode แตกต่างที่เส้นผ่านศูนย์กลางของ Core หากเป็น Single Mode จะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core ประมาณ $10\ \mu\text{m}$ แต่หากเป็น Multi-Mode เส้นผ่านศูนย์กลางของ Core ประมาณ $50\ \mu\text{m}$ การใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Multi-Mode มีปัญหาเรื่อง Modal Dispersion จากปัญหาแสงมีการเคลื่อนที่หลายเส้นทาง แต่ละเส้นทางระยะทางไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้สัญญาณไปถึงปลายทางไม่พร้อมกัน เกิดการผิดเพี้ยน (Distortion) ของสัญญาณที่ปลายทาง

2) Graded Index (GI) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดปัญหา Modal Dispersion โดยทำให้ค่าดัชนีหักเหของแสงบริเวณ Core สูงกว่า Cladding เล็กน้อย ค่าดัชนีหักเหของแสงจะค่อย ๆ ลดลงจาก Core ไปหา Cladding เมื่อแสงเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ แสงจะมีการหักเหทีละน้อยภายใน Core และมีการสะท้อนบริเวณ Cladding การหักเหและสะท้อนดังกล่าวอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของแสงทีละน้อยนั้น จึงทำให้ดูเหมือนว่าแสงเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ใช้เป็น Multi-Mode เท่านั้น การเคลื่อนที่ของแสงแต่ละเส้นทางใช้ระยะเวลาพอ ๆ กัน ถึงแม้ว่าระยะทางจะแตกต่างกันก็ตาม เนื่องจากแสงเดินทางสั้นที่สุดผ่านแกนกลางของ Core จะเคลื่อนที่ได้ช้าที่สุด และทำนองกลับกันแสงที่เดินทางไกลที่สุดซึ่งมีการสะท้อนกลับบริเวณ Cladding จะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากค่าดัชนีหักเหของแสงทำให้แสงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน ปัญหาเกี่ยวกับ Modal Dispersion จึงลดลง

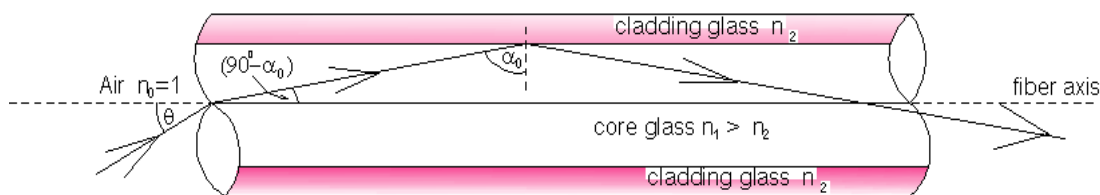


ภาพประกอบที่ 2.4 Index Profile แสงหักเหภายใน Core และสะท้อนบริเวณ Cladding ของ GI

เส้นใยแก้วนำแสงแบ่งตาม Propagation Mode

1) Multi-Mode (MM) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้หลาย Mode เนื่องจาก Core มีขนาดโตกว่า มีใช้ทั้งแบบ Step Index และ Graded Index แต่แบบ Graded Index จะได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากสามารถลดปัญหา Dispersion

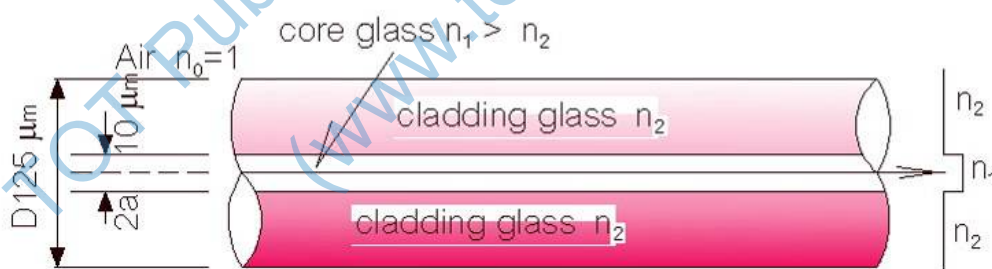
ลงได้ เส้นใยแก้วนำแสงแบบ Multi-Mode จะเหมาะสำหรับการสื่อสารระยะไม่ไกลมากนัก หรือกับระบบที่มี Transmission Speed ต่ำๆ เนื่องจากค่าใช้จ่ายถูกกว่า



ภาพประกอบที่ 2.5 แสดง Index ของ Multi-Mode Optical Fiber

Dispersion เป็นปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นในการเดินทางของแสงภายใน Core ของเส้นใยแก้วนำแสง กล่าวคือรูปของสัญญาณที่ปลายทางเกิดผิดเพี้ยนจากสัญญาณที่ต้นทางโดยจะมีลักษณะกว้างออก Dispersion ที่เกิดกับเส้นใยแก้วนำแสงมีอยู่ 2 ชนิด คือ Modal Dispersion และ Chromatics Dispersion

2) Single Mode (SM) เส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียว (Single Mode Optical Fiber Core) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core ประมาณ $5-10 \mu\text{m}$ และ Cladding ประมาณ $125 \mu\text{m}$ ตามลำดับ ส่วนของ Core และ Cladding ที่มีดัชนีการหักเห (n) ที่ต่างกัน ลักษณะแบบนี้จะอนุญาตให้เฉพาะการแพร่กระจายแบบ Single Mode ผ่านไปได้เท่านั้น เส้นใยแก้วนำแสงแบบนี้จะมีการลดทอนต่ำ มี Dispersion น้อยมาก มีแบนด์วิดท์กว้างจึงไม่เกิดการกว้างขึ้นของพัลส์ (Pulse Broadening) และไม่เกิด Transit Time Differences



ภาพประกอบที่ 2.6 แสดง Index ของ Single Mode Optical Fiber

2.1.2 Cut-off Wavelength

Cut-off Wavelength เป็นระดับความยาวคลื่นที่สูงกว่าระดับที่ใยแก้วแบบ Single Mode รองรับ และ ยอมให้แสงกระจายเพียงแค่หนึ่ง Mode เท่านั้น โดยใยแก้วแบบ Single Mode ที่ค่าความยาวคลื่นหนึ่งอาจจะมีมากกว่าสองโหมดที่ระดับความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า Cut-off Wavelength

สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Single Mode ปัจจัยที่ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงมีสภาพเป็น Single Mode ได้ นอกจากโครงสร้างและคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นอีก

เช่น ความยาวคลื่นแสงที่ใช้ ความยาวคลื่นแสงน้อยที่สุดซึ่งยังทำให้เส้นใยแก้วนำแสงคงสภาพเป็น Single Mode [5] เราเรียกความยาวคลื่นแสงนี้ว่า Cut-off Wavelength (λ_c) หาได้จากสมการ 2.1

$$\lambda_c = \frac{2\pi a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{2.405} \quad (2.1)$$

หรือ

$$\lambda_c = 3.7 a n_1 \sqrt{\Delta} \quad (2.2)$$

เมื่อ

$$a = \text{รัศมีของ Core}$$

$$n_1 = \text{ดัชนีหักเหของแสงที่ Core}$$

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

ทั้งนี้เส้นใยแก้วชนิด Single mode ต้องกำหนดให้ n_1 ใกล้เคียงกับ n_2 มากๆ โดยต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.3 เช่น $n_1 = 1.448$, $n_2 = 1.444$ เป็นต้น

2.1.3 ความถี่นอร์มอลไลซ์ (Normalized Frequency)

ความถี่นอร์มอลไลซ์ (Normalized Frequency) หรือ วี-นัมเบอร์ (V-number) เป็นค่าที่สำคัญในการจำแนกชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงในขณะใช้งานว่าเป็นชนิด Single mode หรือ Multi-Mode จำนวนโหมดที่มากที่สุดที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง คำนวณได้จากสมการ 2.3

$$M = \frac{V^2}{2} \quad (2.3)$$

เมื่อ M = จำนวนโหมดย่อยทั้งหมดของแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง
 V = ค่าความถี่นอร์มอลไลซ์ (Normalized Frequency)

สามารถหาค่า V-number ได้จากสมการ

$$V = kaNA \quad (2.4)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

เมื่อ

$$k = \text{Wave number ของคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่น } (\lambda) \text{ ในอากาศหรือสุญญากาศ ในกรณีที่ตัวกลางไม่มีการสูญเสียสัญญาณ (Lossless medium) ค่าของ } k \text{ จะเรียกว่า ค่าคงตัวการเคลื่อนที่ (Propagation constant)}$$

a = รัศมีของ Core
 NA = Numerical Aperture

กรณีที่เป็นเส้นใยแก้วชนิด Single mode ค่า V-number จะต้องมามีค่า $V \leq 2.405$ แทนค่าของ V ลงไปในสมการ

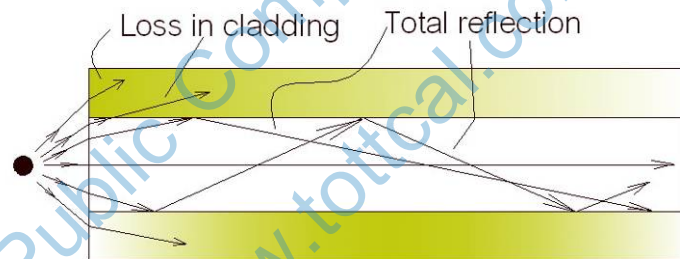
$$\frac{2\pi}{\lambda} aNA \leq 2.405$$

จัดรูปสมการจะได้

$$\lambda \geq \frac{2\pi aNA}{2.405} \quad (2.5)$$

2.1.4 Propagation Mode

Propagation Mode เป็นอีกค่าที่สำคัญในการจำแนกชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงในขณะใช้งานว่าเป็นชนิด Single mode หรือ Multi-Mode เหมือนค่า V-number



ภาพประกอบที่ 2.7 แสดงทิศทางของ Propagation Mode ของเส้นใยแก้วนำแสง

หาจำนวน Propagation Mode ได้จากสมการ

$$M = \frac{\left[\frac{\pi d}{\lambda} \sqrt{(n_2)^2 - (n_1)^2} \right]^2}{2} \quad (2.6)$$

เมื่อ

M = จำนวนโหมดย่อยทั้งหมดของแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง
 d = core diameter (m)
 λ = wavelength (m)
 n_1 = refraction index of cladding
 n_2 = refraction index of core

2.1.5 การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงมีการสูญเสียและการขยายกว้างออก (Dispersion) ของสัญญาณส่งผ่านด้วยสาเหตุ ดังนี้

- 1) Fiber loss
- 2) Chromatic dispersion
- 3) Polarization-mode dispersion

2.1.5.1 Fiber Loss

2.1.5.1.1 การลดทอนของสัญญาณเกิดจากเส้นใยแก้วนำแสง

การลดทอนสัญญาณ (Attenuation) การลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ซึ่งทำให้เส้นใยแก้วนำแสงนิยมนำมาใช้ในระบบการสื่อสารโทรคมนาคม โดยการลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงก็จะแสดงอยู่ในหน่วยของเดซิเบลเช่นเดียวกับตัวนำที่เป็นโลหะซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (2.7)

$$\text{Signal attenuation} = 10 \log \frac{P_i}{P_o} \quad (2.7)$$

แต่เนื่องจากในการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงนั้นนิยมบอกค่าการลดทอนสัญญาณในรูปของเดซิเบลต่อหน่วยความยาว เช่น $dBkm^{-1}$ ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการ (2.7) ได้ใหม่ดังนี้

$$\alpha_{dB} L = 10 \log \frac{P_i}{P_o} \quad (2.8)$$

เมื่อ α_{dB} = การลดทอนสัญญาณต่อหน่วยความยาว
 L = ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง

ทั้งนี้การสูญเสียในเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber loss) มีสาเหตุสำคัญจาก

- 1) Absorption loss
- 2) Scattering loss

1) **Absorption losses** คือ การสูญเสียแสงเนื่องจากการดูดกลืนแสงขององค์ประกอบของการที่ใช้ในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงแสง โดยการสูญเสียนี้อาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารที่ใช้สร้าง และกระบวนการในการสร้าง (Fabrication Process) เส้นใยแก้วนำแสง โดยจะทำให้เกิดการกระจายตัวของกำลังงานแสงที่ส่งกลายเป็นความร้อนขึ้นมากภายในเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งการสูญเสียแสงเนื่องจากการดูดกลืนแสงสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

1.1) **Intrinsic absorption** คือ การดูดกลืนแสงเนื่องจากสารที่ใช้ทำเส้นใยแสงเนื่องจากแก้ว Silica บริสุทธิ์ที่ใช้ในการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงจะมีการดูดกลืนแสง โดยจะดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเล็ตมากที่สุดที่ความยาวคลื่น $0.1 \mu m$ และมีการดูดกลืนแสงอินฟราเรดมากที่สุดที่ความยาวคลื่น $10 \mu m$

1.2) **Extrinsic absorption** คือ การดูดกลืนแสงเนื่องจากสารที่เจือปนอยู่ในเส้นใยแก้วนำแสง เกิดขึ้นเนื่องจากการเจือปนของธาตุโลหะในเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการหลอมเหลวแก้ว ซึ่งสารที่เจือปนในเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดจากการหลอมเหลวนี้อาจเป็นสาเหตุ

สำคัญของการลดทอนสัญญาณแสงของไอออนโลหะบางชนิด ในปริมาณ 1 *ppb* (parts per billion) แสดงให้ดูดังตารางที่ 2.1 ซึ่งเราสามารถลดการสูญเสียได้โดยการใช้วัสดุที่มีความบริสุทธิ์มาก

ตารางที่ 2.1 การลดทอนจากไอออนโลหะที่เจือปนในเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดจากการหลอมเหลว

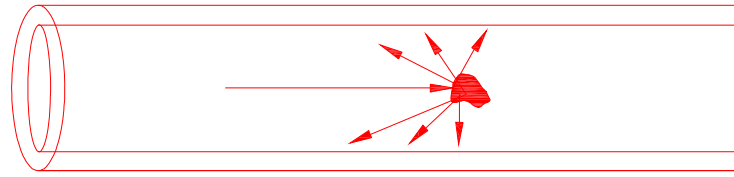
ไอออนของโลหะ	ความยาวคลื่น (nm) ที่เกิดการสูญเสียสูงสุด	การสูญเสีย ($dBkm^{-1}$)
<i>Cr</i> - 3+	265	1.60
<i>C</i> - 2-	685	0.10
<i>Cu</i> - 2+	850	1.10
<i>Fe</i> - 2+	1100	0.68
<i>Fe</i> - 3+	400	0.15
<i>Ni</i> - 2+	650	0.10
<i>Mn</i> - 3+	460	0.20
<i>V</i> - 4+	725	2.70

2) **Scattering losses** การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจายแสง เมื่อเกิดการกระจายของแสงจะทำให้แสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการเปลี่ยน Mode ซึ่งจะทำให้แสงที่ส่งและเกิดการเปลี่ยนไปสู่ Mode ที่สามารถแพร่กระจายออกไปภายนอกเส้นใยแก้วนำแสงได้ไม่สามารถเดินทางไปใน core ได้ แต่จะแพร่กระจายออกไปภายนอก การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจายแสงสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ แบบเรย์เลห์ (Rayleigh scattering) และแบบมี (Mie scattering) ซึ่งทั้ง 2 แบบล้วนมีสาเหตุมาจากคุณลักษณะทางกายภาพที่ไม่สมบูรณ์ของเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดจากกระบวนการผลิตซึ่งยากที่จะกำจัดให้หมดไปได้ในปัจจุบัน

2.1) **แบบเรย์เลห์** เกิดจากการที่แสงเดินทางไปตกกระทบกับวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการส่งสัญญาณทำให้แสงแตกกระจายออกไปในทิศทางต่างๆ ดังภาพประกอบที่ 2.7 โดยวัตถุที่เจือปนอยู่นั้นเกิดขึ้นในขั้นตอน การผลิตเส้นใยแก้วนำแสงคือ ในกระบวนการทำเส้นใยแก้วนำแสงจะต้องให้ความร้อนประมาณ $2,000^{\circ}C$ แก่แท่งแก้วพรีฟอร์มแล้วดึงแท่งแก้วให้เป็นเส้นใยขนาดเล็ก และลดอุณหภูมิของเส้นใยแก้วนำแสงเหลือ $20^{\circ}C$ อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นและเกิดเป็นวัตถุขนาดเล็กๆ ขึ้น โดยค่าการสูญเสียเนื่องจากการกระจายแบบเรย์เลห์นี้จะเกิดกับแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและอินฟราเรด โดยจะแปรผกผันกับความยาวคลื่นแสงตามสมการ (2.9)

$$\text{Rayleigh Scattering Loss} = \frac{1}{\lambda^4} \quad (2.9)$$

ค่าการสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจายแบบเรย์เลห์นี้จะมีค่าประมาณ 0.3 dBkm^{-1} ที่ความยาวคลื่น 1300 nm และ 0.18 dBkm^{-1} ที่ความยาวคลื่น 1550 nm



ภาพประกอบที่ 2.8 การกระจัดกระจายแสงแบบเรย์เลห์

2.2) แบบมี หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Uniformity Loss เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ทางโครงสร้างรูปทรงกระบอกของเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งมีสาเหตุมาจากความผิดปกติของรอยต่อระหว่าง Core กับ Clad ค่าดัชนีการหักเหของ Core - Clad ที่ต่างกันในแต่ละช่วงความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง และความผันแปรของเส้นผ่านศูนย์กลางส่งผลให้แสงที่ตกกระทบเกิดการกระจัดกระจายออกการสูญเสียแสงแบบมีนี้จะแปรผันโดยตรงกับความยาวคลื่นตามสมการ (2.10)

$$\text{Mie scattering loss} = \frac{\lambda}{10} \quad (2.10)$$

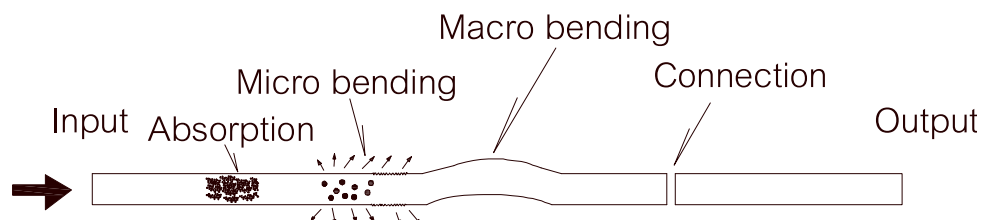
2.1.5.1.2 การลดทอนของสัญญาณเกิดจากการนำเส้นใยแก้วนำแสงไปใช้งาน

การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending Loss) ของเส้นใยแก้วนำแสงแบ่งได้

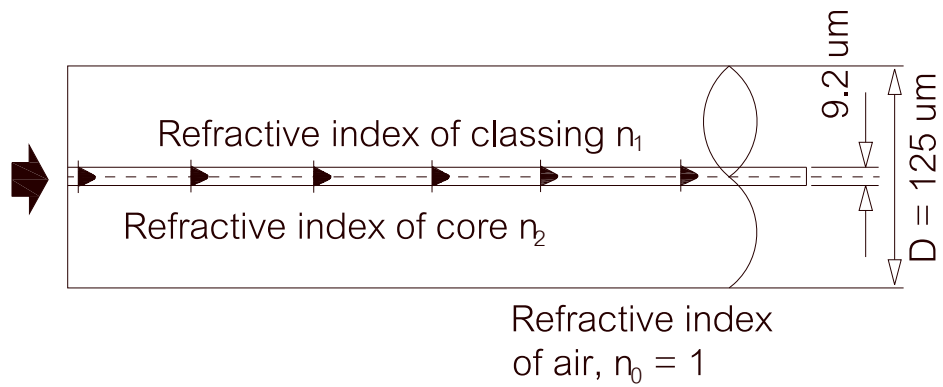
- 1) Micro Bend เกิดจากรัศมีของส่วนโค้งน้อยกว่า 10 mm
- 2) Macro Bend เกิดจากรัศมีของส่วนโค้งมากกว่า 10 mm

1) **Micro Bend** การสูญเสียแสงที่เกิดจากการโค้งงอเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Micro bending เป็นการสูญเสียสัญญาณแสงที่เกิดจากการมีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากระทำต่อด้านข้างของเส้นใยแก้วนำแสง ส่งผลให้แกนของเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการบิดงอไปเล็กน้อยรัศมีของส่วนโค้งน้อยกว่า 10 mm ทำให้แสงที่ตกกระทบบริเวณดังกล่าวเกิดการหักเหออกไปภายนอกเส้นใยแก้วนำแสงได้

2) **Macro Bend** การสูญเสียเนื่องจากรังสีของแสงตกกระทบตรงรอยต่อระหว่าง Core และ Cladding ที่มีค่าน้อยกว่ามุมวิกฤต จึงทำให้แสงกระจายออกไปนอกเส้นใยแก้วนำแสง ภาพประกอบที่ 2.9 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแนวตรง และภาพประกอบที่ 2.10 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอ



ภาพประกอบที่ 2.9 การลดทอนของสัญญาณเกิดจากการนำเส้นใยแก้วนำแสงไปใช้งาน



ภาพประกอบที่ 2.10 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแนวตรง

การสูญเสียจาก Macro Bend จะแปรผันกับ e^{-R/R_c}

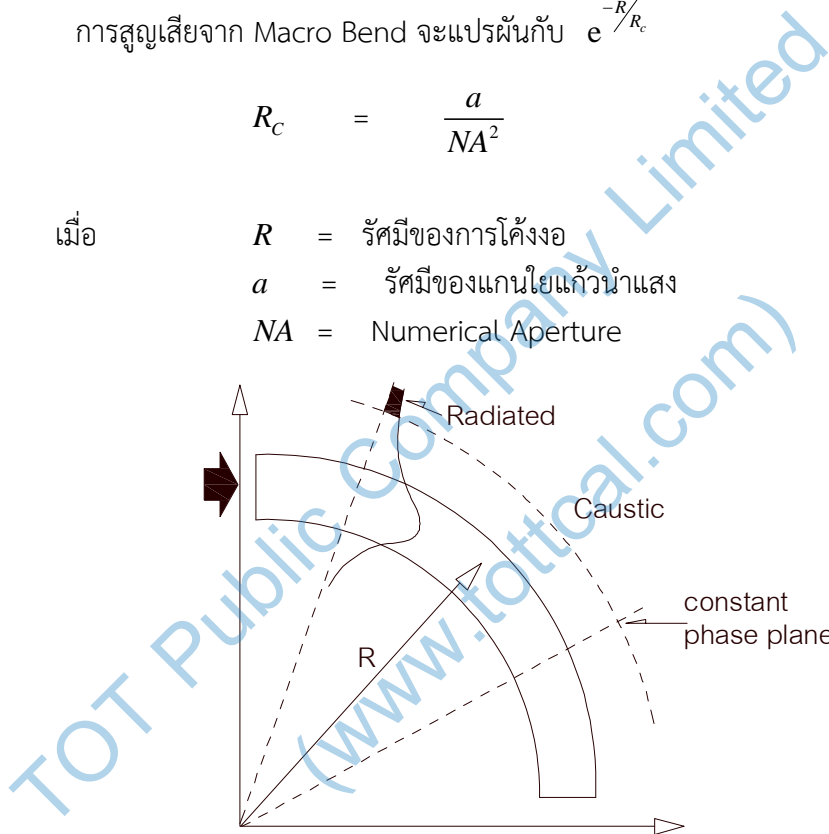
$$R_c = \frac{a}{NA^2} \tag{2.10}$$

เมื่อ

R = รัศมีของการโค้งงอ

a = รัศมีของแกนใยแก้วนำแสง

NA = Numerical Aperture



ภาพประกอบที่ 2.11 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอ

จาก Index Profile สามารถหาสัญญาณสูญเสียจาก Macro Bend (p_{loss}) ซึ่งเกิดจากการโค้งงอได้จากสมการ 2.11 [7]

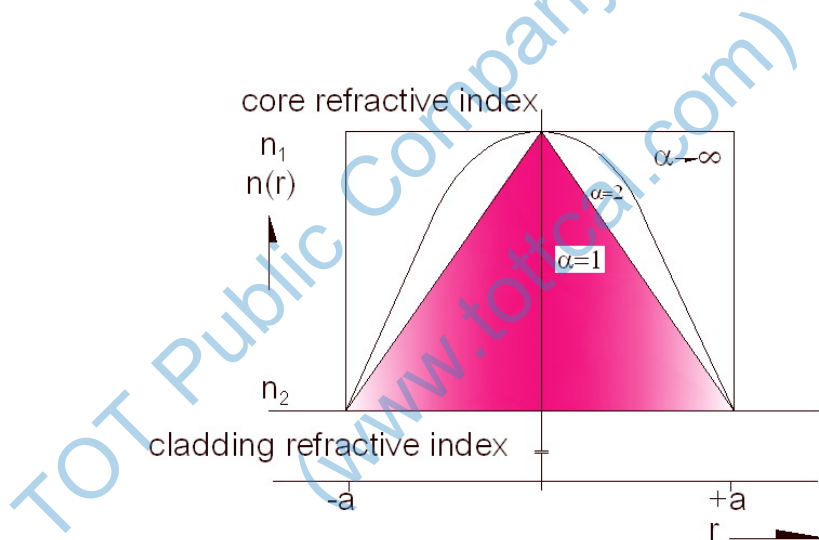
$$p_{loss} = -10 \log_{10} \left[1 - \left(\frac{\alpha + 2}{2\alpha\Delta} \right) \left\{ \frac{d}{R} + \left(\frac{3\lambda}{4\pi n_2 R} \right)^{\frac{2}{3}} \right\} \right] \quad dB \tag{2.11}$$

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad \text{และ} \quad d = 2a$$

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} = \frac{NA^2}{2n_1^2}$$

เมื่อ	p_{loss}	=	กำลังงานที่สูญเสียจากการโค้งงอ (dB)
	n_1	=	ดัชนีการหักเหของแสงใน Core
	n_2	=	ดัชนีการหักเหของแสงใน Cladding
	NA	=	Numerical Aperture
	Δ	=	ค่าความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีหักเหของ Core กับ Cladding
	d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของ Core (μm)
	a	=	รัศมีของ Core (μm)
	λ	=	ความยาวคลื่น (m)
	R	=	รัศมีการโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสง (m)

ตามที่เส้นใยแก้วนำแสงแบ่ง Refractive Index Profile [6] เป็น Step Index และ Graded Index จากสมการ 2.11 สามารถหา Index Profile $\frac{\alpha+2}{\alpha}$ จากภาพประกอบที่ 2.12



ภาพประกอบที่ 2.12 แสดง Index Profile ของเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละชนิด

จาก Index Profile Step-index Single mode (SI-SM)

	α	=	∞
	$\frac{\alpha+2}{\alpha}$	=	1
แทนค่า α ในสมการ	$\frac{\infty+2}{\infty}$	=	1

จาก Index Profile Graded-index Multimode (GI-MM)

$$\alpha = 2$$

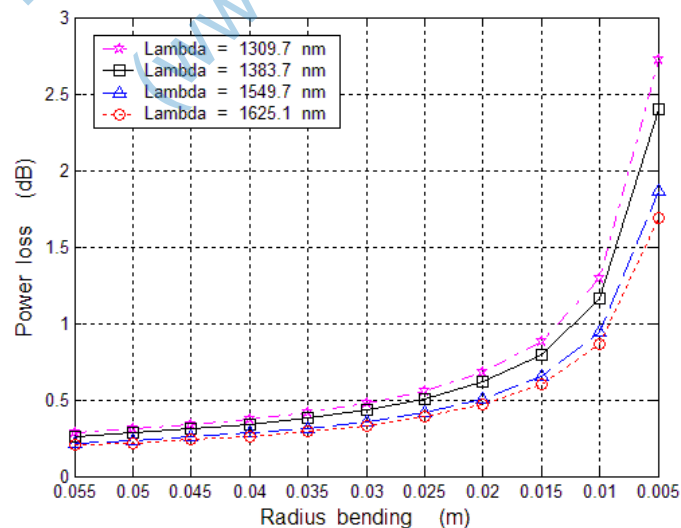
$$\frac{\alpha + 2}{\alpha} = 2$$

แทนค่า α ในสมการ $\frac{2+2}{2} = 2$

โครงข่ายทางแสง (Optical Network) ระยะทางไกล ๆ ใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิด Single Mode เนื่องจากมีการลดทอนสัญญาณต่ำกว่าเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Multi-Mode มาก สายเคเบิล OFC สำหรับ Access Service ตามมาตรฐาน ITU-T G.652 D [5] เส้นใยแก้วนำแสง Single Mode เส้นผ่านศูนย์กลางของ Core 8.6–9.5 μm ซึ่งมีปัญหาเส้นใยแก้วนำแสงเคลื่อนตัว เกิดการโค้งงอของเส้นใยแก้วนำแสงมากกว่า Critical Radius ทำให้ลำแสงทะลุออกด้านข้าง เกิด Loss ณ จุดโค้งดังกล่าว ซึ่งความยาวคลื่นแต่ละ λ ค่า Critical Radius จะไม่เท่ากัน จากสมการ 2.11 ใช้โปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์คำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ Critical Radius ผลการคำนวณรายละเอียดดังนี้

Single mode (SM) ϕ Core = 8.6 μm

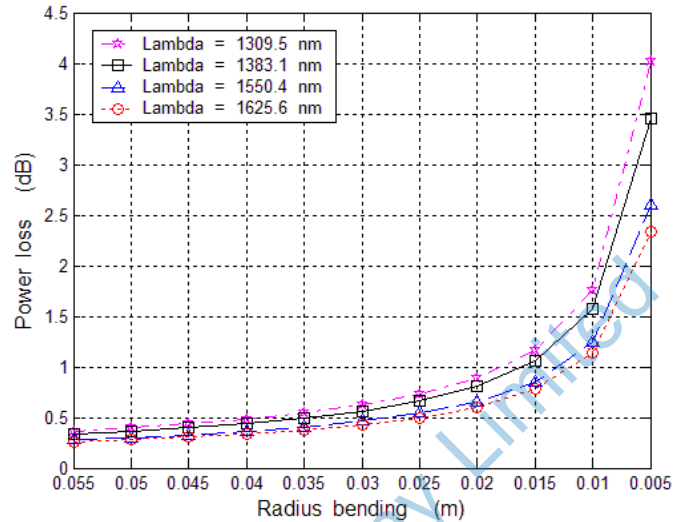
$n_1 = 1.4670$	$n_1 = 1.4670$	$n_1 = 1.4670$
$n_2 = 1.46236$	$n_2 = 1.46182$	$n_2 = 1.4605$
$\lambda_c = 1309.7 \text{ nm}$	$\lambda_c = 1383.7 \text{ nm}$	$\lambda_c = 1549.7 \text{ nm}$
$n_1 = 1.4670$		
$n_2 = 1.45985$		
$\lambda_c = 1625.1 \text{ nm}$		



ภาพประกอบที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ Critical Radius ϕ Core = 8.6 μm

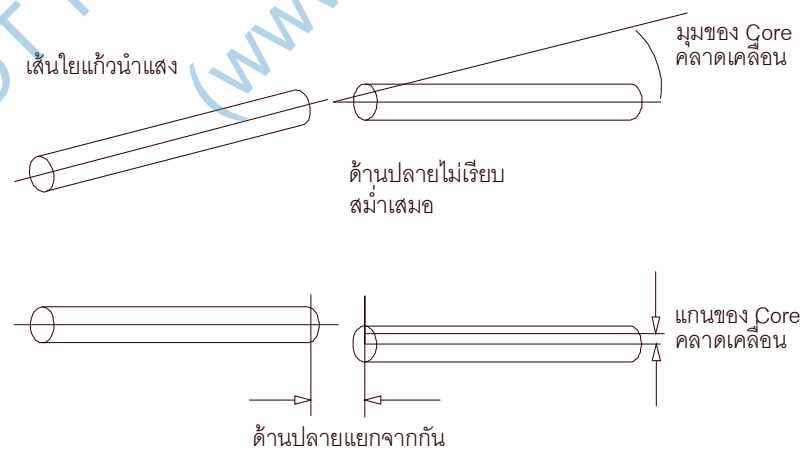
Single mode (SM) ϕ Core = 9.5 μ m

$n_1 = 1.4670$	$n_1 = 1.4670$	$n_1 = 1.4670$	$n_1 = 1.4670$
$n_2 = 1.46320$	$n_2 = 1.46320$	$n_2 = 1.46320$	$n_2 = 1.46320$
$\lambda_c = 1309.5 \text{ nm}$	$\lambda_c = 1309.5 \text{ nm}$	$\lambda_c = 1309.5 \text{ nm}$	$\lambda_c = 1309.5 \text{ nm}$



ภาพประกอบที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง λ และ Critical Radius ϕ Core=9.5 μ m

Connection loss การสูญเสียแสงที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Connection loss) จะเกิดขึ้นเนื่องจากการเชื่อมต่อที่ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้บริเวณรอยต่ออาจเกิดช่องว่างขนาดเล็ก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียแสงจากการสะท้อนกลับ ซึ่งเรียกว่า "Fresnel reflection" ทำให้เกิดการสูญเสียที่เรียกว่า "Fresnel Loss" โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.12)



ภาพประกอบที่ 2.15 การสูญเสียแสงที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง

$$\text{Fresnel loss} = -10\log(1-r) \quad (2.12)$$

เมื่อ

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

r = ขนาดของ Fresnel reflection

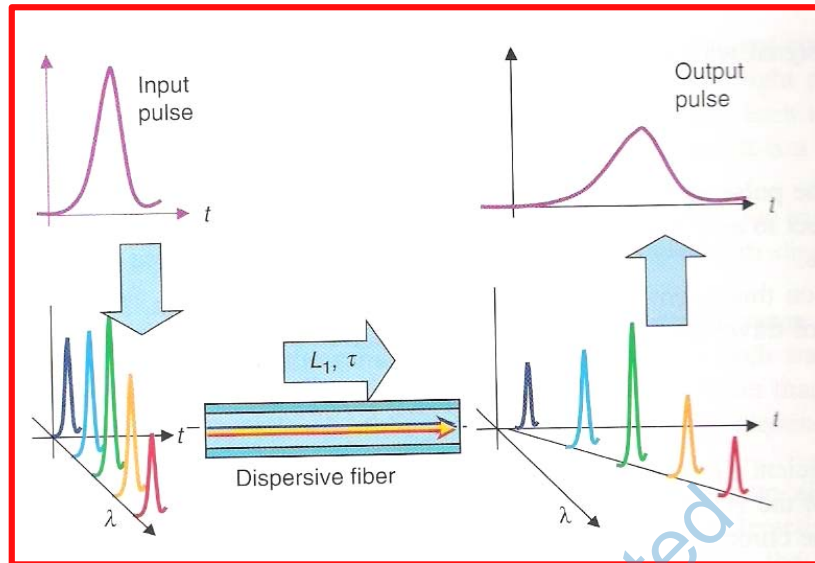
n_1 = ดัชนีการหักเหของ Core

n = ดัชนีการหักเหของตัวกลางที่อยู่ระหว่าง
เส้นใยแก้วนำแสงที่ทำการเชื่อมต่อ

2.1.5.2 Chromatic Dispersion

Chromatic Dispersion มีสาเหตุมาจากแสงที่มีสี หรือความยาวคลื่นต่างกันเดินทางไปถึงปลายทางไม่พร้อมกัน ตามภาพประกอบที่ 2.16 Chromatic Dispersion มีผลกระทบต่อ Data Rate เนื่องจากค่าดัชนีหักเหของ Core ขึ้นอยู่กับค่าความยาวคลื่นแสง แสงความยาวคลื่นสูงจะมีค่าดัชนีหักเหต่ำ ทำให้แสงความยาวคลื่นสูงเดินทางได้เร็วกว่าแสงความยาวคลื่นสั้น ดังนั้นการส่งสัญญาณหลายหลายคลื่นแสงไปยังเส้นใยแก้วนำแสงจะส่งผลให้สัญญาณของแต่ละคลื่นแสงมีการ Spread ของเวลาที่แตกต่างกัน เป็นผลให้สัญญาณที่ปลายทางมีการ Spread มากยิ่งกว่าสัญญาณที่ต้นทาง

ดังนั้น Chromatic Dispersion จึงส่งผลให้สามารถส่งสัญญาณได้ Data Rate ที่ต่ำลง โดยปกติ Chromatic Dispersion ขึ้นกับแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ Launch แสงไปยังเส้นใยแก้วนำแสงอาทิเช่น ค่า Spectral Line Width ของ LED มีค่า 40–100 nm ประกอบไปด้วยหลายความยาวคลื่นแสง ซึ่งความแตกต่างของความยาวคลื่นแสงที่ต่ำที่สุดและสูงที่สุดอยู่ที่ 40–100 nm ส่วนเลเซอร์มีค่า Spectral Line Width เป็น 0.2 สำหรับ Distributed Feedback, DFB, Laser @ 1300 nm, 4 nm สำหรับ Feebly-Perot Laser @ 1300 nm และน้อยกว่า 1 nm สำหรับ Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL, @ 850 nm ดังนั้น LED จึงทำให้เกิด Chromatic dispersion ได้มากกว่าเลเซอร์ หรือกล่าวได้อีกทางหนึ่งว่าสำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดเดียวกัน เมื่อใช้ LED จะสามารถส่งสัญญาณได้ที่ Bit Rate ต่ำกว่าเลเซอร์



ภาพประกอบที่ 2.16 แสดง Chromatic Dispersion แสงที่มีสีหรือความยาวคลื่นต่างกันเดินทางไปถึงปลายทางไม่พร้อมกัน

นอกจากนี้ **LED** ยังให้ค่า Modal dispersion ที่สูง เนื่องจากคุณสมบัติของแสงและวิธีการส่งลำแสงเข้าไปยังเส้นใยแก้วนำแสง **LED** มีค่าการบานปลายหรือการกระจายของแสงมาก (High Beam Divergence) การส่งลำแสงเข้าไปยังเส้นใยแก้วนำแสงจะทำให้ลำแสงครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณ Core ของ เส้นใยแก้วนำแสงซึ่งเรียกวิธีการส่งลำแสงแบบนี้ว่า Overfilled Launch (**OFL**) จำนวน Mode ที่ถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงจึงสูง หรืออาจกล่าวได้ว่าแสงสามารถเดินทางได้ในทุกเส้นทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง

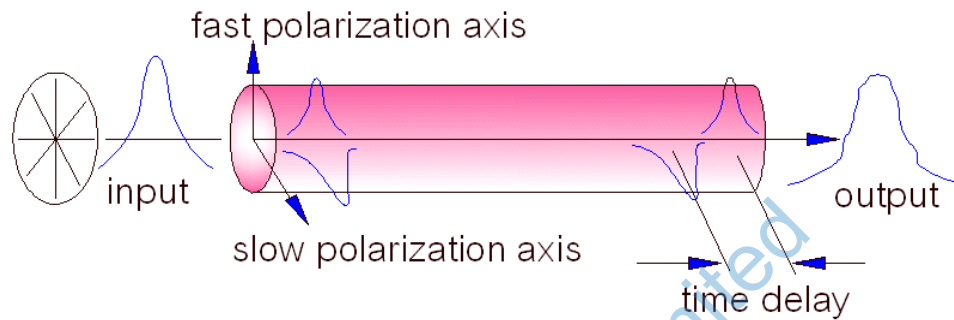
ผลกระทบของ Chromatic Dispersion และ Modal Dispersion ทำให้ **LED** ไม่สามารถนำมาใช้ส่งสัญญาณในระดับ Gigabit ได้ ในขณะเดียวกันแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์หรือ VCSEL มีค่า Spectral Line Width ที่ต่ำและการกระจายของแสงที่น้อยกว่า แสงเลเซอร์จึงครอบคลุมเพียงส่วนหนึ่งของ Core เท่านั้น ดังนั้นจำนวน Mode ที่ถูกส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสงจึงมีจำนวนจำกัด เรียกวิธีการส่งลำแสงแบบนี้ว่า Limited Core Launch เลเซอร์ให้ Modal Dispersion ที่น้อยกว่า ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงถูกนำมาใช้ในการส่งสัญญาณที่มากกว่า 1 Gb/s

Chromatic Dispersion ประกอบด้วย Dispersion สองแบบ ได้แก่ Material Dispersion คือพัลส์ที่แผ่อกเนื่องจากส่วนประกอบเฉพาะของแก้ว และ Waveguide Dispersion เป็นผลมาจากแสงเคลื่อนที่ใน Core และ Inner Cladding ของแก้ว ณ เวลาเดียวกัน ด้วยความเร็วต่างกันเล็กน้อย Dispersion ทั้งสองชนิดสามารถทำให้เท่าๆ กัน เพื่อสร้างให้ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 1310 nm ถึง 1650 nm (Operating Window) มี Dispersion เท่ากับศูนย์

2.1.5.3 Polarization-mode dispersion (PMD)

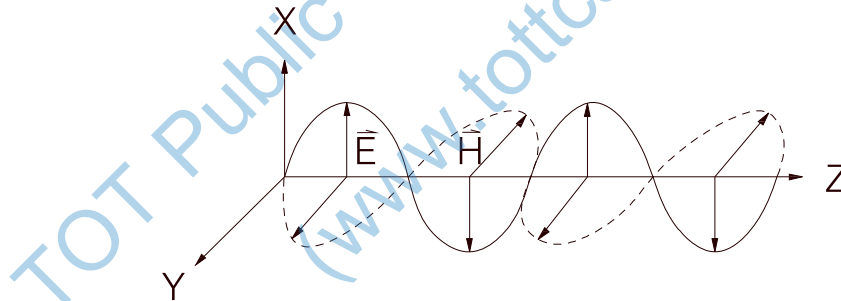
Polarization-mode dispersion: **PMD** เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในเส้นใยแก้วชนิด Single mode (ในเส้นใยแก้วชนิด Multimode เกิดขึ้นได้น้อยจนสามารถละเลยได้) **PMD** เกิดจากการบานออกของสัญญาณพัลส์ ที่เป็นผลมาจาก การโพลาไรซ์เซชันของแสงที่เดินทางภายใน

เส้นใยแก้วต่างกัน จึงทำให้เกิดการเลื่อมล้ำกันทางด้านเวลา ที่เรียกว่า Differential Group Delay (*DGD*) โดยหน่วยของ *PMD* คือ *PS/square(km.)* สาเหตุของการเกิด *PMD* อาจมีสาเหตุมาจากการโค้งงอของเส้นใยแก้ว การกดทับเส้นใยแก้ว อุณหภูมิ หรืออาจเป็นผลจากการผลิตเส้นใยแก้ว เนื่องจากสารที่เคลือบเส้นใยแก้วเอง จึงทำให้ดัชนีการหักเหของแสงภายในเส้นใยแก้ว ต่างกัน หรือเรียกว่า ไบรีฟรินเจนต์



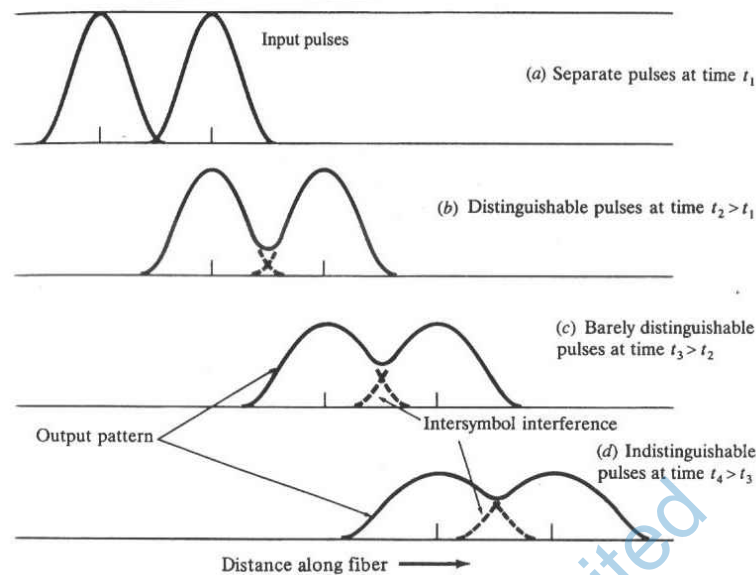
ภาพประกอบที่ 2.17 แสดงการเกิด Polarization-mode dispersion ในเส้นใยแก้วนำแสง

กฎการกระจายของแสงกล่าวว่า "แสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันจะเดินทางด้วยความเร็วที่ต่างกันในตัวกลางเดียวกัน" และแสงจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ชนิดหนึ่ง ดังนั้นคลื่นแสงจะมีการเปลี่ยนแปลงตามขวาง (Transverse Wave) เราสามารถสรุปได้ว่าคลื่นแสงเป็นคลื่น *TEM* มีลักษณะการเดินทางของแสงตามภาพประกอบที่ 2.18



ภาพประกอบที่ 2.18 ลักษณะการเดินทางของคลื่นแสงในเส้นใยแก้วนำแสง

ปรากฏการณ์ *PMD* เป็นสาเหตุให้เกิดจากการบานออกของสัญญาณ Pulses ตัวอย่างตามภาพประกอบที่ 2.19 สัญญาณ Input Pulses ณ เวลา t_1 เปรียบเทียบกับ Output Pulses ณ เวลา t_3 หรือ t_4 สัญญาณ Pulses บานออกเกิด Intersymbol Interference

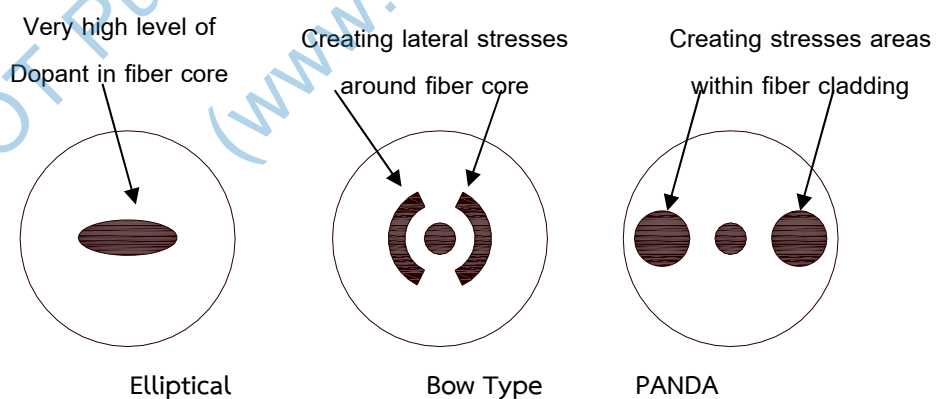


ภาพประกอบที่ 2.19 Polarization-mode Dispersion ทำให้มีการบานออกของสัญญาณพัลส์

ปัญหา *PMD* สามารถแก้ไขโดยเลือกใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดแกนไม่สมมาตร (Non-Symmetrical Optic Fiber) โดยเฉพาะ Single Mode ในการรักษาทิศทางของ *PMD* แบ่งเป็น

1) ชนิด Stress-Induced Birefringence ประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสงที่มี Cladding เป็นวงรี (Elliptical) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดแพนด้า (Panda) และเส้นใยแก้วชนิดหูกระต่าย (Bow-Type) ตามภาพประกอบที่ 2.20

2) ชนิด Geometrically Birefringent ประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสงที่มีช่องว่างอยู่ด้านข้าง (Tunnel) และเส้นใยแก้วนำแสงที่มี Core เป็นรูป “ดัมเบล”

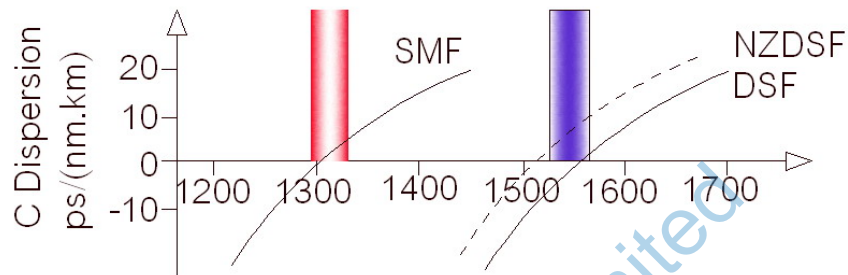


ภาพประกอบที่ 2.20 เส้นใยแก้วนำแสงที่ผลิตมาเพื่อแก้ปัญหา *PMD*

2.1.6 Zero-dispersion

ความต้องการส่งช่องสัญญาณจำนวนหลายช่อง (Multiple Channels) ในเส้นใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียว ตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีของเครื่องส่งและเทคโนโลยีการมัลติเพล็กซ์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาของอุปกรณ์ขยายแสง (Optical Amplifier) นับตั้งแต่ปี 1953 เส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้กันโดยทั่วไปจะเป็นเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Un-shifted Single Mode ใช้งานที่ความ

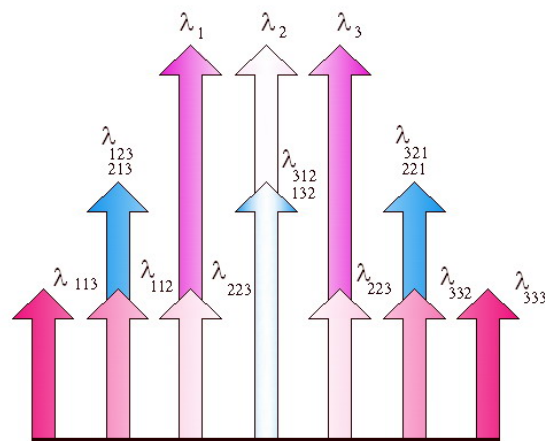
ยาวคลื่น 1310 nm ความเร็วในการรับส่งข้อมูลอยู่ในช่วง 100 Mbit/sec แต่มาในวันนี้ระบบมีการอัปเดตที่จะส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงถึง 10 Gbit/sec แต่ยังคงใช้เส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดิม ก่อให้เกิดปัญหาคอขวดขึ้นสำหรับผู้บริการรายใหม่ที่ไม่มีเส้นใยแก้วนำแสงเพียงพอในบางเส้นทาง ทำให้มีความพยายามหาหนทางเพิ่ม Capacity ให้มากขึ้นด้วยการเพิ่มเคเบิลเส้นใหม่ แต่ต้นทุนในการดำเนินงานสูงมาก



ภาพประกอบที่ 2.21 Wavelength Window และ Zero-dispersion ที่ 1550 nm

ในช่วงเดียวกันมีการพัฒนาอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงที่เรียกว่า *EDFA* (Erbium-doped Optical Fiber Amplifier) สามารถเพิ่มความจุในการส่งสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดิม แลพบความยาวคลื่นของ *EDFA* จะกว้างขึ้น สามารถส่งหลายความยาวคลื่น (λ) พร้อมกันเป็นการเพิ่มแบนด์วิดท์ให้มากขึ้นอาจเป็น 8 16 32 เท่า หรือมากกว่า เนื่องจาก *EDFA* นำมาใช้งานในช่วง Wavelength Window 1550 nm จึงเหมาะที่จะใช้กับเส้นใยแก้วนำแสงแบบ *DSF* (Dispersion Shifted Fiber) ซึ่งมี Zero-dispersion ที่ 1550 nm และให้การลดทอนของสัญญาณต่ำ จากเหตุผลข้างต้นเส้นใยแก้วนำแสง *DSF* เหมาะที่จะใช้งานกับระยะทางไกลและมีอัตราเร็วของการส่งข้อมูลสูง

อย่างไรก็ตามกำลัง Out put ที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ Optical Amplifier รวมทั้งการส่งสัญญาณหลายความยาวคลื่นพร้อมกัน ทำให้เกิดการตอบสนองไม่เชิงเส้น (Non-linear Response) ของเส้นใยแก้วนำแสงเกิดขึ้น ซึ่งเป็น Factor ที่จะจำกัดความจุการส่งข้อมูลของเส้นใยแก้วนำแสง ผลตอบสนองไม่เชิงเส้นดังกล่าวได้แก่ Self-phase Modulation, Cross-phase Modulation, Modulation Instability และ Four-wave Mixing



ภาพประกอบที่ 2.22 ความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้นในตำแหน่งช่วงสัญญาณเดิม

Factor หนึ่งที่สำคัญของผลไม่เชิงเส้นคือ Four-wave Mixing เมื่อหลายสัญญาณมีการแพร่เดินทางไปด้วยกัน ก็จะเกิดการ Mix กัน ทำให้เกิดช่องสัญญาณใหม่เพิ่มขึ้นมา ซึ่งอาจจะไปซ้อนทับหรือดึงเอากำลังงานเดิมตามภาพประกอบที่ 2.22 แสดงขบวนการของ Four-wave Mixing จากการส่ง 3 ช่องสัญญาณที่ห่างเท่าๆ กัน (L_1, L_2 และ L_3) สัญญาณย่อยจากการ Mixing นี้จะเกิดขึ้นที่ $L_{XYZ} = L_X + L_Y - L_Z$ เนื่องจากความยาวคลื่นของสัญญาณเดิมมีระยะห่างเท่าๆ กัน ทำให้บางสัญญาณที่เกิดขึ้นใหม่อยู่ตำแหน่งช่องสัญญาณเดิมด้วย

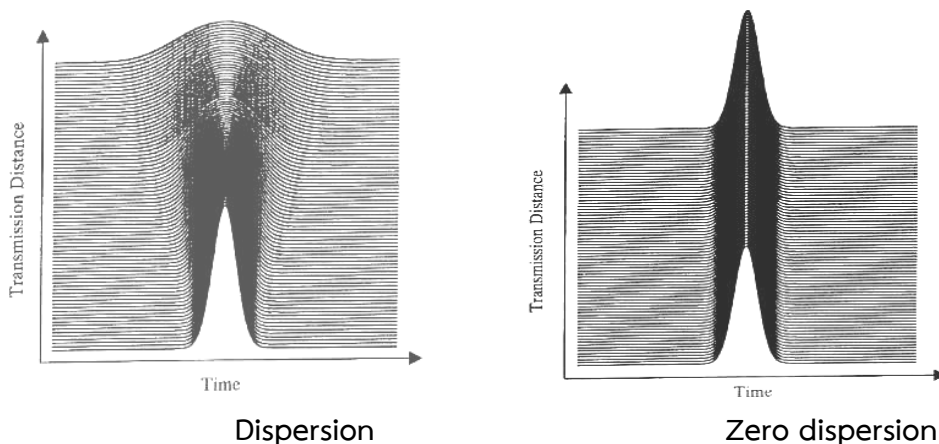
จำนวนองค์ประกอบของสัญญาณย่อยทั้งหมด (m) ที่เกิดขึ้นใหม่จากการ Mixing นี้สามารถคำนวณโดยสมการ 2.13

$$m = \frac{1}{2}(N^3 - N^2) \quad (2.13)$$

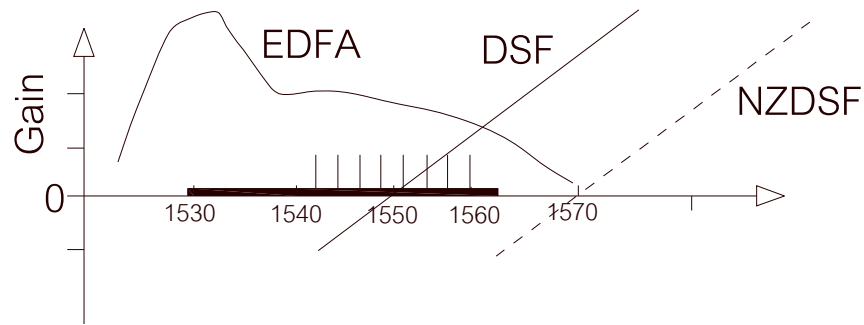
เมื่อ N = จำนวนช่องสัญญาณเดิม

ถ้าเป็นระบบแบบ 3 ช่องสัญญาณ ก็จะมีสัญญาณย่อยเกิดขึ้น 9 สัญญาณ(ภาพประกอบที่ 2.22) ถ้าเป็นระบบแบบ 8 ช่องสัญญาณ จำนวนสัญญาณย่อยก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 224 ช่องสัญญาณ วิธีหนึ่งของการลดผลของ Four-wave Mixing ให้เหลือน้อยที่สุด ก็คือการจัดระยะช่องสัญญาณให้ห่างไม่เท่ากัน ซึ่งง่ายสำหรับระบบแบบ 3 ช่องสัญญาณ แต่จะยุ่งยากซับซ้อนสำหรับระบบแบบ 32 ช่องสัญญาณที่มีสัญญาณย่อยเกิดขึ้นมากถึง 15,872 สัญญาณ

กระบวนการ Four-wave Mixing จะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น Zero-Dispersion ซึ่งขัดแย้งโดยตรงกับความต้องการที่จะให้ Dispersion ของเส้นใยแก้วนำแสงมีค่าน้อยที่สุด เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลได้มากๆ ระยะทางไกลๆ เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสง Dispersion-shifted ตามมาตรฐานจะมีความยาวคลื่น Zero-dispersion อยู่ภายในแถบความยาวคลื่นที่ใช้งานของ EDFA ดังนั้นความต้องการที่ขัดแย้งกันเหล่านี้จะจำกัดความสามารถของเส้นใยแก้วนำแสง DSF ที่จะใช้ในเครือข่ายข้อมูลความเร็วสูงภายใต้เทคโนโลยี WDM (Wavelength Division Multiplexing) ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีการพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่ขึ้นมาเรียกว่า NZ-DSF (Non-zero Dispersion Shifted Fiber)



ภาพประกอบที่ 2.23 เปรียบเทียบ Pulse Dispersion กับ Zero Dispersion



ภาพประกอบที่ 2.24 เปรียบเทียบ แถบขยายความยาวคลื่น *EDFA* กับ *DSF* และ *NZ-DSF*

แนวความคิดของ *NZ-DSF* นั้นจะง่าย คือความยาวคลื่นของ Zero-dispersion ของ *DSF* จะถูกเคลื่อนย้ายออกไปสู่ภายนอกแถบความยาวคลื่นใช้งานของ *EDFA* เป็นการทำให้มี Dispersion ส่วนหนึ่งที่สามารถควบคุมได้เกิดขึ้นในระบบตามภาพประกอบที่ 2.24 ซึ่งเปรียบเทียบเส้นโค้ง Dispersion ของเส้นใยแก้วนำแสง *NZ-DSF* และ *DSF* ค่า Dispersion ที่เกิดขึ้นของเส้นใยแก้วนำแสง *NZ-DSF* จะต่ำเพียงพอที่จะใช้งานระยะทางไกลๆ ได้ แต่จะยังไม่ต่ำจนกระทั่งผลของ Four-wave Mixing มีมากเกินไป ได้มีการทดลองสาธิตการใช้งานเส้นใยแก้วนำแสง Four-wave Mixing สามารถส่งข้อมูลความเร็ว 10 Gbit/sec จำนวน 8 ช่องสัญญาณพร้อมกันระยะทาง 360 Km . ได้โดยไม่ต้องมีการชดเชยใดๆ

การรวมส่งช่องสัญญาณจำนวนหลายช่องเข้าไปพร้อมกันทางเส้นใยแก้วนำแสง *NZ-DSF* ที่มีค่า Loss ต่ำและ Dispersion ที่ต่ำด้วย จะให้ประโยชน์ที่จะประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าการใช้เส้นใยแก้วนำแสง Single Mode ตามมาตรฐานเพราะว่าระยะห่างระหว่าง Regenerator /Amplifier สามารถไกลขึ้น และไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มอุปกรณ์เพื่อชดเชย Dispersion ในระบบ ประมาณการกันไว้ว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายการติดตั้งเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงได้มากถึงร้อยละ 30 - 50

2.2 เคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable)

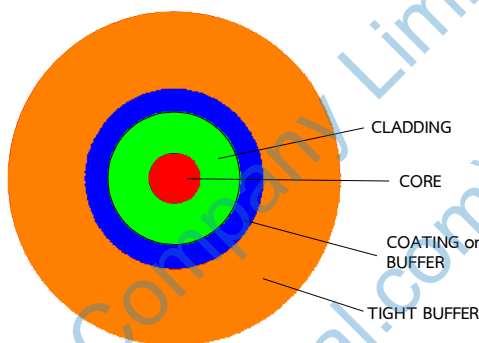
เคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable) หรือ OFC แบ่งประเภทการใช้งานเป็น 2 ประเภท คือใช้เป็นสายเคเบิลเส้นหลัก (Backbone Cable or Core Network) และสายเคเบิลเส้นรอง (Access Service) เคเบิลเส้นหลัก เกิดจากการนำเส้นใยแก้วนำแสงตั้งแต่ 12 Fiber ถึง 312 Fiber [1] มารวมเป็นกลุ่มอยู่ใน Loose Tube จากนั้นห่อหุ้มกลุ่ม Loose Tube ด้วยเปลือก (Jacket) เข้าด้วยกัน เรียกว่า Optical Fiber Cable และเคเบิลเส้นรอง หรือ Optical Fiber Cable for Access Service แยกเป็นเคเบิลที่แยกจากเคเบิลเส้นหลัก เรียกว่า Optical Fiber Cable for Access Service (Dropwire Twisted) จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 6 Fiber และ 12 Fiber [4] และต่อเข้าอาคารที่รับบริการด้วยจำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 1 Fiber ถึง 2 Fiber [7] เรียกว่า Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F

ลักษณะของสาย Fiber Optic ที่ใช้งาน แบ่งตามลักษณะการใช้งานแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ

- 1) Tight-Buffered Fiber (indoor/Outdoor Tight Buffer)
- 2) Loose Tube

2.2.1 Tight-Buffered Fiber

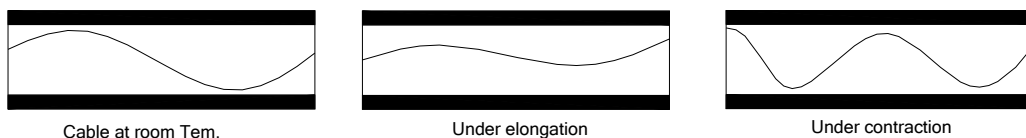
Tight-Buffered Fiber (indoor/Outdoor Tight Buffer) โครงสร้างจะนำเส้นใยแก้วนำแสงมาห่อหุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่ง เส้นผ่านศูนย์กลางหลังห่อหุ้มฉนวนตามมาตรฐานมี 2 ความหนา คือ 600 μm และ 900 μm การใช้งานจะไม่มีเจล จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 1 และ 2 Fiber (จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงอาจมากกว่านี้สำหรับสายที่ออกแบบเฉพาะงาน) เหมาะสำหรับลักษณะงานทั้งภายในและภายนอกอาคาร เช่น สาย Optical Fiber Drop Cable (Round Type) [7] เป็นสายกระจายจากเคเบิลเส้นหลักเข้าอาคาร



ภาพประกอบที่ 2.25 โครงสร้าง Tight-Buffered Fiber (Indoor/Outdoor Tight Buffer)

2.2.2 Loose Tube

Loose Tube หรือ Fiber Buffer Tube ลักษณะที่กลมกลวง ผลิตจาก PBT (Polybutylene Terephthalate) ภายในวางเส้นใยแก้วนำแสง ต่ำสุด 2 Fiber สูงสุด 12 Fiber ต่อ 1 Loose Tube ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง (Bare Fiber) ภายใน Loose Tube มี Thixotropic Compound (Filling) ป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงเกิด Micro Bending โค้งงอจากแรงกระทำจากภายนอก ซึ่งเส้นใยแก้วนำแสงที่วางตัวคล้ายตัวหนอนใน Loose Tube เมื่อเจอสภาพแวดล้อมจากการใช้งาน เช่น แรงแดึง แรงแกด เส้นใยแก้วนำแสงจะเคลื่อนตัวโดยมี Compound ปรับสภาพตามการเคลื่อนตัวของเส้นใยแก้วนำแสงป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหาย



ภาพประกอบที่ 2.26 Fiber Access Lengths In Loose Tube และสถานะต่างๆ ของเส้น Fiber

สาย Optical Cable มาตรฐานการผลิตระบุให้เส้นใยแก้วนำแสงยาวกว่า Loose Tube (Access length) ร้อยละ 0.1 ถึง 0.3 เพื่อให้เส้นใยแก้วนำแสงยึดหยุ่นรองรับการโค้งงอ

เคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable) แบ่งตามลักษณะการใช้งานสามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบคล้ายแบ่งตามลักษณะการใช้งาน คือ

- 1) สายภายใน (Indoor Cable)
- 2) สายภายนอก (Outdoor Cable)

2.2.3 สายภายใน (Indoor Cable)

สายภายใน (Indoor Cable) คือสายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งภายในอาคารเน้นคุณสมบัติไม่ลามไฟตามข้อกำหนดความปลอดภัยมาตรฐาน เช่น มาตรฐานของ NEC (National Electrical Codes) สายชนิดนี้สามารถติดตั้งได้ทั้งภายนอกและภายในอาคาร สายบางชนิดมีคุณสมบัติพิเศษที่เรียกว่า Low Smoke Zero Halogen (LSZH) ซึ่งเมื่อเกิดอัคคีภัย จะเกิดควันน้อยและควันไม่เป็นพิษ เมื่อเทียบกับเปลือกห่อหุ้ม (Jacket) ของสายชนิดอื่น ที่จะลามไฟง่ายและเกิดควันพิษ

คุณสมบัติที่สำคัญยิ่งคือสามารถโค้งงอได้มากกว่าสายภายนอกอาคาร วิธีการติดตั้งมีหลายแบบ เช่น อาคารบ้านพักอาศัยขนาดเล็กของบริการ FTTx การติดตั้งไม่ซับซ้อน แต่ถ้าเป็นอาคารขนาดใหญ่หรือหน่วยงานธุรกิจ การติดตั้งจะมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น เช่น ติดตั้งบน Cable Ladder, Wireway, Cable tray, Conduit (PVC, EMT, IMC, RSC) หรือวางไว้ใต้ Raised Floor เป็นต้น

2.2.4 สายภายนอก (Outdoor Cable)

สายภายนอก (Outdoor Cable) คือสายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร เริ่มจากอาคารชุมสายที่ให้บริการถึงอาคารผู้รับบริการ สายภายนอกอาคารสามารถจำแนกแบ่งกลุ่มตามลักษณะการติดตั้งใช้งานหลักๆ ได้ 3 กลุ่มคือ

- 1) สายเคเบิล OFC แบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable)
- 2) สายเคเบิล OFC ติดตั้งใต้พื้นดิน (Underground Cable)
- 3) สายเคเบิล OFC ติดตั้งใต้น้ำ (Submarine Cable)

2.2.4.1 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงแบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable)

สายเคเบิล OFC แบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) หรือสายที่แขวนกลางอากาศ ต้องเจอกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงมากกว่าสายชนิดอื่น โดยทั่วไปจะติดตั้งบนเสาไฟฟ้าแนวต่ำกว่าสายส่งแรงต่ำ การออกแบบสายที่แขวนกลางอากาศ ต้องออกแบบให้รองรับระยะห่างของช่วงเสา (Span) ระยะตกท้องช่วง (Sag) ต้องรับแรงดึง (Tensile Force) ระหว่างช่วงเสาที่ใช้งาน และรองรับภาระแรงที่เกิดจาก ลม (Wind Velocity) ไม่น้อยกว่า 144 Km/hr สภาวะจาก ฝน-ความชื้น ปัจจัยสำคัญการใช้งานระยะยาวต้องทนต่อรังสี UV (Ultraviolet) จากแสงดวงอาทิตย์ได้ ทั้งนี้อายุการใช้งานเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐานกำหนดไว้ที่ 25 ปี

แรงกระทำจากภายนอกรวมทั้งสภาพความเสี่ยงที่คาดการณ์ไม่ได้ เช่น น้ำหนักบันไดที่พาดทับบนสายขณะพนักงานขึ้นไปซ่อมบำรุง ไฟป่า รถเกี่ยวสายเคเบิลเป็นสาเหตุหนึ่งให้เสาไฟฟ้าล้มเป็นแนวยาวจากแรงดึงของสายสะพาน (Self-Supporting Strand) ของเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง

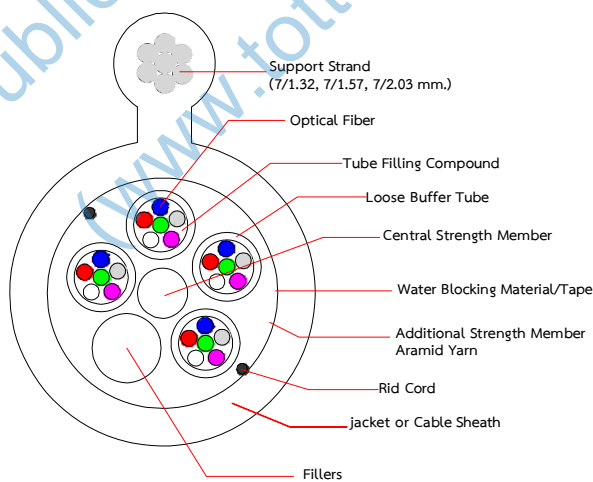
และปัญหาที่เริ่มรุนแรงมากขึ้นคือชำรุดจากสัตว์กัดแทะ (Rodent) เช่น กระจงสำหรับเคเบิลใช้งานภายนอก หนู แมงสาบ จากสายที่ใช้งานภายใน

สายเคเบิล OFC แบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) แบ่งได้หลักๆ ดังนี้

- 1) Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable
- 2) Armoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable
- 3) ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable)
- 4) Optical Fiber Cable for Access Service (Dropwire Twisted)
- 5) Armoured Optical Fiber Cable for Access Service (Armoured Dropwire Twisted)
- 6) Optical Fiber Drop Cable (Round Type) (Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F)

Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable

สายเคเบิล OFC แบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) ชนิด Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable [1] จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลัก ออกแบบติดตั้งระหว่างจุดกับจุดในอากาศ เช่น ระหว่างเสาไฟฟ้ากับเสาไฟฟ้า ระหว่างเสาไฟฟ้ากับอาคาร ระหว่างอาคารกับอาคาร เป็นต้น โครงสร้างสายเคเบิลเส้นใยแก้วชนิด Figure-8 OFC ตามภาพประกอบที่ 2.27 ที่มีสายสะพานอยู่ด้านบนสายเคเบิล OFC อยู่ด้านล่างมีรูปร่างหน้าตัดคล้ายเลข 8 จึงเรียกว่า Figure-8



ภาพประกอบที่ 2.27 สาย Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable

โครงสร้างสายเคเบิล OFC ประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสงจำนวนสูงสุดไม่เกิน 12F สอดอยู่ใน Loose Tube พร้อมอัด Filling Compound ระหว่างช่องว่างของเส้นใยแก้วนำแสงกับผนังภายในของ Loose Tube ป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงเสียหาย จากนั้นจะนำ Loose Tube หลายเส้นตีเกลียวรวมเป็นกลุ่มทรงกลมรอบ Central Strength Member เคเบิลบางขนาดต้องเสริม Filler Rod ที่สร้างจากพลาสติกทรงกลมยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ Loose Tube ทดแทนเพื่อให้เมื่อนำ Loose Tube มาตีเกลียวเข้าด้วยกันแล้วได้สมมาตร (Symmetrical) จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงของสายเคเบิล ตั้งแต่ 12F จนถึง 312F ขึ้นกับการใช้งาน

รอบๆ กลุ่ม Loose Tube ตีเกลียว พันด้วย Aramid yarn รองรับแรงดึง และ/หรือ Swell able Material ป้องกันน้ำและความชื้น ก่อนห่อหุ้มด้วยเปลือก (Cable Sheath) ผลิตจาก HDPE มีสาย Rip Cord 2 เส้นวางตรงข้ามกัน ช่วยในการลอกเปลือก ด้านล่างมีแถบสีระบุว่าเป็นเคเบิล เส้นนี้เป็นของบริษัทใด บมจ.ทีโอที ใช้สีแดง (Red Strip) เป็นสีประจำบริษัทตามข้อกำหนดของการไฟฟ้า

โครงสร้างด้านบนจะมีสายสะพาน (Self-Supporting Strand) รับแรงและน้ำหนักสายเคเบิล OFC ทั้งหมด ขนาดสายสะพานแบ่งเป็น 3 ขนาดตามจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงของเคเบิลเส้นนั้น รายละเอียดตามตารางที่ 2.2

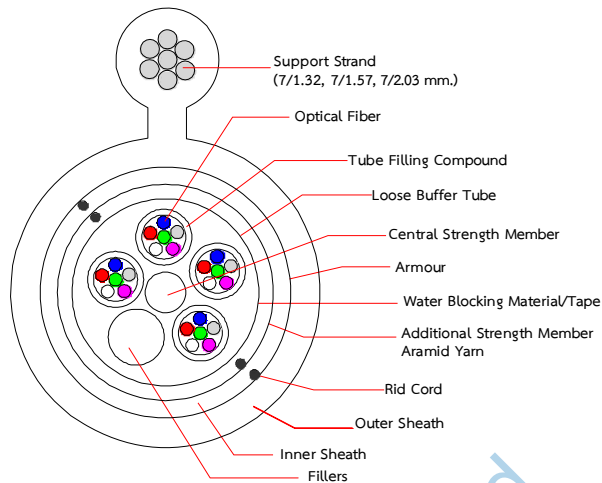
ตารางที่ 2.2 ขนาดสายสะพานโครงสร้าง Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable

Fibers Capacities	Nominal Diameter of Strand, inch (mm.)	Nominal Diameter of Coated Wire in Strand, inch (mm.)
12 - 60	5/32 (3.97)	0.052 (1.32)
72 - 216	3/16 (4.76)	0.062 (1.57)
240 - 312	1/4 (6.35)	0.080 (2.03)

Armoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable

สายเคเบิล OFC แบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) ชนิด Armoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable [1] จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลจัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลัก โครงสร้างเหมือนสาย Fig.-8 Single Mode Optical Fiber Cable ตำแหน่งการใช้งานทดแทนสาย Fig.-8 Single Mode Optical Fiber Cable เดิม แก้ปัญหาบางพื้นที่เจอกระรอกกัดแทะสายชำรุดเสียหายอย่างรุนแรง

สาย Armoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable แตกต่างเพียงมีแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น (Corrugate Armoured Steel) มาห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงไว้ภายในก่อนห่อหุ้มเปลือกภายนอกคล้ายกับโครงสร้างสาย Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable ทดลองใช้งานมาระยะเวลาหนึ่งสามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ตามเป้าหมายที่กำหนด มีข้อกำหนดมาตรฐานของ บมจ.ทีโอที จัดซื้อเข้าระบบคลังพัสดุ

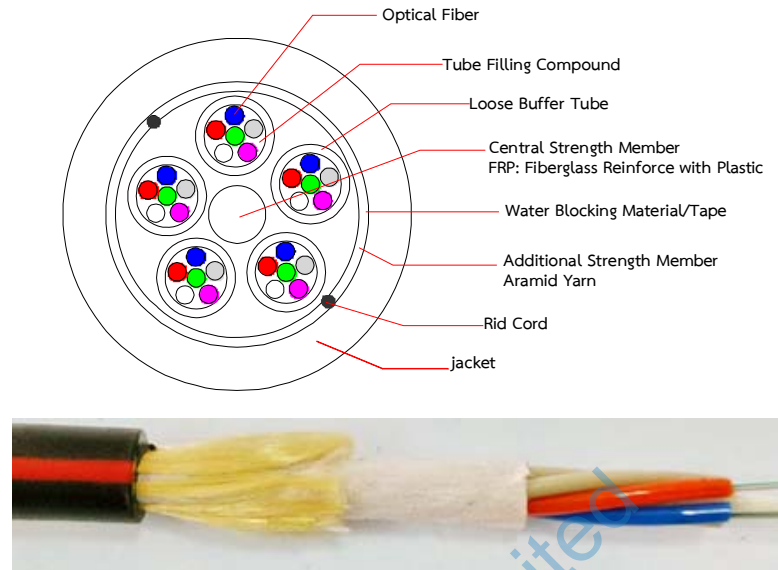


ภาพประกอบที่ 2.28 สาย Armoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable

ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable)

สายเคเบิล OFC แบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) ชนิด ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) [3] จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลัก จากที่การไฟฟ้านครหลวงห้ามแขวนสายเคเบิลที่มีสายสะพานกับเสาของการไฟฟ้านครหลวง จากปัญหาเรื่องรถเกี่ยวสายสื่อสารซึ่งอยู่ในแนวต่ำสุดของเสาไฟฟ้า สายสะพานดึงให้เสาของการไฟฟ้าล้ม ผู้ให้บริการสื่อสารในประเทศไทยจำเป็นต้องติดตั้งใช้ ADSS OFC ทดแทน

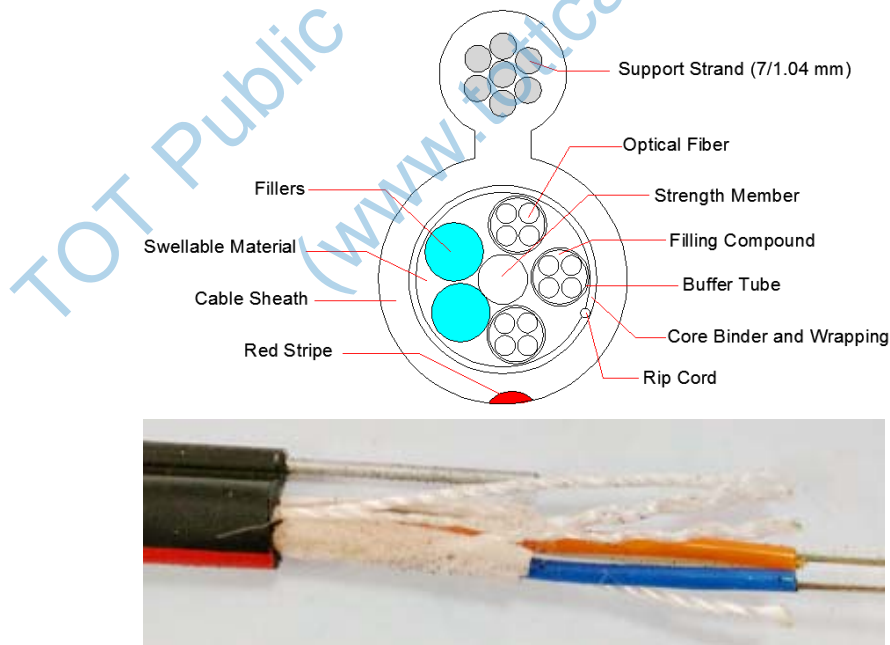
โครงสร้างคล้ายกับสาย Fig.-8 OFC ทุกประการ ยกเว้นสาย ADSS OFC ไม่มีสายสะพานรับแรง ใช้ตัวโครงสร้างที่เป็นแกนกลาง (Central Strength Member) ทำการ FRP (Fiberglass Reinforce with Plastic) รับแรงร่วมกับ Aramid Yarn ดังนั้นการออกแบบระยะห่างที่จะแขวนใช้งานผูกผันกับราคา มาตรฐานทั่วไปกำหนดที่ระยะห่างระหว่างจุดแขวน 40 เมตร จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงของสายเคเบิล ตั้งแต่ 12F จนถึง 312F ขึ้นกับการใช้งาน



ภาพประกอบที่ 2.29 สาย ADSS OFC

Optical Fiber Cable for Access Service (Dropwire Twisted)

สายเคเบิล OFC แบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) ชนิด Optical Fiber Cable for Access Service (Dropwire Twisted) [4] จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นรอง โครงสร้างคล้ายกับสาย Fig.-8 OFC ย่อส่วน จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงของสายเคเบิล นิยมผลิต 3 ขนาด คือ 4F, 6F, 8F และ 12F ขึ้นกับการใช้งาน



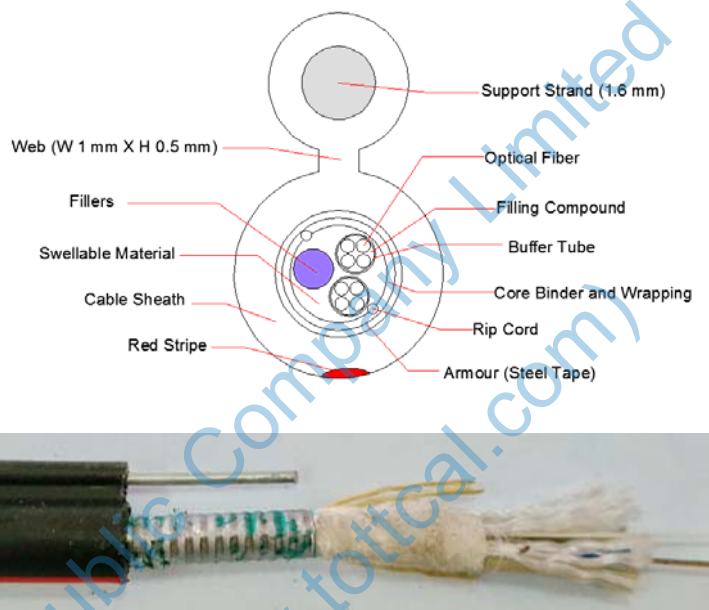
ภาพประกอบที่ 2.30 สาย Dropwire Twisted

Armoured Optical Fiber Cable for Access Service (Armoured Dropwire Twisted)

สายเคเบิล OFC แบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) ชนิด Armoured Optical Fiber Cable for Access Service (Armoured Dropwire Twisted) [5] จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นรอง

ตำแหน่งการใช้งานทดแทนสาย Dropwire Twisted จากปัญหาบางพื้นที่เจอกระรอกกัดแทะสาย ชำรุดเสียหายอย่างรุนแรง

ส่วนงาน บมจ.ทีโอที ที่เกี่ยวข้อง ร่วมกันศึกษาวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไข และทดลองนำ แผ่นเหล็กบางรูปคลื่นมาห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงไว้ภายในก่อนห่อหุ้มเปลือกภายนอกคล้ายกับ โครงสร้างสาย Armoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable ทดลองใช้งานมา ระยะเวลาหนึ่งสามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ตามเป้าหมายที่กำหนด มีข้อกำหนดมาตรฐานของ บมจ.ทีโอที จัดซื้อเข้าระบบคลังพัสดุ กล่าวโดยสรุป Armoured Dropwire Twisted ก็คือ Dropwire Twisted ที่ห่อหุ้มภายนอกด้วย Corrugate Armoured Steel

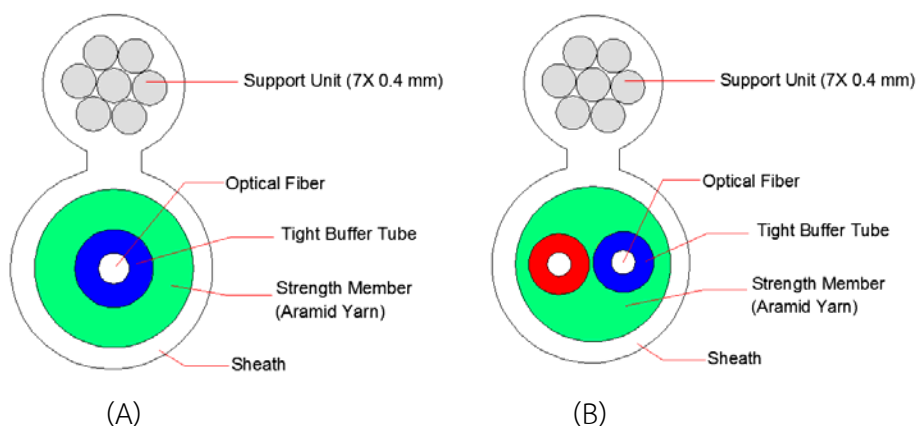


ภาพประกอบที่ 2.31 สาย Armoured Dropwire Twisted

Optical Fiber Drop Cable (Round Type)

สายเคเบิล OFC แบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) ชนิด Optical Fiber Drop Cable (Round Type) (Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F) [7] จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นรอง แยกออกจากเคเบิลเส้นหลักหรือเคเบิลเส้นรองเข้าอาคารที่ใช้บริการ FTTx สาย Round Type ไม่มี Loose Tube แต่จะใช้เส้นใยแก้วนำแสงใช้ชนิด Tight-Buffered Fiber พันด้วย Aramid Yarn ช่วยในการรับแรงและป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงเสียหาย

สาย Round Type มี 2 แบบ คือแบบเส้นใยแก้วนำแสง 1F (ภาพประกอบที่ 2.32 (A)) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลังห่อหุ้มด้วย Tight-Buffered Fiber โด $900 \mu\text{m}$ และแบบเส้นใยแก้วนำแสง 2F (ภาพประกอบที่ 2.32 (B)) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลังห่อหุ้มด้วย Tight-Buffered Fiber แต่ละเส้นโด $600 \mu\text{m}$



ภาพประกอบที่ 2.32 สาย Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1F (A) และ 2F (B)

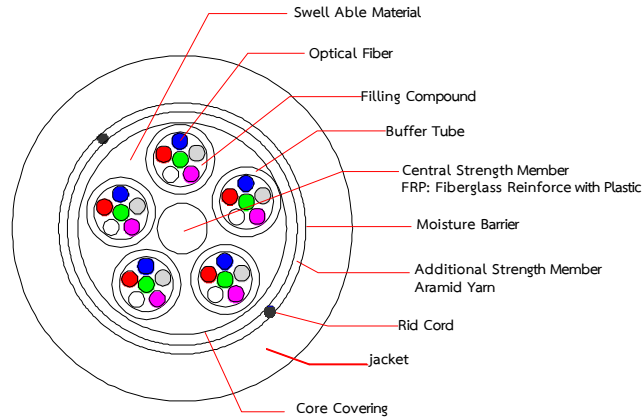
2.2.4.2 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงติดตั้งใต้พื้นดิน (Underground Cable)

สายเคเบิล OFC ติดตั้งใต้พื้นดิน (Underground Cable) นิยมติดตั้งใช้งานในเขตเมือง ย่านชุมชนหนาแน่น หรือบริเวณที่ต้องการทัศนียภาพที่สวยงาม เช่น โบราณสถาน สายที่ติดตั้งใต้พื้นดินจะปลอดภัยจากสภาพแวดล้อมมากกว่าชนิดที่แขวนบนอากาศ สายเคเบิล OFC ติดตั้งใต้พื้นดินมีหลักๆ 2 ชนิด คือ

- 1) แบบร้อยในท่อเรียกว่า Optical Fiber Duct Cable
- 2) ฝังดินโดยตรงเรียกว่า Optical Fiber Direct Buried Cable

Optical Fiber Duct Cable

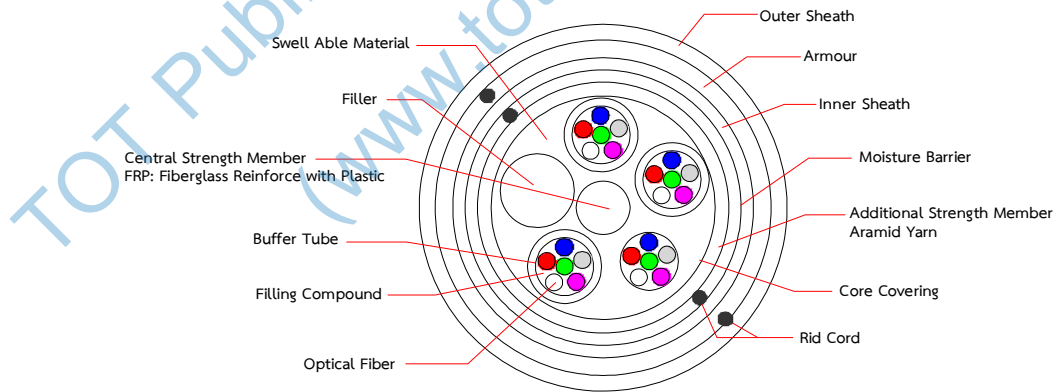
Optical Fiber Duct Cable จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลัก สาย Optical Fiber Duct Cable ออกแบบมาสำหรับติดตั้งในร้อยท่อ โครงสร้างของสายจะไม่มีโลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้า จึงไม่มีปัญหาเรื่องไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากสายส่งไฟฟ้ากรณีที่ว่าวางอยู่ใต้ชั้นดินใกล้ๆ กัน ไม่มีปัญหาเรื่องฟ้าผ่า แต่ข้อด้อยของ Optical Fiber Duct Cable คือจะมีความแข็งแรงทนทานต่ำ การติดตั้งใช้งานจะร้อยไปในท่อ Conduit, PVC หรือ HDPE (High-Density-Polyethylene)



ภาพประกอบที่ 2.33 สาย Optical Fiber Duct Cable

Optical Fiber Direct Buried Cable

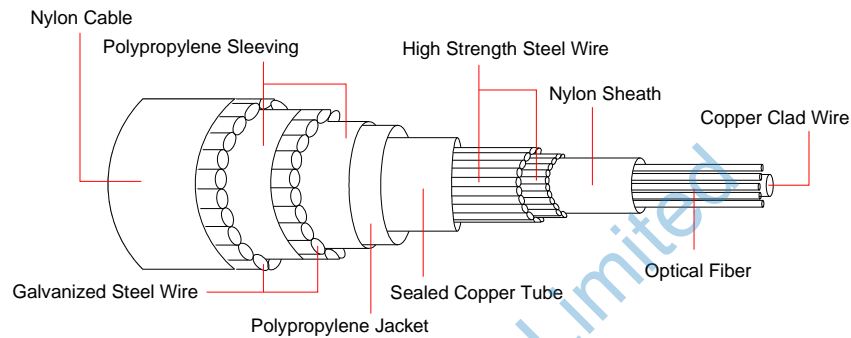
Optical Fiber Direct Buried Cable จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลัก สาย Optical Fiber Direct Buried Cable ออกแบบมาให้สามารถฝังใต้พื้นดินได้โดยตรงโดยไม่ต้องร้อยท่อ โครงสร้างของสายมี Steel Armoured เกราะ ช่วยป้องกันการกระทำจากภายนอกและเพิ่มความแข็งแรงให้สาย ไม่เหมาะกับการใช้งานในภูมิประเทศที่ดินมีการเคลื่อนตัว



ภาพประกอบที่ 2.34 Optical Fiber Direct Buried Cable

2.2.4.3 สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงติดตั้งใต้น้ำ (Submarine Cable)

สายเคเบิล OFC ติดตั้งใต้น้ำ (Submarine Cable) ออกแบบให้สามารถอยู่ใต้น้ำระยะยาว ส่วนมากใช้เชื่อมต่อสัญญาณระหว่างประเทศ มีคุณสมบัติพิเศษเพราะต้องวางสายใต้ท้องทะเลหรือมหาสมุทร ส่วนน้อยที่วางผ่านแม่น้ำ ทะเลสาบ เนื่องจากราคาค่อนข้างสูง สาย Submarine Cable โครงสร้างออกแบบให้ปิดผนึกอย่างดีโดยมีชั้นโลหะหลายชั้นป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงชำรุดเสียหาย ไม่นิยมมาให้บริการลูกค้ารายย่อย เน้นสื่อสารระหว่างทวีป ประเทศ



ภาพประกอบที่ 2.35 สาย Submarine Cable

2.3 สรุป

สายเคเบิล OFC ที่ใช้งานเส้นใยแก้ว ชนิดเส้นใยแก้ว (Bare Fiber) สำหรับส่งสัญญาณแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งคุณสมบัติการส่งผ่านแสงใกล้เคียงกัน แตกต่างเฉพาะแต่ละชนิดเมื่อโค้งงอ (Bending) เกิดการสูญเสีย (Loss) ไม่เท่ากัน แบ่งลักษณะการส่งผ่านข้อมูลเป็นกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลักและเคเบิลเส้นรอง แบ่งตามการติดตั้งใช้งานเป็นสายภายใน (Indoor Cable) และสายภายนอก (Outdoor Cable)

สายภายนอกอาคารสามารถจำแนกแบ่งกลุ่มตามลักษณะการติดตั้งใช้งานหลักๆ ได้ 3 กลุ่มคือ 1) สายเคเบิล OFC แบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) 2) สายเคเบิล OFC ติดตั้งใต้พื้นดิน (Underground Cable) 3) สายเคเบิล OFC ติดตั้งใต้น้ำ (Submarine Cable) ปัญหาที่ผู้ให้บริการสื่อสารโทรคมนาคมทุกบริษัทเจอมากที่สุดคือปัญหาสัตว์กัดแทะสาย โดยเฉพาะกระรอกกัดแทะสายเคเบิล OFC ติดตั้งเหนือพื้นดินภายนอกอาคาร หนูกัดแทะภายในอาคาร กระทบต่อคุณภาพการให้บริการ ต้นทุนการบำรุงรักษา

กระรอกและหนูฟันมีการงอกยาวขึ้นเรื่อยๆ ในทุกวัน ดังนั้นมันจึงจำเป็นต้องกัดแทะของแข็งอยู่ตลอดเวลาทุกวันเพื่อฟันสึกกร่อน มิฉะนั้นฟันจะงอกยาวเกินไป กระรอกและหนูมีการผสมพันธุ์และแพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว จากพฤติกรรมและปริมาณการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว [ภาคผนวก ก.] ส่งผลกระทบต่อสายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งทั้งภายในและภายนอกอาคาร

แนวทางแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC มีการออกแบบและนำแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น (Corrugate Armoured Steel) มาห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงไว้ภายในก่อนห่อหุ้มเปลือกภายนอกกับสาย Armoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable มีสายสะพานขนาดโตที่รองรับแรงดึงได้มาก และ Armoured Optical Fiber Cable for Access Service (Armoured

Dropwire Twisted) มีสายสะพานขนาดเล็กที่รองรับแรงดึงได้น้อย สามารถแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะสายได้

การไฟฟ้านครหลวงและในอนาคตการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคห้ามนำสาย Armoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable มีสายสะพานขนาดใหญ่ที่รองรับแรงดึงได้มาก มาใช้งานกับเสาของการไฟฟ้าทั้งสอง จากปัญหาการเกี่ยวสายสื่อสารซึ่งแขวนต่ำสุด สายสะพานของเคเบิลสื่อสารดึงให้เสาไฟฟ้าล้มเป็นแนว แต่ให้แขวนสาย ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) ซึ่งไม่มีสายสะพานแทน รับแรงดึงทำลายต่ำ

สาย ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) ไม่มีแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น (Corrugate Armoured Steel) ห่อหุ้มไม่สามารถกันการกัดแทะของสัตว์ได้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นออกแบบสายที่มีโครงสร้างหรือรับแรงดึงทำลายเท่ากับสาย ADSS OFC และป้องกันการกัดแทะของสัตว์ได้

แนวทางแก้ไขปัญหาสัตว์กัดแทะ โดยเฉพาะกระรอก หาแนวทางหรือวัสดุที่เหมาะสมมาผลิตสายเคเบิล OFC ที่สามารถลดปัญหาการกัดแทะของสัตว์ลงได้ เช่น ห่อหุ้มด้วย E-Glass Yarn, Aramid Yarn, Steel Armoured หรือใส่สาร Rodent Additives ลงใน HDPE ที่ห่อหุ้มภายนอก เป็นต้น กำหนดการรับแรงดึงในสภาพการใช้งานปกติคล้ายสาย ADSS OFC ป้องกันสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์และไม่ขัดกับกฎข้อบังคับทั้งของ กฟน. และ กฟภ.

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)

บทที่ 3.

วิเคราะห์ ผลิตภัณฑ์แบบและทดลองในห้องปฏิบัติการ

สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงหรือสายเคเบิล OFC (Optical Fiber Cable) ชนิดติดตั้งภายนอกอาคาร (Outdoor Cable) สามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มหลักๆ ได้ 3 กลุ่มคือ 1) สายเคเบิล OFC แบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) 2) สายเคเบิล OFC ติดตั้งใต้พื้นดิน (Underground Cable) และ 3) สายเคเบิล OFC ติดตั้งใต้น้ำ (Submarine Cable)

ปัญหาสัตว์กัดแทะเปลือกหุ้มสายฯ ส่วนมากเกิดกับสายเคเบิล OFC ที่แบบแขวนในอากาศ โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ที่มีกระรอกหรือหนูชุกชุม จากสายเคเบิล OFC กลุ่มนี้นิยมแขวนกับเสาไฟฟ้า ร่วมกับสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ขึ้นกับเขตความรับผิดชอบของการไฟฟ้านั้นๆ เมื่อเจอปัญหาสายสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ในเขตความรับผิดชอบของ กฟน. จะแก้ไขนำเคเบิลไปเปลี่ยนซ่อมแซม (เนื่องจาก กฟน. ไม่อนุญาตให้แขวนสายเคเบิล OFC ที่มีสายสะพานกับเสาของ กฟน.)

ในเขตความรับผิดชอบของ กฟภ. เมื่อเจอปัญหาสายสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC แก้ปัญหาโดยนำสายเคเบิล OFC ชนิด Armoured AP-8 OFC (Armoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable) มาติดตั้งทดแทน [1]

โครงสร้างของสาย Armoured AP-8 OFC มีแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น (Corrugate Armoured Steel) หนา $0.15\text{ mm.} \pm 10\%$. ระยะที่แผ่นเหล็กซ้อนทับกันระหว่างรอยต่อต้องไม่น้อยกว่า 3.0 mm. ผิวทั้งสองด้านของแผ่นเหล็กบางรูปคลื่นมี Plastic Coated หนาน้อยกว่า 0.05 mm. ป้องกันมิให้แผ่นเหล็กเกิดสนิม

แผ่นเหล็กบางรูปคลื่นจะห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงไว้ภายในทั้งหมดก่อนห่อหุ้มเปลือกภายนอก ด้านบนมีสายสะพาน (Self-Supporting Strand) ทำจากเส้นลวด 7 เส้นทีเกลียวขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรวมของเส้นลวดมีใช้งาน 3 ขนาด ขึ้นกับจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงของสายเคเบิล OFC แรงดึงแบบทำลาย (Breaking Load) ของสายสะพานขึ้นกับขนาดเส้นลวดทีเกลียว

สายเคเบิล OFC ที่เป็นเคเบิลรองเมื่อเจอปัญหาสัตว์กัดแทะกรณีสาย Optical Fiber Drop Cable (Round Type) (Optic Drop Wire For FTTx (Round Type) 1-2F) [7] ที่เชื่อมต่อเข้าอาคาร และสาย Patch Cord ที่ใช้ภายในอาคารสำหรับเชื่อมต่อเข้าอุปกรณ์ ONU/ONT ของบริการ FTTx ยังไม่มีสายอื่นมาทดแทนเหมือนสายเคเบิลหลัก จำเป็นต้องซ่อมบำรุงตามปัญหาที่เกิด

จากปัญหารถเกี่ยวสายสื่อสารซึ่งแขวนต่ำสุด สายสะพานของเคเบิลสื่อสารที่มี Breaking Load สูงอาจเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดึงกระทำให้เสาไฟฟ้าล้มเป็นแนว จากข้อสันนิษฐานนี้ กฟน. ได้ออกกฎข้อบังคับห้ามแขวนสายเคเบิล OFC ที่มีสายสะพานในตัวกับเสาของการ กฟน. แต่ให้แขวนสายเคเบิล ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) [3] ที่มี Breaking Load ต่ำกว่าแทน (โครงสร้างสายเคเบิล ADSS OFC รับแรงดึงในตัวไม่มีสายสะพาน)

จากคุณสมบัติสายเคเบิล ADSS OFC การรับแรงดึงทำลายต่ำกว่าสาย Armoured AP-8 OFC กฟภ.¹ อยู่ระหว่างประกาศห้ามแขวนสายเคเบิล Armoured AP-8 OFC ที่มีสายสะพานในตัวกับเสาของ กฟภ. จากข้อกังวลค่า Breaking Load ของสายสะพาน (กฟน. ประกาศห้ามแขวนสายเคเบิล Armoured AP-8 OFC กับเสาไฟฟ้าของ กฟน.)

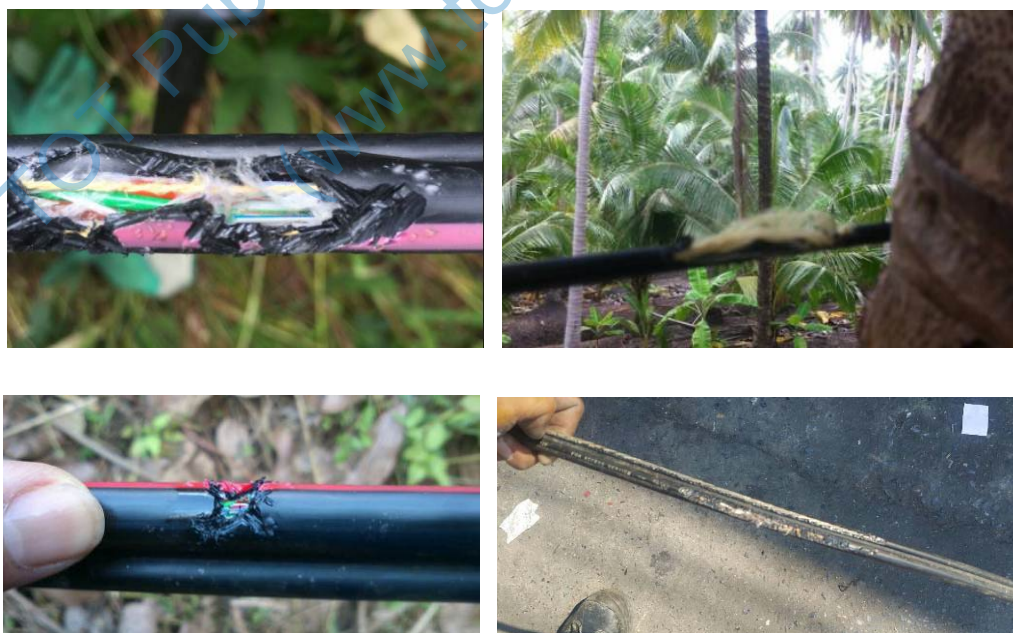
โครงการวิจัยนี้จะศึกษาหาแนวทางแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ทั้ง 2 รูปแบบคือ

1) รูปแบบสายเคเบิล OFC หลักที่ติดตั้งภายนอกอาคาร แนวทางการศึกษาวิจัย หาแนวทางหรือวัสดุที่เหมาะสมมาผลิตสายเคเบิล OFC ที่สามารถลดปัญหาการกัดแทะของสัตว์ลงได้ เช่น ห่อหุ้มด้วย E-Glass Yarn, Aramid Yarn, Steel Armoured หรือใส่สาร Rodent Additives ลงใน HDPE ที่ห่อหุ้มภายนอก เป็นต้น กำหนดการรับแรงดึงในสภาพการใช้งานปกติคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC ป้องกันสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์และไม่ขัดกับกฎข้อบังคับทั้งของ กฟน. และ กฟภ.

2) รูปแบบสาย OFC รองที่ติดตั้งภายนอกและภายในอาคาร จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงของสายเคเบิล OFC 1-2 F จากปัญหาที่เกิดขึ้นจึงศึกษาแนวทางป้องกันสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ที่ใช้ในอาคารไปพร้อมกัน

3.1 สำรวจและเก็บข้อมูลปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC

ข้อมูลจากพื้นที่ปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ภายนอกอาคารส่วนมากมาจากกระรอก ความรุนแรงขึ้นกับพื้นที่และชนิดของกระรอก ปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ภายในอาคารส่วนมากชำรุดเสียหายจากหนูและมีจากแมลงสาบกัดแทะบางพื้นที่ อีกปัญหาหนึ่งคือสาย Patch Cord ชำรุดเส้นใยแก้วนำแสงชำรุดจากการหักงอ แรงกดทับ



ภาพประกอบที่ 3.1 สายเคเบิล OFC ที่โดนสัตว์กัดแทะ

¹ โครงการวิจัยนี้ดำเนินการปี พ.ศ.2559 กฟภ. ยังไม่ประกาศห้ามแขวนสายเคเบิล OFC ที่มีสายสะพาน (Self-Supporting) ในตัว

ปัญหาการรอกัดแทะสายเคเบิล OFC สาเหตุมาจากการรอกเป็นสัตว์ฟันแทะที่มีลักษณะ รากฟันแบบ "รากฟันเปิด" ดังนั้นฟันของกรรอกจะยาวขึ้นเรื่อยๆเกือบตลอดชีวิตของเค้า ทั้งฟันบนและ ฟันล่าง ฟันของกรรอกปกติจะสบกันพอดี ที่เห็นชัดคือฟันบนและฟันล่างอย่างละสองซี่ โดยฟันบนจะ สั้นและแข็ง ส่วนฟันล่างจะยาวกว่ามากซึ่งจะถูกชอนด้วยริมฝีปาก [ภาคผนวก ก.]

ด้วยความที่ฟันของกรรอกสามารถยาวได้เรื่อยๆ ตลอดอายุ โดยทั่วไปกรรอกจะจัดการ กับฟันที่ยาวออกมาได้ด้วยตัวเอง เช่น กัด แทะ เล็ม เปลือกไม้ หรือ ผลไม้เนื้อแข็ง ซึ่งจะช่วยให้ฟันของ กรรอกไม่ยาวเกินไป แต่หากกรรอกตัวไหนไม่ชอบกัดแทะอย่างที่ควรเป็น ทั้งเกิดจากอุปนิสัยที่ผิด ธรรมชาติของตัวกรรอกเอง หรือความผิดปกติเช่นฟันเบี้ยว ฟันเก ทำให้ไม่สามารถกัดแทะได้ ฟันของ กรรอกก็จะยาวขึ้นเรื่อยๆ จนอาจทำอันตรายกับเจ้าตัวเอง เช่น ทิ่มเพดานปากหรือรากฟันถูกดันไปกด โพรงจมูก ทำให้ตัวกรรอกกินไม่ได้หายใจไม่สะดวก อาจนำไปสู่การติดเชื้อและเสียชีวิต

เมื่อสายเคเบิล OFC พาดผ่านในถิ่นของกรรอก กรรอกอาศัยเปลือกผลิตจาก HDPE ของ สายเคเบิล OFC กัดแทะมิให้ฟันในปากยาวจนเป็นอันตรายกับตัวกรรอกเอง ตามภาพประกอบที่ 3.1 กรรอกแทะลึบฟันกับสายเคเบิล OFC ถึงเส้นใยแก้วนำแสงภายใน พนักงานในพื้นที่ต้องเปลี่ยนสาย เคเบิล OFC ช่วงที่มีปัญหาการรอกกัดแทะและมีจุดเชื่อมต่อตัวเพิ่มอีก 2 จุด ไม่เพียงกระทบกับค่าใช้จ่าย เท่านั้น แต่ยังกระทบกับการให้บริการและมีสัญญาณที่สูญเสีย (Loss) จากการเพิ่มของจุดต่อ

แนวทางแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC เน้นเฉพาะพื้นที่ซึ่งมีปัญหาเท่านั้น ส่วนพื้นที่ อื่นๆ แนะนำให้ใช้สายเคเบิล ADSS OFC ที่ใช้งานตามปกติ โดยที่ทีมงานวิจัยกำหนดแนวทางดำเนินงาน ไว้ 2 แนวทาง คือ

- 1) สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานแล้ว ศึกษาแนวทางใช้สารเคมีป้องกัน ห่อหุ้มสายเคเบิล OFC ด้วยวัสดุที่เหมาะสม หรือวิธีอื่นๆ ที่เหมาะสม
- 2) สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานใหม่ ออกแบบโครงสร้างที่สามารถป้องกัน ลดปัญหา สัตว์กัดแทะ เช่น ห่อหุ้มด้วย E-Glass Yarn, Aramid Yarn, Steel Armoured หรือใส่ สาร Rodent Additives ลงใน HDPE ที่ห่อหุ้มภายนอก เป็นต้น ประเด็นสำคัญสาย เคเบิล OFC ที่ออกแบบใหม่ ต้องได้รับการยอมรับจาก กฟน. และ กฟภ. อนุญาตให้ แขนงกับเสาของการไฟฟ้าทั้งสองได้

3.2 สายเคเบิล OFC หลักที่ติดตั้งภายนอกอาคาร

3.2.1 สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานแล้ว

โครงข่ายสายเคเบิล OFC ที่มีปัญหาสัตว์กัดแทะ แนวทางป้องกันคือร้อยสายเคเบิล OFC ที่ ติดตั้งใช้งานเดิมออกแล้วนำสาย Armoured AP-8 OFC มีแผ่นเหล็กบางรูปคลื่นขึ้นติดตั้งแทน วิธีการนี้ ถ้าในอนาคต กฟภ. ออกกฎหมายห้ามแขวนสายเคเบิล OFC ที่มีสายสะพานกับเสาไฟฟ้าเหมือน กฟน. ก็ไม่ สามารถดำเนินการได้

ภูมิปัญญาชาวบ้านป้องกันสัตว์กัดแทะประเภทกรรอกขึ้นไปกัดแทะลูกมะพร้าว โดยนำ แผ่นสังกะสียาวประมาณ 12 นิ้ว มาห่อหุ้มโคนต้นสูงจากพื้นดินประมาณ 6 ฟุต บางพื้นที่ป้องกัน กรรอกไต่ไปตามสายไฟด้วยวิธีนำท่อพลาสติกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-3 นิ้ว หุ้มสายไฟที่ต่อเข้าบ้าน และตัดตามแนวตั้งที่ด้านข้าง ท่อจะกลิ้งไปมาเวลาที่กรรอกพยายามเดินไปตามสายไฟระหว่างต้นไม้และ

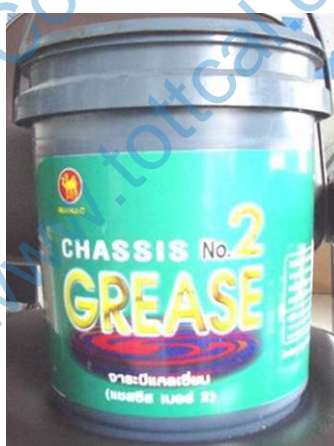
อาคารต่างๆ และวิธีที่โหดร้ายที่สุดคือใช้สารกำจัดหนูและสัตว์แทะ (Rodenticides) ผสมเหยื่อล่อให้กิน เป็นต้น

การใช้สารเคมีทำได้ 2 แนวทาง แนวทางแรกผสมสารเคมี (Rodent Additives) กับเปลือกของสายเคเบิล OFC ในขบวนการผลิต เช่น สารสกัดจากพริก สารเบื่อสัตว์กัดแทะ [ภาคผนวก ข.] แนวทางที่สองหาสารเคมีที่มีกลิ่นมันมาเคลือบผิวให้เปลือกของสายเคเบิล OFC ผิวมันมัน ลอกเลียนภูมิปัญญาชาวบ้าน แต่สารเคมีที่นำมาใช้งานต้องปลอดภัย อายุการใช้งานยาวนานพอสมควร เหมาะสำหรับการใช้งานกลางแจ้ง ปัจจัยสำคัญคือต้องมีราคาที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่าจาระบีแคลเซียมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปมีคุณสมบัติตรงตามต้องการ

3.2.1.1 จาระบีแคลเซียม (Chassis Grease)

คุณสมบัติจาระบีแคลเซียม (Chassis Grease) มีเนื้อเนียน เหนียวเป็นสายไหม คงตัวต่อแรงเฉือนได้ดี คงทนต่อความร้อน ไม่เป็นวัตถุที่ติดไฟ มีคุณสมบัติให้การหล่อลื่นในสภาพแวดล้อมที่เปียกชื้น ป้องกันน้ำชะล้าง เนื่องจากมีส่วนผสมของสบู่แคลเซียมที่ช่วยป้องกันน้ำได้ดี และไม่รวมกับน้ำ ทั้งนี้ เจ้าของผลิตภัณฑ์รับประกันอายุการใช้งาน 2 ปี

เพื่อป้องกันความเสียหายจากการนำจาระบีแคลเซียมมาใช้เคลือบผิวสายเคเบิล OFC ที่ผลิตจาก HDPE (High Density Polyethylene) จาระบีแคลเซียมอาจสร้างปัญหาเกี่ยวกับเปลือกของสายเคเบิล OFC ให้ชำรุดเสียหายได้ ข้อมูลจากผู้ผลิตจาระบีแคลเซียมตราอุรุคุณสมบัติเบื้องต้นของจาระบีแคลเซียมตามตารางที่ 3.1



ภาพประกอบที่ 3.2 จาระบีแคลเซียม (Chassis Grease)

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของจาระบีแคลเซียม

Nlgi Grade	No.2
Dropping Point, C	100
Oil Viscosity Cst @ 40 C	160
Oil Viscosity Cst @ 100 C	14
Penetration, Worded @ 25 C	284
Thickener (Lithium Or Calcium Soap), M%	20
Usable Temperature Range, Continuous Service, C	70 Max

ทีมงานวิจัยได้ทดสอบจาระบีเคลือบเชื่อมตราบูกับเปลือกของสายเคเบิล OFC ตามมาตรฐาน D1693-01 รายละเอียดการทดสอบดังนี้

วิธีการทดสอบ

- 1) ตัดขนาดตัวอย่าง $38 \pm 2.5 \text{ mm}$.
- 2) กรีดเปลือกเคเบิล Jig ตาม Standard Test Condition โดยเลือก Condition A^B กรีดเปลือก ลึก $0.05 - 0.65 \text{ mm}$.
- 3) หลังจากกรีดแล้วใส่ Specimen Holders (ใส่ใน Rack ละ 10 อัน) แล้วทาสารจาระบี (Grease) ทดสอบ ที่เปลือกที่กรีดแล้วนำมาห่อด้วย Foil
- 4) ใส่ใน Holder 2 ชุด (ชุดละ 10 อัน) ถ่ายรูปลักษณะเปลือกที่กรีดก่อนทา Grease
- 5) นำตัวอย่างเข้าอบ Water Bath โดยนำ Holder แต่ละอันใส่หลอดแก้ว
- 6) เข้า Water Bath ที่ $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 96 ชั่วโมง (4 วัน)
- 7) นำตัวอย่างออกมา เช็ด Grease ออกให้หมด นำเปลือกเคเบิลไปส่องกล้องดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบริเวณเปลือกเคเบิล

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบ Environmental Stress Cracking Of Ethylene Plastic

Sample No.	สภาพตัวอย่าง ก่อนการทดสอบ (หลังกรีดเปลือกเคเบิล)	สภาพตัวอย่างหลังเข้าอบ Water Bath 50°C 96 ชั่วโมง ตัวอย่างปกติ	หมายเหตุ ดูสภาพการเปลี่ยนแปลง ที่เปลือกเคเบิล	
1	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack	ตัวอย่างที่ 1 -10 และ ตัวอย่างที่ 10-20 มาจากเคเบิลเส้นเดียวกัน	
2	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
3	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
4	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
5	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
6	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
7	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
8	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
9	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
10	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		ตัวอย่างทดสอบ ทั้ง 20 ตัวอย่าง ไม่เกิดการ Crack แตกกลางงาที่เปลือก
11	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
12	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
13	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
14	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
15	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
16	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
17	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
18	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack	อ้างอิงตามมาตรฐาน D1693-01	
19	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		
20	ปกติ	ปกติ ไม่เกิดการ Crack		

ตัวอย่างทดสอบ เปลือกสายเคเบิล OFC ชนิด HDPE

สรุปผลการทดสอบสารจระบีแคลเซียมตราอุฐกับเปลือกของสายเคเบิล OFC ตามมาตรฐาน D1693-01 สารจระบีไม่สร้างผลกระทบต่อเปลือกสายเคเบิล OFC สามารถนำมาเคลือบเปลือกสายเคเบิล OFC ที่ผลิตจาก HDPE อย่างปลอดภัย กำหนดนำสารจระบีแคลเซียมตราอุฐทดลองใช้งานภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูล

3.2.2 สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานใหม่

สายเคเบิล OFC ที่ออกแบบใหม่ ต้องได้รับการยอมรับจาก กฟน. และ กฟภ. อนุญาตให้แขวนกับเสาของการไฟฟ้าทั้งสองได้ ทีมงานวิจัยยึดหลักการรับแรงดึงแบบทำลายของสายเคเบิล ADSS OFC ที่โครงสร้างมีแกนกลาง (Central Strength Member) ทำการ FRP (Fiberglass Reinforce with Plastic) รับแรงร่วมกับ Aramid Yarn เป็นแนวทางออกแบบ

ผลการศึกษาแนวทางวิจัยครั้งนี้ กำหนดแนวทางสายเคเบิล OFC ที่ออกแบบใหม่ไว้เบื้องต้น 3 แนวทาง คือ

- 1) โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC ผิวภายนอกห่อหุ้มด้วย E-Glass Yarn
- 2) โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC ใส่สาร Rodent Additives ลงใน HDPE ที่ห่อหุ้มภายนอก
- 3) โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC ผิวภายนอกห่อหุ้มด้วย Steel Armoured คล้ายสาย Armoured AP-8 OFC

ปัญหาสายเคเบิล OFC หลักที่ กฟน. และ กฟภ. ไม่อนุญาตให้แขวนสาย Armoured AP-8 OFC กับเสาไฟฟ้า เนื่องจากจากสายสะพานที่ค่า Breaking Load สูง กรณีมีรถเกี่ยวชนสายสะพานที่ติดตั้งใต้สายส่งแรงต่ำ อาจดึงรั้งให้เสาไฟฟ้าล้มเป็นแนว ดังนั้นเป้าหมายของโครงการวิจัยนี้จะออกแบบสายเคเบิล OFC ที่รับ Breaking Load น้อยกว่าหรือเท่ากับสายเคเบิล ADSS และสายเคเบิล OFC ที่ออกแบบใหม่สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ ทั้งสายเคเบิล OFC หลักและรอง

3.2.2.1 ออกแบบสายเคเบิล OFC ป้องกันสัตว์กัดแทะทดแทนสายเคเบิล ADSS OFC

เพื่อความชัดเจนของแนวทางวิจัย ได้กำหนดแนวทางสายเคเบิล OFC ที่ออกแบบใหม่ไว้เบื้องต้น 3 แนวทาง คือ

- 1) โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC ผิวภายนอกห่อหุ้มด้วย E-Glass Yarn
- 2) โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC ใส่สาร Rodent Additives ลงใน HDPE ที่ห่อหุ้มภายนอก
- 3) โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC ผิวภายนอกห่อหุ้มด้วย Steel Armoured คล้ายสาย Armoured AP-8 OFC

จากแนวทางที่กำหนดเบื้องต้น บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC) รับผิดชอบตามข้อกำหนดทั้ง 3 แนวทางและส่งสายต้นแบบให้ มหาวิทยาลัยมหิดลทดสอบการกัดแทะของกระรอกตามมาตรฐาน รายละเอียดดังนี้ (ภาคผนวก ข.)

- 1) โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC ผิวภายนอกห่อหุ้มด้วย E-Glass Yarn ภายใต้ชื่อ Rodent Resistance Property of ADSS 12C (E Glass Yarn & Aramid Yarn + HDPE)

ส่งต้นแบบทดสอบการกัดแทะของกระรอก ณ มหาวิทยาลัยมหิดล ตามมาตรฐานทดสอบ 14 วัน ผลการทดสอบไม่ผ่านมาตรฐานข้อกำหนด [ภาคผนวก ข.]

2) โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC ใส่สาร Rodent Additives ลงในเปลือกหุ้มภายนอกที่ผลิต HDPE ลงไปร้อยละ 3 ภายใต้ชื่อ Rodent Resistance Property of ADSS 12C (E Glass Yarn + HDPE with Rodent Additives 3%) ส่งต้นแบบทดสอบการกัดแทะของกระรอก ณ มหาวิทยาลัยมหิดล ตามมาตรฐานทดสอบ 14 วัน ผลการทดสอบไม่ผ่านมาตรฐานข้อกำหนด [ภาคผนวก ข.]

3) โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC เพิ่มแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น (Corrugate Armoured Steel) หนา $0.15\text{ mm} \pm 10\%$. ห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดไว้ภายใน ก่อนหุ้มเปลือกหุ้มชั้นนอก ตามปกติ ภายใต้ชื่อ Rodent Resistance Property of ARSS 24F (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable) ส่งต้นแบบทดสอบการกัดแทะของกระรอก ณ มหาวิทยาลัยมหิดล ตามมาตรฐานทดสอบ 14 วัน ผลการทดสอบผ่านมาตรฐานข้อกำหนด [ภาคผนวก ข.]

โดยสรุปผลการทดสอบสายต้นแบบทั้ง 3 แนวทาง พบว่าสายที่มีแผ่นเหล็กบางรูปคลื่นสามารถป้องกันการกัดแทะของกระรอกได้ (ผลการทดสอบตามมาตรฐานที่ส่งให้มหาวิทยาลัยมหิดลทดสอบ) จึงกำหนดแนวทางวิจัยสายที่มีจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงมากกว่า 12F (สายต่ำกว่า 12F จัดในกลุ่มสาย Access) ตามแนวทางที่ 3 เพื่อป้องกันการความสับสนในการเรียกชื่อสายเคเบิล OFC ที่ใช้โครงสร้างของตัวเองรับแรงดึงโดยไม่ต้องมีสายสะพานที่ใช้งานอยู่คือสายเคเบิล ADSS OFC โครงการวิจัยนี้จึงตั้งชื่อสายที่ออกแบบใหม่ว่า ARSS OFC (Anti-Rodent Self-Support Single Mode Optical Fiber) ลอกเลียนคุณสมบัติในการป้องกันสัตว์กัดแทะ (Rodent) ได้

3.2.2.1.1 ทดลองคุณสมบัติของสาย Armoured AP-8 OFC และ ADSS OFC

จากผลการทดลองสายตัวอย่างต้นแบบที่ส่งทดสอบ ณ มหาวิทยาลัยมหิดล ผลสายตัวอย่างต้นแบบที่มีโครงสร้างคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC ที่ห่อหุ้มด้วยแผ่นเหล็กบางรูปคลื่นหนา 0.15 mm . ภายใต้ชื่อ ARSS OFC ที่ผ่านการตามทดสอบตามมาตรฐาน (ทดสอบการกัดแทะ 14 วัน ณ มหาวิทยาลัยมหิดล)

งานวิจัยครั้งนี้กำหนดศึกษาวิจัยสายเคเบิล ARSS OFC ที่ออกแบบโดยนำจุดเด่นของสายเคเบิล ADSS OFC และสาย Armoured AP-8 OFC มาออกแบบใหม่ เพื่อความสมบูรณ์ในการออกแบบ จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติที่สำคัญของสาย OFC ทั้งสองชนิด

3.2.2.1.2 คุณสมบัติของสาย Armoured AP-8 OFC

ตามกฎหมายข้อบังคับห้ามแขวนสายเคเบิล OFC ที่มีสายสะพานในตัวกับเสาของการ กพท. แต่ให้แขวนสายเคเบิล ADSS OFC ซึ่งไม่มีสายสะพานแทนนั้น แนวทางในการออกแบบสายเคเบิล ARSS OFC ควรทราบค่า Breaking Load สายสะพาน (Self-Supporting Strand) ของสาย Armoured AP-8 OFC ทั้ง 3 ขนาด

มาตรฐานกำหนดแบ่งเส้นผ่านศูนย์กลางสายสะพาน ตามกลุ่มจำนวนเส้นใยแก้วนำแสง ดังนี้

- 12-60 F. เส้นผ่านศูนย์กลางสายสะพาน $5/52\text{ inch}$ (3.97 mm.)
- 72-216 F. เส้นผ่านศูนย์กลางสายสะพาน $3/16\text{ inch}$ (4.76 mm.)
- 240-312 F. เส้นผ่านศูนย์กลางสายสะพาน $1/4\text{ inch}$ (6.35 mm.)

สาย Armoured AP-8 OFC แต่ของแต่ละกลุ่มโครงสร้าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฉนวนหุ้มของกลุ่มนั้นๆ จะมีขนาดเท่ากัน เช่น สายเคเบิล OFC กลุ่ม 12-60 F. มาตรฐานการผลิตแบ่งเป็นจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละ Step คือ 12 F., 24 F., 36 F., 48 F. และ 60 F.

กรณีจำนวน Fiber Buffer Tube (FBT) ผลิตจาก PBT (Polybutylene Terephthalate) ภายในบรรจุเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อนำ FBT มาวัดรวมกันกรณีจำนวน FBT ไม่สมมาตร เช่น สายเคเบิล OFC 12 F. ขบวนการผลิตต้องนำแท่งพลาสติก (Filler Rod) มาเสริมแทน FBT เพื่อให้โครงสร้างภายในสมมาตร (Symmetry) มาตรฐานการผลิต สาย Armoured AP-8 OFC กำหนดเส้นใยแก้วนำแสงกลุ่ม 12-60 F. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรวมของเส้นลวด 7 เส้นตีเกลียวเท่ากับ 3.97 mm.

เพื่อความสมบูรณ์ในการออกแบบ ทีมงานวิจัยได้ทดสอบค่า Breaking Load สายสะพานของสาย Armoured AP-8 OFC จาก 3 กลุ่ม เพียง 2 กลุ่มคือ กลุ่ม 12-60 F. และ 72-216 F. เนื่องจากมีปริมาณใช้งานสูง ส่วนกลุ่ม 240-312 F. มีปริมาณใช้งานน้อย ทีมงานวิจัยไม่สามารถหาสายตัวอย่างมาทดสอบหาค่า Breaking Load สายสะพานได้

ทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่อง Tensile (ดึงได้สูงสุด 6,000 Kgf.) ตามภาพประกอบที่ 3.3 ผลการทดสอบรายละเอียดตามตารางที่ 3.3



ภาพประกอบที่ 3.3 ทดสอบค่า Breaking Load สายสะพานของสาย Armoured AP-8 OFC

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบค่า Breaking Load สายสะพานของสาย Armoured AP-8 OFC

Self-Supporting Strand	Nominal Diameter of Strand (mm.)			
	3.97		4.76	
Sample	OD	Tensile Loading	OD	Tensile Loading
1	3.82	1,500	4.70	2,500
2	3.85	1,500	4.69	2,490
3	3.92	1,510	4.71	2,495
4	3.92	1,490	4.70	2,510
5	3.78	1,500	4.70	2,550
AVR.	3.86	1,500	4.70	2,509
Unit	mm.	Kgf.	mm.	Kgf.

สรุปผลการทดสอบค่า Breaking Load สายสะพานของสาย Armoured AP-8 OFC จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มๆ ละ 5 ตัวอย่าง กลุ่ม 12-60 F. สายสะพานมีค่า Breaking Load เฉลี่ย 1,500 *Kgf.* (14,710.50 *N.*) และกลุ่ม 72-216 F. สายสะพานมีค่า Breaking Load เฉลี่ย 2,509 *Kgf.* (24,605.76 *N.*) ตามลำดับ เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบสายเคเบิล ARSS OFC

3.2.2.1.3 ทดลองคุณสมบัติของสายเคเบิล ADSS OFC

โครงสร้างของสายเคเบิล ADSS OFC ส่วนที่รับแรงดึงคือแกนกลาง (Central Strength Member) ที่ผลิตจาก FRP (Fiber Glass Reinforce with Plastic) และ Aramid Yarn เสริมการรับแรงด้วยกัน วัสดุ FRP เป็นวัสดุประกอบ (Composite Material) ผลิตขึ้นมาจากวัสดุสองชนิดขึ้นไป ที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน นำมาขึ้นรูปในกระบวนการผลิตหลากหลายวิธีการ

วัสดุทั้งสองชนิดจะยังคงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี โดยทั่วไปนิยมใช้เส้นใย (Fiber) ที่กำลังแรงดึงและค่าโมดูลัสสูงเป็นวัสดุหลักในการรับแรง ตัวอย่างเส้นใยที่นำมาใช้ได้แก่ เส้นใยแก้ว (Glass Fiber), เส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) จึงทำให้วัสดุ FRP มีคุณสมบัติเด่นหลายประการที่สามารถนำมาใช้กับงานได้หลากหลาย ทั้งอุตสาหกรรมโยธา งานตกแต่ง อุตสาหกรรมเคมีและทางสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

คุณสมบัติเด่นของ FRP มีอัตราส่วนของกำลังต่อหน่วยค่อนข้างสูง ความต้านทานต่อการกัดกร่อนและทนต่อสารเคมีสูง ไม่นำความร้อน เป็นฉนวนทางไฟฟ้า ไม่เหนียวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Transparency) การดูแลบำรุงรักษาน้อยและความทนทานสูง น้ำหนักเบาและสะดวกในการติดตั้งใช้งาน

คุณสมบัติในการรับแรงดึงสายเคเบิล ADSS OFC ตามมาตรฐาน [3] มีเฉพาะค่าการใช้งานปกติ (Load Cable) แบ่งการรับแรงออก 3 กลุ่มตามจำนวนเส้นใยแก้วนำแสง คือ

- ≥ 1,800 *N.* (12 – 60 Fiber)
- ≥ 2,500 *N.* (72 – 120 Fiber)
- ≥ 3,000 *N.* (144 – 312 Fiber)

สายเคเบิล ADSS OFC วัสดุที่รับแรงดึงหลักคือ FRP และ Aramid Yarn จากข้อจำกัดในการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบค่า Breaking Load ในห้องปฏิบัติการ ทีมงานวิจัยได้ศึกษาข้อมูลการรับแรงของ FRP และ Aramid Yarn จากบริษัท HBC ซึ่งส่งข้อมูลวัตถุดิบในการผลิตจากผู้จัดจำหน่ายวัสดุค่ารับแรงดึงทั้งสองชนิดข้างต้นเพื่อประกอบการศึกษาวิจัยครั้งนี้ [ภาคผนวก ค.]

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติการรับแรงของ FRP และ Aramid Yarn จากผู้ผลิต (Data Sheet)

Kind and Size	FRP Size	Aramid Yarn Type 3220 DTEC	Tensile FRP	Tensile Yarn/ 1 NO.
ADSS Cable 12, 24 F	1.80	10.00	144.90	78.11
ADSS Cable 48, 60 F	2.00	8.00	137.25	78.11
Unit	<i>mm.</i>	Number of Aramid Yarn	<i>Kgf / mm.²</i>	<i>Kgf.</i>

จากข้อมูลผู้ผลิต (Data Sheet) FRP ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 และ 2.0 mm. ค่า Breaking Load ใกล้เคียงกันคือ 141.05 Kgf./mm^2 ($1,383.23 \text{ MPa}$) จำนวนกลุ่มของ Aramid Yarn มาตรฐานกำหนดจำนวน 8 และ 10 เส้นตามลำดับ แต่ละกลุ่มมีค่า Breaking Load 78.11 Kgf. โครงสร้างสายเคเบิล ADSS วัสดุรับแรง FRP วาง ณ แกนกลางสายฯ รับแรงโดยตรง ขณะที่ Aramid Yarn พันรอบกลุ่มท่อ FBT ที่บรรจุเส้นใยแก้วนำแสงไว้ภายใน ผิวนอกสุดห่อหุ้มด้วย HDPE จากโครงสร้างที่มีส่วนประกอบของวัสดุหลากหลาย จึงไม่สามารถคำนวณหาค่า Breaking Load ได้ จำเป็นต้องทดสอบหาค่า Breaking Load แบบทำลายในห้องปฏิบัติการ

ผลการสำรวจจำนวนสายเคเบิล OFC ที่ใช้งานมากที่สุดที่จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง 12 F. และ 24 F. ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 12–60 F. การศึกษาครั้งนี้จึงเน้นสายเคเบิลที่ใช้งานมากที่สุดเป็นหลัก คือ 12–60 F.

ค่า Breaking Load ของสายเคเบิล ADSS OFC ยังไม่พบการทดลองดึงแบบทำลาย ทีมงานวิจัยได้ทดลองดึงสายเคเบิล ADSS OFC จำนวน 12 F. จำนวน 5 ตัวอย่าง ทดสอบด้วยเครื่อง Tensile (ดึงได้สูงสุด $6,000 \text{ Kgf.}$)



ภาพประกอบที่ 3.4 ทดสอบค่า Breaking Load สายเคเบิล ADSS OFC แนวตั้ง

วิธีการทดสอบนำสายเคเบิล ADSS OFC จับยึดทั้งสองด้านด้วยอุปกรณ์ Preform จากนั้นนำไปจับยึดกับปากจับของเครื่อง Tensile ทดสอบที่ความเร็ว 50 mm./min ตามภาพประกอบที่ 3.4 ผลการทดสอบค่า Breaking Load แนวตั้ง ตามตารางที่ 3.5 ค่าเฉลี่ยจาก 5 ตัวอย่างทดสอบเท่ากับ 444.00 Kgf.

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบค่า Breaking Load แนวตั้งของสายเคเบิล ADSS 12 F.

12 F. (ทดสอบห้องปฏิบัติการส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ บมจ. ทีโอที)	
ตัวอย่าง No.	Kgf.
1	430.00
2	470.00
3	460.00
4	380.00
5	480.00
Aver	444.00

มีประเด็นเรื่องการจับยึดตัวอย่างตามภาพประกอบที่ 3.4 ค่า Breaking Load สายเคเบิล ADSS OFC ค่าผลการทดสอบในตารางที่ 3.5 อาจไม่ใช่ค่าที่ถูกต้อง อุปกรณ์จับยึดสาย (Preform) อาจจับยึดไม่สมบูรณ์ ผิวภายนอกที่ผลิตจากวัสดุ HDPE อาจมีการลื่นไถล ผิวและแกนอาจรับแรงดึงไม่สมบูรณ์ ค่าที่ได้อาจไม่สามารถนำมาอ้างอิงประกอบงานวิจัยครั้งนี้ได้

เพื่อยืนยันวิธีการทดสอบค่า Breaking Load ของสายเคเบิล ADSS OFC ครั้งนี้มีความน่าเชื่อถือ ทีมงานวิจัยได้ประสานงานบริษัท HBC (โรงงานผลิตเคเบิล OFC ที่ร่วมวิจัยในครั้งนี้ด้วย) ทดสอบค่า Breaking Load ด้วยวิธีจับยึดเคเบิลทดสอบแนวนอนด้วยอุปกรณ์แบบล้อกลม (Circle Wheel) ซึ่งสามารถจับยึดสายตัวอย่างทดสอบได้สมบูรณ์แบบ (การทดสอบด้วยวิธีนี้ ต้องมีตาข่ายหรือวิธีป้องกันสายดีดสะบัด หลังจากสายตัวอย่างขาดออกจากกัน)



ภาพประกอบที่ 3.5 ทดสอบค่า Breaking Load สายเคเบิล ADSS OFC แนวนอน

บริษัท HBC ทดสอบสายตัวอย่างสายเคเบิล ADSS OFC ขนาด 24 F. เพื่อหาค่า Breaking Load เพื่อนำมาเปรียบเทียบ (สายเคเบิล ADSS OFC 12 F. และ 24 F. มีโครงสร้างเดียวกัน) พร้อมวัดคุณสมบัติทางแสงขณะดึงทดสอบ รายละเอียดตามตารางที่ 3.6 วิธีการทดสอบค่อยเพิ่มแรงดึง (Tensile Loading) เป็นลำดับ พร้อมวัดค่า Fiber Strain และ Attenuation Variation ผลการทดสอบได้ค่า Breaking Load ที่ 458.86 *Kgf.* ขณะที่อัตราสูญเสียทางแสง (Attenuation Variation) ค่าคงที่ตลอดการทดสอบ 0.01 *dB.* (มาตรฐาน ≤ 0.1 *dB.*)

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบค่า Breaking Load แนวนอนของสายเคเบิล ADSS 24 F.

ADSS OFC 24 F. (ทดสอบห้องปฏิบัติการ HBC)		
Fiber Strain (%)	Attenuation Variation(<i>dB.</i>)	Tensile Loading (<i>Kgf.</i>)
0.17	0.01	203.94
0.21	0.01	254.92
0.21	0.01	285.51
0.22	0.01	305.90
0.25	0.01	326.30
0.29	0.01	356.89
0.34	0.01	377.28
0.37	0.01	407.87
Cable was broken	-	458.86

ผลการทดสอบแรงดึงที่จับยึดเคเบิลทดสอบแนวตั้งในห้องปฏิบัติการ บมจ.ทีโอทีค่าเฉลี่ยจาก 5 ตัวอย่างเท่ากับ 444.00 *Kgf.* ผลการทดสอบแรงดึงที่จับยึดเคเบิลทดสอบแนวนอนจากห้องปฏิบัติการบริษัท HBC จำนวน 1 ตัวอย่างเพื่อยืนยันค่าถูกต้องหรือไม่เท่ากับ 458.86 *Kgf.* ซึ่งผลการทดสอบค่าเกาะกลุ่มเฉลี่ยจากตัวอย่างทดสอบจำนวน 6 ตัวอย่างเท่ากับ 451.43 *Kgf.*

ผลการทดสอบค่า Breaking Load ของสายเคเบิล ADSS OFC กลุ่ม 12-60 F. ซึ่งมีปริมาณการใช้งานสูงเฉลี่ย 451.43 *Kgf.* (4,427.17 *N.*) จึงกำหนดให้สายเคเบิล ARSS OFC กลุ่ม 12-60 F. ที่ออกแบบโครงสร้างใหม่ต้องรับแรงดึงเท่ากับหรือน้อยกว่า 4,500 *N.* เป็นข้อกำหนดทางเทคนิคสำคัญในการออกแบบสายเคเบิล ARSS OFC

3.2.2.1.4 ออกแบบสายเคเบิล ARSS OFC

ต้นแบบสายเคเบิล ARSS OFC โรงงานผลิตเคเบิล OFC ในประเทศไทยมีความพร้อม เพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมในประเทศที่ทีมงานวิจัยประสานงานผู้ผลิตในประเทศไทย ผลิตต้นแบบสายเคเบิล ARSS OFC เพื่อสร้างความมั่นใจว่าเมื่อโครงการวิจัยนี้สำเร็จจะสามารถจัดซื้อจัดหา เหมือนกับสาย Armoured Round Type ได้เรียนเชิญ 3 บริษัท เข้าร่วมโครงการ ดังนี้

- 1) บริษัท เอชบีซี เทเลคอม จำกัด (HBC)
- 2) บริษัท สยามไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (SFO)
- 3) บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC)

เป้าหมายในการออกแบบสายเคเบิล ARSS OFC ลอกเลียนโครงสร้างสายเคเบิล ADSS OFC ขนาด 60 F. ลงมา กำหนด Breaking Load สายเคเบิล ARSS OFC $\leq 4,500 N$.

ก่อนผลิตต้นแบบที่มอกแบบสายเคเบิล ARSS OFC ทั้ง 3 บริษัทได้ร่วมประชุมเปรียบเทียบเคเบิลโครงสร้างต่างๆ นำมาพิจารณาประกอบการออกแบบจำนวน 8 รูปแบบ รายละเอียดโครงสร้างแต่ละรูปแบบดังนี้

- 1) โครงสร้างประกอบด้วย Loose Tube, Gel, FRP, Core Covering, Aramid 4 pcs, Steel Tape and Sheathing (No Jelly)

ข้อดี/ข้อเสีย โครงสร้างนี้เคเบิลมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 mm. น้ำหนักเคเบิลประมาณ 117 kg / km. รับแรงดึง (Breaking Load) ต่ำกว่า 4,500 N. ประเมินผลจากการคำนวณรับ Breaking Load ประมาณ 3,000 N. สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ ราคาต่ำ แต่การรับแรงกด (Compression) จะได้น้อยกว่าสายเคเบิล OFC ชนิด Direct Buried Cable (DB)

- 2) โครงสร้างประกอบด้วย Loose Tube, Gel, FRP, Core Covering, Inner Aramid 4 pcs, Steel Tape and Sheathing (No Jelly)

ข้อดี/ข้อเสีย โครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างของ Direct Buried Cable (DB) ซึ่งมี Inner Aramid Cable ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางรวมโตขึ้น และน้ำหนักของเคเบิลจะหนักกว่า รวมถึงราคาก็จะสูงกว่าแบบที่ 1) ไม่สอดคล้องกับเป้าหมายของโครงการวิจัยนี้

- 3) โครงสร้างประกอบด้วย Loose Tube, Gel, Bluing Treat Steel Wire 1.5 mm., Core Covering, Aramid 4 pcs, Steel Tape and Sheathing (No Jelly)

ข้อดี/ข้อเสีย โครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างคล้ายกับแบบที่ 1) เพียงแต่ใช้ Bluing Treat Steel Wire รับแรงแทน FRP ทำให้ค่า Breaking Load สูงกว่า 8,500 N. และมีน้ำหนักมากกว่า เคเบิลรูปแบบนี้ไม่ตรงตามเงื่อนไขของโครงการวิจัยนี้ที่กำหนดค่า Breaking Load $\leq 4,500 N$.

- 4) โครงสร้างประกอบด้วย Loose Tube, Gel, Bluing Treat Steel Wire 1.5 mm., Core Covering, Aramid 4 pcs, Steel Tape and Sheathing (No Jelly)

ข้อดี/ข้อเสีย โครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างของ Direct Buried Cable ซึ่งมี Inner Cable และใช้ Bluing Treat Steel Wire รับแรงแทน FRP ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางรวมของเคเบิลโตขึ้น น้ำหนักของเคเบิลจะมีน้ำหนักตาม ที่สำคัญค่า Breaking Load สูงกว่า 8,500 N. มีราคาสูงกว่าแบบที่ 1) ดังนั้นเคเบิลรูปแบบนี้ไม่ตรงตามเงื่อนไขของโครงการวิจัยนี้ที่กำหนดค่า Breaking Load $\leq 4,500 N$.

- 5) โครงสร้างประกอบด้วย Loose Tube, Dry with Swellable Yarn 2 pcs, FRP, Core Covering, Aramid 4 pcs, Steel Tape and Sheathing (No Jelly)

ข้อดี/ข้อเสีย โครงสร้างนี้มีลักษณะและคุณสมบัติต่างๆ คล้ายกับรูปแบบที่ 1) ต่างกันที่ Loose Tube จะเป็นแบบ Dry Tube คือไม่ใส่ Jelly ใน Loose Tube แต่จะใช้วัสดุแบบ Swellable Yarn แทน แต่เนื่องจากวัสดุที่จัดทำ Loose Tube นั้นเป็นพลาสติกชนิด PBT ซึ่งขบวนการผลิตใช้อุณหภูมิในการหลอมเหลวสูง ส่งผลให้เส้นใยแก้วนำแสงติดกับผนังด้านใน Loose Tube เกิดปัญหาค่า Attenuation ค่อนข้างสูงกว่าแบบ Loose Tube ที่ใส่ Jelly และไม่มีความเสี่ยงในขบวนการผลิต ไม่สามารถควบคุมคุณภาพเคเบิลได้ตามข้อกำหนด

- 6) โครงสร้างประกอบด้วย Loose Tube, Dry with Swellable Yarn 2 pcs, FRP, Core Covering, Inner, Aramid 4 pcs, Steel Tape and Sheathing (No Jelly)

ข้อดี/ข้อเสีย โครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างแบบ Direct Buried Cable เช่นเดียวกับรูปแบบที่ 2) ต่างกันที่ Loose Tube จะเป็นแบบ Dry Tube คือไม่ใส่ Jelly ใน Loose Tube แต่จะใช้วัสดุแบบ Swellable Yarn แทน แต่เนื่องจากวัสดุที่จัดทำ Loose Tube นั้นเป็นพลาสติกชนิด PBT ซึ่งขบวนการผลิตใช้อุณหภูมิในการหลอมเหลวสูง ส่งผลให้เส้นใยแก้วนำแสงติดกับผนังด้านใน Loose Tube เกิดปัญหาค่า Attenuation ค่อนข้างสูงกว่าแบบ Loose Tube ที่ใส่ Jelly และไม่มีความเสี่ยงในขบวนการผลิต ไม่สามารถควบคุมคุณภาพเคเบิลได้ตามข้อกำหนด อีกทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางรวมของเคเบิลมีขนาดโต น้ำหนักสูง

- 7) โครงสร้างประกอบด้วย Loose Tube, Dry with Swellable Yarn 2 pcs, Bluing Treat Steel Wire 1.5 mm., Core Covering, Inner, Aramid 4 pcs, Steel Tape and Sheathing (No Jelly)

ข้อดี/ข้อเสีย โครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างคล้ายกับรูปแบบที่ 3) ต่างกันที่ Loose Tube จะเป็นแบบ Dry Tube คือไม่ใส่ Jelly ใน Loose Tube แต่จะใช้วัสดุแบบ Swellable Yarn แทน แต่เนื่องจากวัสดุที่จัดทำ Loose Tube นั้นเป็นพลาสติกชนิด PBT ซึ่งขบวนการผลิตใช้อุณหภูมิในการหลอมเหลวสูง ส่งผลให้เส้นใยแก้วนำแสงติดกับผนังด้านใน Loose Tube เกิดปัญหาค่า Attenuation ค่อนข้างสูงกว่าแบบ Loose Tube ที่ใส่ Jelly และไม่มีความเสี่ยงในขบวนการผลิต ไม่สามารถควบคุมคุณภาพเคเบิลได้ตามข้อกำหนด ค่า Breaking Load สูงกว่า 8,500 N. น้ำหนักมาก เคเบิลรูปแบบนี้ไม่ตรงตามเงื่อนไขของโครงการวิจัยนี้ที่กำหนดค่า Breaking Load $\leq 4,500 N$.

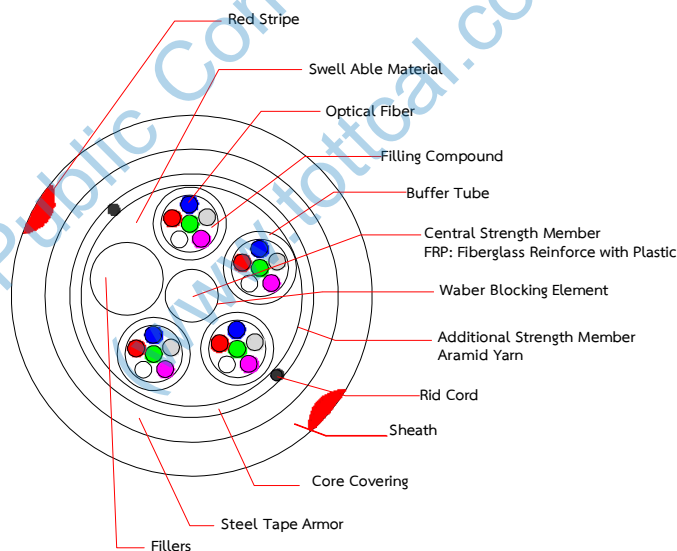
- 8) โครงสร้างประกอบด้วย Loose Tube, Dry with Swellable Yarn 2 pcs, Bluing Treat Steel Wire 1.5 mm., Core Covering, Inner, Aramid 4 pcs, Steel Tape and Sheathing (No Jelly)

ข้อดี/ข้อเสีย โครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างของ Direct Buried Cable คล้ายกับรูปแบบที่ 4) ต่างกันที่ Loose Tube จะเป็นแบบ Dry Tube คือไม่ใส่ Jelly ใน Loose Tube แต่จะใช้วัสดุแบบ Swellable Yarn แทน แต่เนื่องจากวัสดุที่จัดทำ

Loose Tube นั้นเป็นพลาสติกชนิด PBT ซึ่งขบวนการผลิตใช้อุณหภูมิในการหลอมเหลวสูง ส่งผลให้เส้นใยแก้วนำแสงติดกับผนังด้านใน Loose Tube เกิดปัญหาค่า Attenuation ค่อนข้างสูงกว่าแบบ Loose Tube ที่ใส่ Jelly และไม่มีความเสี่ยงในขบวนการผลิต ไม่สามารถควบคุมคุณภาพเคเบิลได้ตามข้อกำหนด ค่า Breaking Load สูงกว่า 8,500 N. น้ำหนักมาก เคเบิลรูปแบบนี้ไม่ตรงตามเงื่อนไขของโครงการวิจัยนี้ที่กำหนดค่า Breaking Load $\leq 4,500 N$.

จากแบบจำลองทั้ง 8 รูปแบบผู้ผลิตทดลองผลิตโครงสร้างประกอบด้วย Loose Tube แบบ Dry with Swellable Yarn 2 pcs ซึ่งเป็นมาตรฐานใหม่ที่ไม่เคยใช้งานใน บมจ.ทีโอที เพื่อตอบสนองผู้ใช้งานที่มีปัญหาขณะตัดต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Fusion) เส้นใยแก้วแบบที่ใช้งานอยู่ต้องทำความสะอาด เจล (Jelly) ก่อนทำปฏิบัติงานทำให้ไม่สะดวก

ขบวนการผลิตแบบ Dry Tube คือไม่ใส่ Jelly ใน Loose Tube แต่จะใช้วัสดุแบบ Swellable Yarn แทน ผลการทดลองผลิตจริงในโรงงานพบปัญหาวัตถุดิบที่ใช้ทำ Loose Tube นั้นเป็นพลาสติกชนิด PBT ซึ่งขบวนการผลิตใช้อุณหภูมิในการหลอมเหลวสูง ส่งผลให้เส้นใยแก้วนำแสงติดกับผนังด้านใน Loose Tube เกิดปัญหาค่า Attenuation ค่อนข้างสูงจึงยกเลิกขบวนการผลิตแบบ Dry Tube ในโครงการนี้



ภาพประกอบที่ 3.6 ร่างต้นแบบสายเคเบิล ARSS OFC ตามรูปแบบที่ 1)

โดยสรุปจากข้อมูลที่ผ่านการศึกษา เช่น กำหนดค่า Breaking Load $\leq 4,500 N$. ต้องสามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ผู้ผลิตสายเคเบิล OFC ในประเทศไทยทั้ง 3 บริษัทสรุปเลือกผลิตสายเคเบิล ARSS OFC รูปแบบที่ 1) โครงสร้างประกอบด้วย Loose Tube, Gel, FRP, Core Covering, Aramid 4 pcs, Steel Tape and Sheathing (No Jelly) เคเบิลมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 mm. น้ำหนักเคเบิลประมาณ 110 kg / km. ค่า Breaking Load ต่ำกว่า 4,500 N. เป็นต้นแบบในโครงการวิจัยนี้

3.3 กำหนดระหว่างช่วงเสาไฟฟ้าสำหรับติดตั้งสายเคเบิล ARSS OFC

เสาไฟฟ้าตามมาตรฐานของ กฟน. และ กฟภ. ระยะห่างแต่ละช่วงเสา คือ 40, 60 และ 80 เมตรตามลำดับผลสำรวจระยะห่างของเสาไฟฟ้า[8]

- 1) ระยะห่างของเสาอยู่ในช่วง 20-40 เมตร เขตนครหลวงร้อยละ 51.7 เขตภูมิภาคมีเพียงร้อยละ 5.8
- 2) ระยะห่างของเสาอยู่ในช่วง 40-80 เมตร เขตนครหลวงมีเพียงร้อยละ 9.7 ขณะที่เขตภูมิภาคมีถึงร้อยละ 63.2

ระยะห่างขึ้นกับขนาดและความสูงของเสาไฟฟ้าช่วงนั้นๆ และพบว่าระยะห่างของเสาบางช่วงห่างมากกว่า 80 เมตร โดยเฉพาะช่วงที่ถนนตัดผ่านที่สูงหรือภูเขา

สายเคเบิล OFC ตามมาตรฐานออกแบบออกแบบให้ติดตั้งใช้งานระยะห่างในการแขวนสายที่ 40 เมตรในการใช้งานปกติ ระยะปลอดภัยไม่เกิน 50 เมตร ตามมาตรฐานของ กฟน. แต่ข้อมูลจากการสำรวจระยะห่างเสาไฟฟ้าของ กฟภ. จำนวนร้อยละ 63.2 ระยะห่างเสาไฟฟ้า 40-80 เมตร ดังนั้นในการออกแบบสายเคเบิล ARSS OFC ต้องรองรับการใช้งานระยะแขวนสายอย่างน้อย 80 m. กำหนดเป้าหมายในการออกแบบการแขวนสายที่ 70 m. ในการใช้งานปกติ ระยะปลอดภัยไม่เกิน 80 m.

ต้นแบบสายเคเบิล ARSS OFC จากการคำนวณและชั่งน้ำหนักจริงประกอบบางส่วนจำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (Bare Fiber) 12-24 F. สายเคเบิล ARSS OFC น้ำหนักประมาณ 117 kg / km. และ 48-60 F. น้ำหนักประมาณ 140 kg / km. (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกสายเคเบิล ARSS OFC 12-60 F. เท่ากัน) ระยะห่างระหว่างเสา (Span) และระยะตักท้องข้างมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน [8] จากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถคำนวณหาแรงดึงของสายแต่ละจุดได้ตามสมการที่ (1)

$$T = \frac{wl^2}{8d} \quad (1)$$

เมื่อ	T	คือ	แรงดึง (นิวตัน) ²
	W	คือ	น้ำหนักสาย (นิวตัน/เมตร)
	L	คือ	ระยะห่างระหว่างเสา (เมตร)
	d	คือ	ระยะท้องข้าง (เมตร)

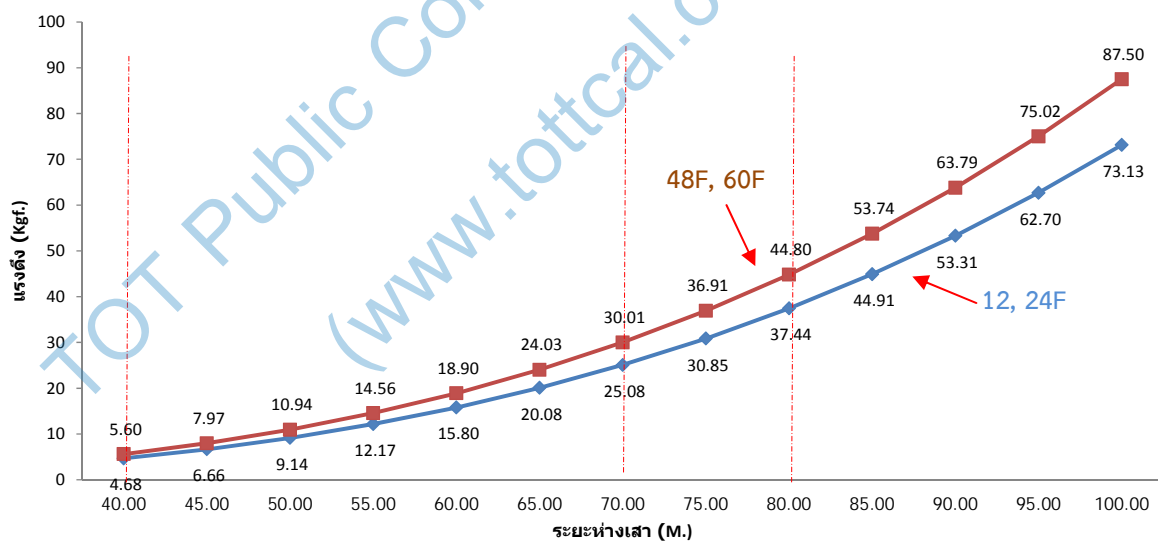
แรงดึงสายเคเบิล ARSS OFC

$$T = \frac{(1.08)(l)^2}{8(0.5\% \text{ of } l)} \quad (2)$$

² 1 Kgf = 9.807 N.

ตารางที่ 3.7 ผลการคำนวณหาแรงดึงของสายต่อระยะตกท้องข้างของสายเคเบิล ARSS OFC

L (ระยะห่างเสา)	T (แรงดึง) 12, 24F	T (แรงดึง) 48, 60F	W (น้ำหนักสาย) 12, 24F	W (น้ำหนักสาย) 48, 60F	d (ระยะตก ท้องข้าง) 0.5% of L
40.00	45.90	54.92	1.15	1.37	0.20
45.00	65.35	78.20	1.15	1.37	0.23
50.00	89.64	107.26	1.15	1.37	0.25
55.00	119.31	142.77	1.15	1.37	0.28
60.00	154.90	185.35	1.15	1.37	0.30
65.00	196.94	235.66	1.15	1.37	0.33
70.00	245.98	294.33	1.15	1.37	0.35
75.00	302.54	362.02	1.15	1.37	0.38
80.00	367.17	439.35	1.15	1.37	0.40
85.00	440.41	526.99	1.15	1.37	0.43
90.00	522.79	625.56	1.15	1.37	0.45
95.00	614.86	735.72	1.15	1.37	0.48
100.00	717.14	858.11	1.15	1.37	0.50
$m.$	$N.$	$N.$	$N/m.$	$N/m.$	$m.$



กราฟที่ 3.1 แรงดึงของสายที่ระยะท้องข้างแต่ละช่วงของระยะห่างเสา

ค่าที่ได้จากการคำนวณหาแรงดึงของสายต่อระยะตกท้องข้างของสายเคเบิล ARSS OFC คำนี้อยู่ในการออกแบบ ในสภาวะใช้งานปกติ (Tension at Installation Condition) กำหนดระยะห่างเสา (Span) 70 m. ในสภาวะที่สายเคเบิล ARSS OFC รongรับได้สูงสุด (Tension at Worst Condition) กำหนดระยะห่างเสา (Span) 80 m. เป็นค่าอ้างอิงในการออกแบบสายเคเบิล ARSS OFC

3.4 ผลิตต้นแบบสายเคเบิล ARSS OFC

ต้นแบบสายเคเบิล ARSS OFC ของโครงการวิจัยนี้ บริษัท SFO สนับสนุนการผลิตต้นแบบตามรูปแบบที่ 1. ตามเป้าหมายที่กำหนดประยุกต์รวมคุณสมบัติเด่นของสายเคเบิล ADSS OFC (ค่า Breaking Load ต่ำ) กับสายเคเบิล Armoured AP-8 OFC มีเกราะป้องกันสัตว์กัดแทะเข้าด้วยกัน

สายการผลิตบริษัท SFO ใช้สายผลิตเคเบิล ADSS OFC เพิ่มขบวนการนำแผ่นเหล็ก Steel Tape and Sheathing หนา 0.15 mm . จากจุดอ่อนของแผ่นเหล็กเรื่องการโค้งอาจทำให้ฉีกขาดได้ ดังนั้นขบวนการผลิตจะนำแผ่นเหล็กมาตัดเป็นม้วนตามขนาดที่ต้องการ (ภาพประกอบที่ 3.7 (A)) จากนั้นนำแผ่นเหล็กวิ่งผ่านเข้าเครื่องบดอัดเปลี่ยนจากแผ่นเรียบเป็นรูปลอนคลื่น (Corrugate Armoured Steel) (ภาพประกอบที่ 3.7 (B)) ก่อนเข้าเครื่องม้วนตีโอบห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงไว้ภายใน (ภาพประกอบที่ 3.7 (C) และ (D)) ขั้นตอนสุดท้ายส่งต่อไปห่อหุ้มเปลือกภายนอก (Sheath) ด้วยระบบแรงดันฉีด (Injection) ภาพประกอบที่ 3.7 (E)



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

ภาพประกอบที่ 3.7 ขบวนการห่อหุ้มแผ่นเหล็กรูปลอนคลื่นของสายเคเบิล ARSS OFC

โครงสร้างแผ่นเหล็กรูปลอนคลื่นของสายเคเบิล ARSS OFC ช่วยให้การการโค้งงอเพื่อ Loop สายเคเบิล ARSS OFC แผ่นเหล็กบางที่ห่อหุ้มภายในไม่ชำรุดเสียหาย จากการเคลื่อนตัวของแผ่นเหล็กมาขัดเซาะระยะมุมโค้งด้านนอกของ Loop นั้นๆ

3.4.1 ทดสอบต้นแบบ ARSS OFC

บริษัท SFO ผลิตสายต้นแบบ ARSS OFC 12 F. โครงสร้างตามภาพประกอบที่ 3.6 ยาว 1,000 เมตร พร้อมนำสายต้นแบบทดสอบค่าทางแสงในห้องปฏิบัติการของบริษัทฯ อ้างอิงตามมาตรฐานสายเคเบิล ADSS OFC [3] สายต้นแบบผ่านมาตรฐานทุกหัวข้อ (ทดสอบการรับแรงดึงสภาพการใช้งานปกติ $1,800\text{ N}$.)

การทดสอบค่า Breaking Load สายเคเบิล ARSS OFC ต้องทดสอบได้สภาวะที่สามารถควบคุมการตีตัวของสายฯ ได้ ณ เวลาที่สายเคเบิลขาดเกิดการตีตัวพร้อมสายสะบัดออก เมื่อค่านึงถึง

ความปลอดภัย (ในสภาวะปกติไม่มีการทดสอบค่า Breaking Load) ที่ทีมงานวิจัยประสานบริษัท PLP ซึ่งร่วมวิจัยในครั้งนี้ด้วย ขอใช้ห้องปฏิบัติของบริษัท ขอทดสอบต้นแบบจำนวน 3 ตัวอย่าง และใช้ห้องปฏิบัติการของส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ ทดสอบต้นแบบอีก 3 ตัวอย่าง เป็นตรวจสอบผลซึ่งกันและกัน



ภาพประกอบที่ 3.8 ทดสอบค่า Breaking Load สายต้นแบบ ARSS OFC ณ ห้องปฏิบัติการ PLP

ตารางที่ 3.8 ผลการทดสอบค่า Breaking Load ของสายต้นแบบ ARSS OFC 12F.

No.	ห้องปฏิบัติการ บมจ.ทีโอที	ห้องปฏิบัติการ PLP
1	360.00	425.00
2	330.00	455.00
3	350.00	400.00
Max	360.00	455.00
Min	330.00	400.00
Aver.	346.67	426.67
Unit	Kgf.	Kgf.

ผลการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการของส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ บมจ.ทีโอที และห้องปฏิบัติการทดสอบของบริษัท PLP ค่า Breaking Load ของสายต้นแบบ ARSS OFC 12F. แรงดึงสูงสุดก่อนทำลาย คือ 346.67 Kgf. (3,399.79 N.) และ 426.67 Kgf. (4,184.35 N.) ตามลำดับ ผลการทดสอบค่าแรงดึงต่ำกว่า 4,500 N. (ค่าแรงดึงสูงสุดสายเคเบิล ARSS OFC ที่กำหนดในการออกแบบ)

โดยสรุปที่ทีมงานวิจัยนำสายเคเบิล ARSS OFC ผลิตตามรูปแบบที่ 1) ทดลองติดตั้งใช้งานภาคสนามก่อนสรุปผลต่อไป

3.5 สาย OFC รองที่ติดตั้งภายนอกและภายในอาคาร

3.5.1 สาย Optical Fiber Drop Cable (Round Type)

สาย Optical Fiber Drop Cable (Round Type) (Optic Drop Wire For FTTx (Round Type) 1-2F) หรือสาย OFC Round Type ใช้เชื่อมต่อจากสายเคเบิลหลักหรือหลัง Splitter Optic เข้าอาคารที่ใช้บริการ FTTx โครงสร้างสาย Round Type ไม่มี Loose Tube แต่จะใช้เส้นใยแก้วนำแสงใช้ชนิด Tight-Buffered Fiber ขนาดความโต $600\ \mu\text{m}$ สำหรับ 2 F. และ $900\ \mu\text{m}$ สำหรับ 1 F. พันด้วย Aramid Yarn ช่วยในการรับแรงและป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงเสียหายก่อนห่อหุ้มฉนวนภายนอก

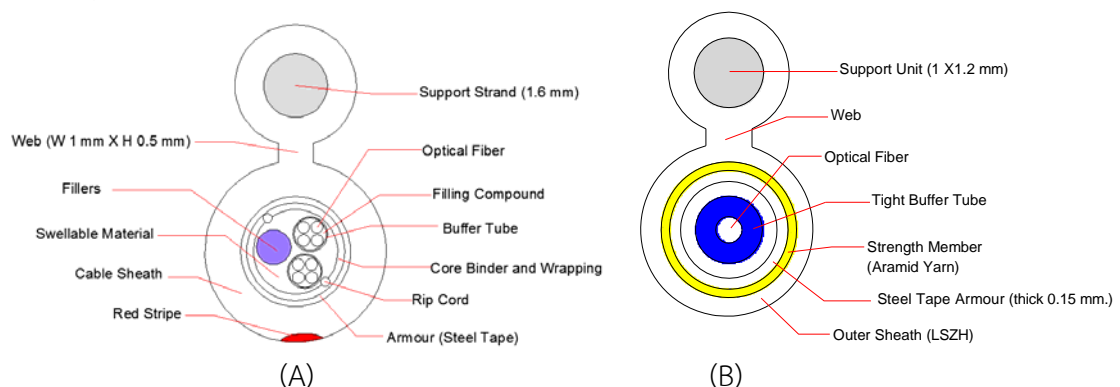
โครงสร้างสาย OFC Round Type มีสายสะพานตีเกลียว (Support Strand) 7 เส้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละเส้น $0.4\ \text{mm}$. รองรับด้านบนโครงสร้างคล้ายเลข 8 ผลสำรวจข้อมูลการใช้งาน OFC Round Type ภาคสนาม เจอปัญหาสัตว์กัดแทะสาย OFC Round Type ชำรุดเสียหาย

สาย OFC ในกลุ่ม Access (เชื่อมต่อจากเคเบิลหลัก) บมจ.ทีโอที เคยศึกษาและออกแบบสายเคเบิล OFC ภายใต้ชื่อ “Armoured Optical Fiber Cable For Access Service (Armoured Dropwire Twisted)” [5] โครงสร้างเดียวกับ Armoured AP-8 OFC เพียงแต่ย่อขนาดลงมา ทดลองใช้งานมาระยะเวลาหนึ่งสามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ตามเป้าหมายที่กำหนดมีข้อกำหนดมาตรฐานของ บมจ.ทีโอที พร้อมกับมีการจัดซื้อเข้าระบบคลังพัสดุนำมาใช้งานตั้งนั้นแนวคิดในการออกแบบสายรองป้องกันสัตว์กัดแทะ จะลอกเลียนมาจากสาย Armoured Dropwire Twisted ในกลุ่มสายเคเบิลรองเดียวกัน

3.5.1.1 ออกแบบสาย OFC Round Type ป้องกันสัตว์กัดแทะ

ผลการใช้งานสาย Optical Fiber Cable for Access Service (Dropwire Twisted) ในพื้นที่ที่มีปัญหาสัตว์กัดแทะ เส้นใยแก้วนำแสงที่ห่อหุ้มภายในชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์ เช่น กระรอก หนู เป็นต้น

จากปัญหาที่เกิดขึ้น บมจ.ทีโอที ได้ศึกษาออกแบบสาย Armoured Optical Fiber Cable for Access Service (Armoured Dropwire Twisted) [5] โครงสร้างเดียวกับสาย Dropwire Twisted ต่างกันที่ Armoured Dropwire Twisted ห่อหุ้มภายนอกด้วย Corrugate Armoured Steel หนา $0.15\ \text{mm}$. ผลการใช้งานสามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้เกือบ 100% (สอบถามข้อมูลการใช้งาน ไม่มีแจ้งเหตุเสียหายจากสัตว์กัดแทะกลับมา)

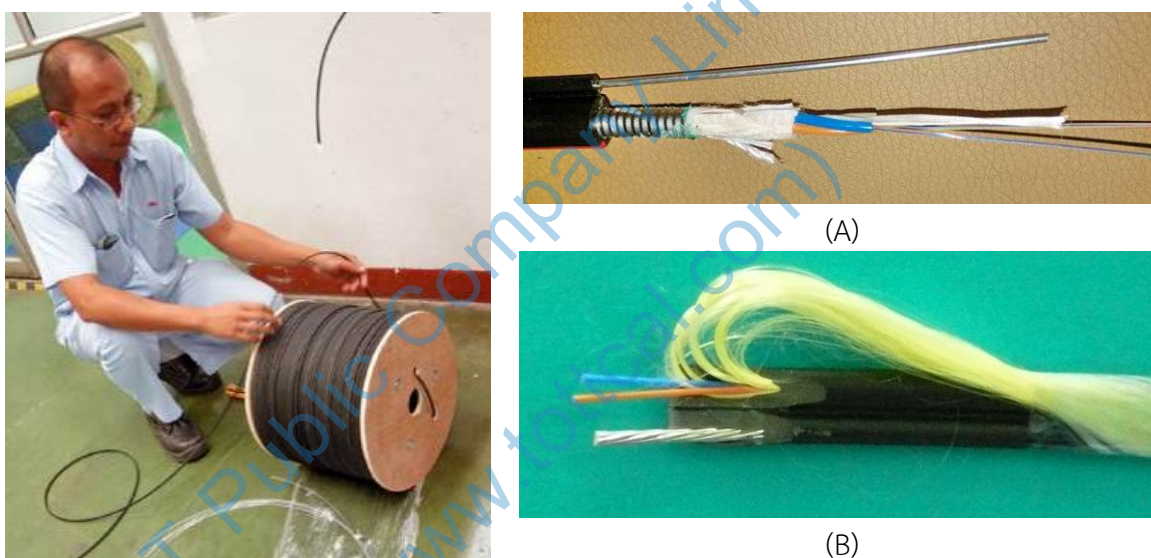


ภาพประกอบที่ 3.9 ร่างแบบแนวคิดในการออกแบบสาย Armoured Round Type

คุณสมบัติในการป้องกันสัตว์กัดแทะของสาย Armoured Dropwire Twisted ที่งานวิจัยร่วมศึกษาวิเคราะห์หุ้มแนวคิดถ้าห่อหุ้มสาย Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) ตามภาพประกอบที่ 3.9 (A) ซึ่งมีปัญหาสัตว์กัดแทะด้วย Corrugate Armoured Steel หนา 0.15 mm . ตามภาพประกอบที่ 3.9 (B) คาดว่าจะสามารถป้องกันสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ได้

ศึกษาโครงสร้างสาย Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) ภาพประกอบที่ 3.10 (B) ซึ่งไม่มี Loose Tube แต่นำเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Tight-Buffered Fiber ขนาด $600\ \mu\text{m}$ หรือ $900\ \mu\text{m}$ มาใช้แทนจากนั้นพัน Aramid Yarn รอบ Tight-Buffered Fiber ก่อนหุ้มฉนวน (Cable Sheath) ด้วย FRPE (Flame Retardant Polyethylene) ชั้นนอกสุด

ถ้านำแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น (Corrugate Armoured Steel) ความหนา 0.15 mm . มาห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงก่อนห่อหุ้มฉนวนเหมือนสาย Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) ตามภาพประกอบที่ 3.10 (A) คุณสมบัติในการป้องกันสัตว์กัดแทะจะเหมือนกับสาย Armoured Dropwire Twisted ซึ่งผ่านการพิสูจน์ในการใช้งานมาแล้ว



ภาพประกอบที่ 3.10 Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 2F

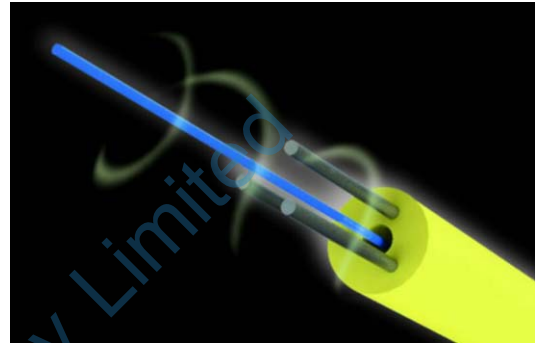
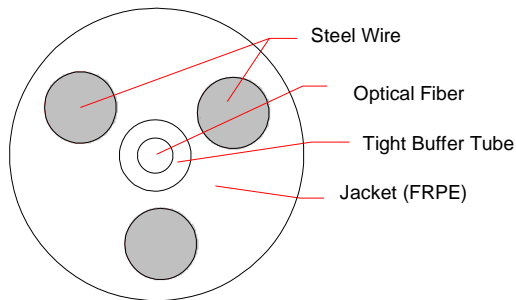
เพื่อป้องกันความสับสนในการเรียกชื่อระหว่างสาย Optical Fiber Drop Cable (Round Type) ที่มีใช้งานกับสาย OFC Round Type ป้องกันสัตว์กัดแทะที่อยู่ระหว่างศึกษาออกแบบ จึงขอตั้งชื่อสายใหม่นี้ว่า Armoured Round Type

3.5.1.2 ออกแบบสาย Armoured Round Type

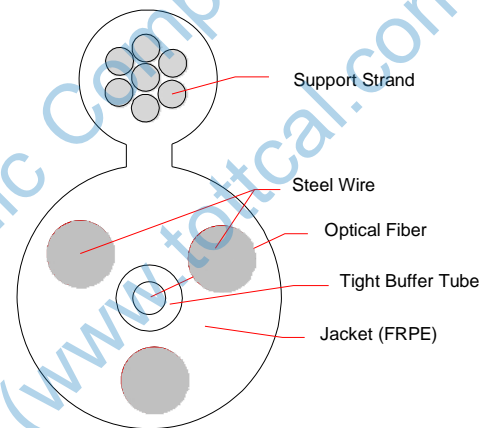
สาย Armoured Round Type ผลการหารือโรงงานผลิตเคเบิล OFC ทั้งภายในและภายนอกประเทศขบวนการผลิตไม่สามารถจะโค้งงอแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น (Corrugate Armoured Steel) ตามมาตรฐานความหนาบางสุดที่สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้คือ 0.15 mm . ให้เลิกลงทุนสามารถห่อหุ้มสาย Armoured Round Type ได้ เนื่องจากเมื่อม้วนงอให้เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมากๆ แผ่นโลหะมีโอกาสชำรุดทั้งในขบวนการผลิตและการนำมาใช้งาน

3.5.1.2.1 ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 1 และ 2

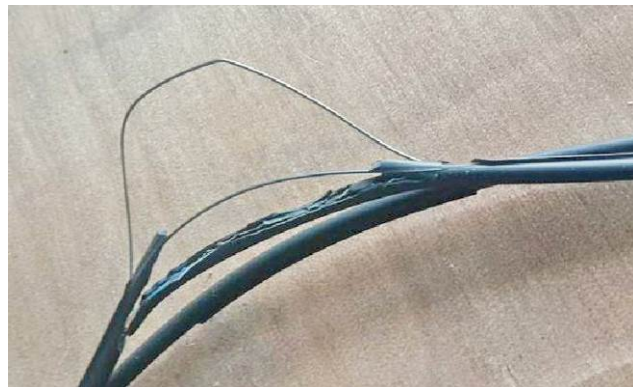
มีเทคโนโลยีผลิตสายเล็กกักหนุใช้งานภายในอาคารของประเทศไต้หวัน นำเส้นลวดโลหะมาวางรอบ 3 มุม ตามภาพประกอบที่ 3.11 และสายที่มีสายสะพานรองรับตามภาพประกอบที่ 3.12 ทีมงานวิจัยได้สั่งผลิตต้นแบบ สาย Armoured Round Type ทั้ง 2 Version เพื่อทดลองใช้งานซึ่งโรงงานผู้ผลิตจะผลิตให้เมื่อยอดใช้งานไม่น้อยกว่าระวิงละ 1,000 เมตรจึงสั่งผลิตสาย Armoured Round Type Version 1 โครงสร้างตามภาพประกอบที่ 3.11 ความยาวส่งมอบ 1,006 เมตร และสาย Armoured Round Type Version 2 โครงสร้างตามภาพประกอบที่ 3.12 ความยาวส่งมอบ 1,010 เมตร



ภาพประกอบที่ 3.11 ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 1



ภาพประกอบที่ 3.12 ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 2



ภาพประกอบที่ 3.13 ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 1 และ 2 ซ้ำรูปลวดตัดออกนอกฉนวนห่อหุ้ม

สาย Armoured Round Type ตัวอย่างที่โรงงานผลิต ต้นแบบที่ม้วนในระวิงเคเบิลปิดตัว ผิดรูปหลังทดลองนำไปติดตั้งใช้งานเจอปัญหาสายลวดโลหะที่วางรอบเส้นใยแก้วนำแสง 3 มม ต้นตัว ออกมาจากฉนวนหุ้ม FRPE ตามภาพประกอบที่ 3.13 ทั้ง 2 Version จึงต้องยุติการใช้งานต้นแบบสาย Armoured Round Type ทั้ง 2 Version

3.5.1.2.2 ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 3 และ 4

รับทราบข้อมูลจากโรงงานผลิตเคเบิล OFC ในประเทศจีนสามารถผลิตสายเคเบิล OFC ที่ ห่อหุ้มโลหะได้เล็กสุดเพียง 1 F. ด้วยเทคนิคการผลิตแบบหมุนเกลียว (Spiral Steel Pipe) คล้ายการผลิต Flexible Conduit ซึ่งเป็นท่ออ่อนสามารถขดม้วนได้ ทำมาจากเหล็กผสมสังกะสีนิยมใช้เป็นท่อร้อยสาย สื่อสาร สายไฟฟ้า วางใต้ฝ้าเพดานสามารถป้องกันการกัดแทะของหนูได้เป็นอย่างดี

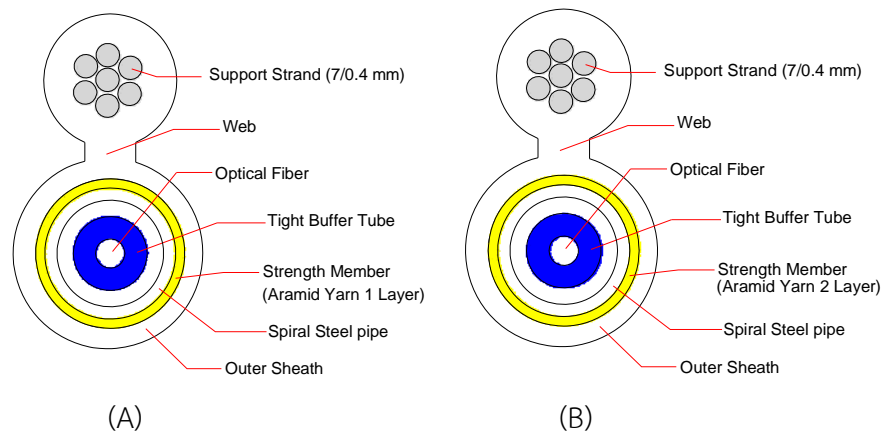
เนื่องจากต้นแบบสาย Armoured Round Type เทคนิคการผลิตแบบหมุนเกลียว โรงงานผลิตในประเทศไทยยังไม่พร้อมในการผลิตจึงต้องประสานงานบริษัทผู้นำเข้าสายจากโรงงานผลิต ในประเทศจีนทดลองผลิตต้นแบบสาย Armoured Round Type เพื่อสร้างความมั่นใจว่าเมื่อ โครงการวิจัยนี้สำเร็จจะสามารถจัดซื้อจัดหาสาย Armoured Round Type ในปริมาณมากๆไม่มีการ ผูกขาดจากการผลิตที่ใช้เทคนิคเฉพาะทาง จึงได้เรียนเชิญ 3 บริษัท เข้าร่วมโครงการดังนี้

- 1) บริษัทไฟเบอร์ ออฟติก คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (FOCOM)
- 2) บริษัท แอสตรา คอมมิวนิเคชั่น เซอร์วิส (ASTRA)
- 3) ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.เจ.พี. อินเตอร์เทรด (SJP)

สั่งผลิตต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 3 และ 4 ตามภาพประกอบที่ 3.9 โครงสร้างเหมือนกันทุกอย่าง ต่างกันเพียงต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 3 พัน Aramid Yarn รอบ Tight-Buffered Fiber 1 ชั้น (ภาพประกอบที่ 3.15 (A)) ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 4 พัน Aramid Yarn รอบ Tight-Buffered Fiber 2 ชั้น (ภาพประกอบที่ 3.15 (B)) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 900 μm เท่ากันเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของสาย Armoured Round Type Version 3 และ 4 มีโครงสร้างแบบไหนเหมาะสมที่สุด ทั้งในด้านเทคนิคและราคา



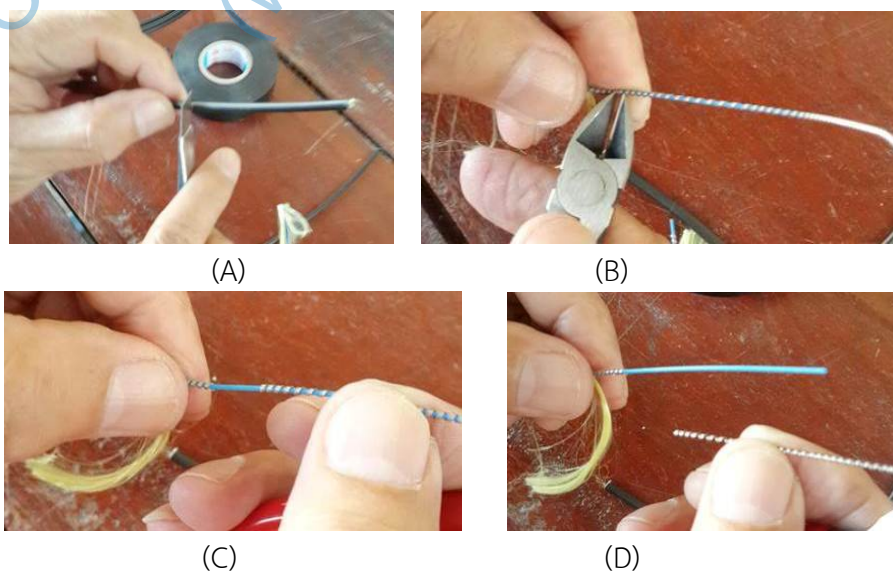
ภาพประกอบที่ 3.14 ตัวอย่าง Flexible Conduit ที่ผลิตด้วยวิธีแบบหมุนเกลียว (Spiral Steel Pipe)



ภาพประกอบที่ 3.15 ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 3 (A) และ Version 4 (B)

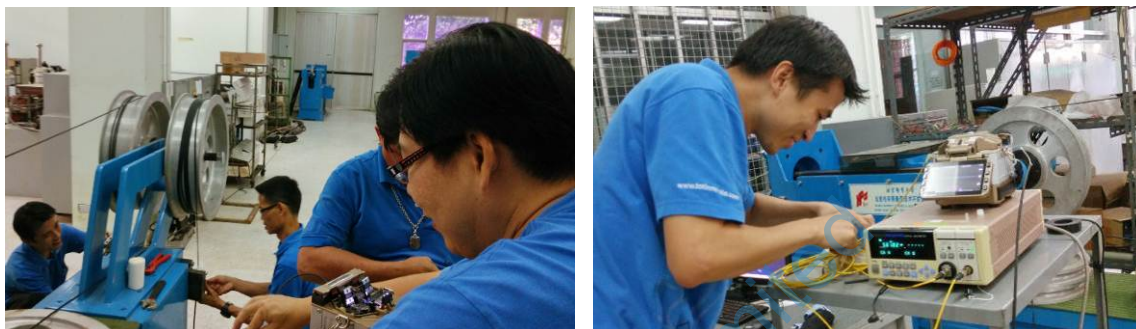
สายต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 3 และ Version 4 แตกต่างที่จำนวน Aramid Yarn 1 และ 2 ชั้น ภายนอกห่อหุ้มด้วย Spiral Steel Pipe ผลิตจาก Stainless Steel เกรด SUS304 เหมือนกันวิธีการลอก Spiral Steel Pipe ออกมีกรรมวิธีง่ายๆ ดังนี้

เริ่มจากใช้ใบมีดควั่นเป็นวงกลมรอบสาย Armoured Round Type ระยะประมาณหนึ่งคืบ จากนั้นดึงฉนวนออก ใช้ใบมีดควั่นและดึงฉนวนออกเป็นช่วงๆ จนได้ความยาวที่ต้องการ ตามภาพประกอบที่ 3.16 (A) เหตุผลที่ควั่นสายระยะสั้นๆ เพราะสามารถดึงฉนวนออกได้ง่าย จากนั้นใช้มือดึง Spiral Steel Pipe ให้ยืดออกและใช้คีมปากแหลมตัด Spiral Steel Pipe ให้ขาดออกจากกัน ตามภาพประกอบที่ 3.16 (C) ก่อนใช้มือดึง Spiral Steel Pipe ออก จะได้แกนสาย Tight-Buffered Fiber ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $900 \mu\text{m}$ ตามภาพประกอบที่ 3.16 (D)



ภาพประกอบที่ 3.16 วิธีการลอก Spiral Steel Pipe ของสาย Armoured Round Type

ทดสอบต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 3 และ 4 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของสาย Armoured Round Type Version 3 และ 4 มีโครงสร้างแบบไหนเหมาะสมที่สุด ทั้งใน ด้านเทคนิคและราคา ผลการทดสอบที่แรงดึง ตามมาตรฐาน บมจ.ทีโอที OES-004-049-03 ข้อ 5.1 ทดสอบการรับแรงดึง (Tensile Loading) ที่ 800 N. ต่อเนื่อง 5 นาที พร้อมวัดค่าความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณสูญเสียที่เกิดขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงต้องไม่เกิน 0.1 dB.



ภาพประกอบที่ 3.17 ทดสอบการรับแรงดึงสาย Armoured Round Type Version 3 และ 4

ค่าความเปลี่ยนแปลงของการสูญเสียทางแสง(Loss) สาย Armoured Round Type Version 3 (Aramid Yarn 1 ชั้น) วัดค่าการลดทอนสัญญาณแสงได้ 0.01 dB. สาย Armoured Round Type Version 4 (Aramid Yarn 2 ชั้น) วัดค่าการลดทอนสัญญาณแสงได้ 0.08 dB. (มาตรฐานกำหนดไม่เกิน 0.1 dB.) ผลการทดสอบผ่านมาตรฐานที่กำหนดทั้ง 2 Version แต่เมื่อเปรียบเทียบแล้วสาย Armoured Round Type Version 3 ที่ใช้ Aramid Yarn 2 ชั้น ป้องกัน Tight-Buffered Fiber และช่วยรับแรงดึงจะมีคุณสมบัติดีกว่า

ระหว่างเก็บข้อมูลการใช้งานสาย OFC Round Type มีสายสะพานตีเกลียวหรือสาย Support Strand 7 เส้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละเส้น 0.4 mm. รองรับด้านบนโครงสร้างคล้ายเลข 8 ผลสำรวจข้อมูลการใช้งาน OFC Round Type ภาคสนาม นอกจากปัญหาสัตว์กัดแทะสาย OFC Round Type ขำรุดเสียหาย ยังเจอปัญหาการติดตั้งใช้งาน

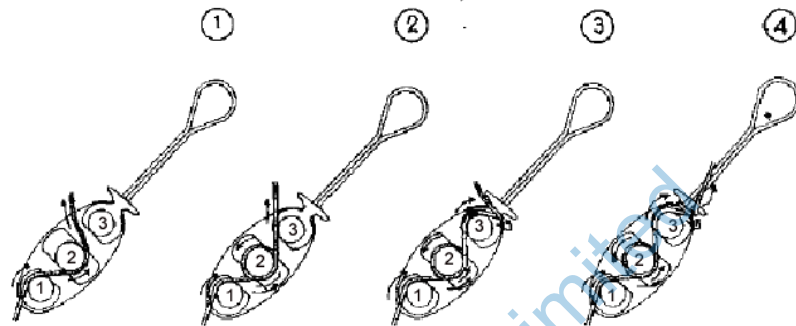
กล่าวคือการติดตั้งใช้งานอุปกรณ์จับยึดสาย OFC Round Type ระหว่างช่วงเสาหรือก่อนเข้าอาคาร บมจ.ทีโอที ใช้ Dropwire Clamp ของสาย Dropwire Copper เนื่องจากขนาดสาย Support Strand 1x1.2 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรวมเท่ากันคือ 1.2 mm. ผลจากการสอบถามผู้ใช้งานและการวิเคราะห์ร่วมกัน ปัญหาน่าจะมาจากสาย OFC Round Type มีน้ำหนักเบา ประกอบกับสาย Support Strand 7x0.4 mm. ยึดหยุ่นกว่าสาย Support Strand 1x1.2 mm. ทำให้สาย Support Strand 7x0.4 mm. คลายตัวออกจาก Dropwire Clamp ต้องใช้ Cable Ties รััดเสริม

วิธีการจับยึดสาย Round Type ด้วย Dropwire Clamp

การจับยึดสาย Dropwire ด้วย Dropwire Clamp ต้องใช้มีดกรีดแยก Support Strand ออกจากฉนวนหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงตามร่อง Web จากนั้นนำ Support Strand ซึ่งมีฉนวนหุ้มอยู่พันเข้ากับ Dropwire Clamp มีขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้

- 1) แยกสาย Support Strand ที่หุ้มฉนวนออกมาจากฉนวนหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงที่หุ้มฉนวนยาวข้างละประมาณ 30 cm.

- 2) นำเฉพาะสาย Support Strand ที่หุ้มฉนวนสอดไปตามร่องของแกน 1 และ 2 ตามรูปหมายเลข 1.
- 3) นำสาย Support Strand ที่หุ้มฉนวนวนรอบแกนหมายเลข 2 หนึ่งรอบตามรูปหมายเลข 2.
- 4) พันสาย Support Strand ที่หุ้มฉนวนตามร่องของแกน 3 ตามรูปหมายเลข 3.
- 5) จากนั้นนำสาย Support Strand ที่หุ้มฉนวนไปพันรอบแกนโลหะบริเวณปลายแกน 3 ตามรูปหมายเลข 4.



ภาพประกอบที่ 3.18 วิธีการพัน Support Strand ของสาย Round Type เข้ากับ Dropwire Clamp

ดังนั้นโครงการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาและแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะสาย OFC Round Type และปัญหาการติดตั้งใช้งานจาก OFC Round Type คลายตัวออกจาก Dropwire Clamp ไปพร้อมกัน ทดสอบข้อมูลเปรียบเทียบการรับแรงดึงสาย Support Strand $7 \times 0.4 \text{ mm}$. กับสาย Support Strand $1 \times 1.2 \text{ mm}$. กรณีเปลี่ยนจากลวด 7 เส้นตีเกลียวมาเป็นลวดเส้นเดียว จะกระทบต่อการรับแรงดึงหรือไม่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสายทั้งสองชนิดเท่ากันคือ 1.2 mm .)



ภาพประกอบที่ 3.19 ทดสอบการรับแรงดึงสาย Support Strand $1 \times 1.2 \text{ mm}$. และ $7 \times 0.4 \text{ mm}$.

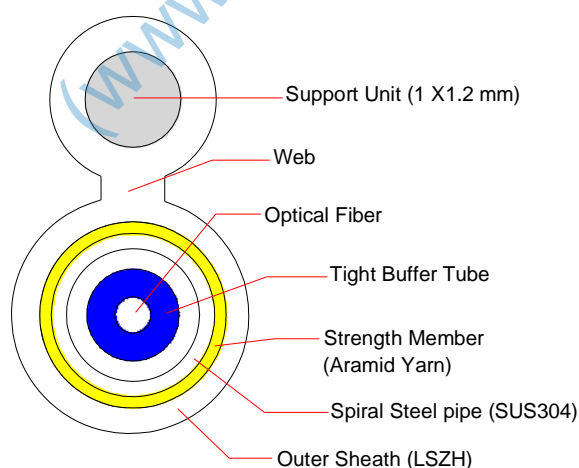
ตารางที่ 3.9 ผลการทดสอบค่า Breaking Load สาย Support Strand OFC Round Type

Sample	1x1.2 mm.	7x0.4 mm.
1	167.68	172.89
2	151.23	169.43
3	159.40	148.63
4	152.94	140.28
5	155.53	156.23
Aver	157.36	157.49
Unit	<i>Kgf.</i>	

ผลการทดสอบตามตารางที่ 3.9 สุ่มตัวอย่างทดสอบอย่างละ 5 ตัวอย่าง ทดสอบที่ความเร็ว 50 mm./Min ค่าเฉลี่ยจาก 5 ตัวอย่างเท่ากับ 157.56 *Kgf.* และ 157.47 *Kgf.* ผลการทดสอบสรุปได้ว่าการเปลี่ยน Support Strand แบบ 7x0.4 mm. มาเป็น Support Strand แบบ 1x1.2 mm. ไม่มีผลกระทบต่อการรับแรง

3.5.1.2.3 Armoured Round Type Version 5

จากผลการทดสอบและทดลองใช้งานสาย Armoured Round Type ทั้ง 4 Version ที่ผ่านทีมงานวิจัยได้ปรับเปลี่ยนข้อกำหนด คุณสมบัติทางเทคนิคให้สอดคล้องกับการใช้งาน ต้นทุนการผลิตต่ำ ประเด็นหลัก เช่น โลหะห่อหุ้ม(Spiral Steel Pipe) ผลิตจาก Stainless Steel เกรด SUS304 เส้นลวดรับแรงขนาด 1X1.2 mm. ฉนวนใช้วัสดุ LSZH (Low Smoke Zero Halogen) เป็นต้น และตั้งชื่อสาย Armoured Round Type อย่างเป็นทางการว่า Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F)” หรือเรียกสั้นว่า Armoured Round Type



ภาพประกอบที่ 3.20 ต้นแบบสาย Armoured Round Type Version 5



ภาพประกอบที่ 3.21 สาย Armoured Round Type Version 5 ต้นแบบที่ทดลองใช้งานภาคสนาม

ประสานงานให้บริษัทที่ร่วมโครงการวิจัยสาย Armoured Round Type ที่สั่งผลิตต้นแบบจากประเทศจีนทั้ง 3 บริษัท ผลิตและส่งต้นแบบทดสอบในห้องปฏิบัติการทดสอบ ของส่วนบริการทดสอบและสอบเทียบ สถาบันนวัตกรรม ทีโอที ผลการทดสอบสาย Armoured Round Type Version 5 ตามมาตรฐาน บมจ.ทีโอที OES-004-049-03 ข้อ 5.1 ทดสอบการรับแรงดึง (Tensile Loading) ที่ 800 N. ต่อเนื่อง 5 นาที พร้อมวัดค่าความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณสูญเสียที่เกิดขึ้น วัดค่าการลดทอนสัญญาณแสงได้ 0.02 dB. (มาตรฐานกำหนดไม่เกิน 0.1 dB.)

ภาพรวมค่าความเปลี่ยนแปลงของการสูญเสียทางแสง(Loss) สาย Armoured Round Type (มาตรฐานกำหนดไม่เกิน 0.1 dB.)

- Version 3 (Aramid Yarn) วัดค่าการลดทอนสัญญาณแสงได้ 0.01 dB. Support Strand 7x0.4 mm.
- Version 4 (Glass Yarn) วัดค่าการลดทอนสัญญาณแสงได้ 0.08 dB. Support Strand 7x0.4 mm.
- Version 5 (Aramid Yarn) วัดค่าการลดทอนสัญญาณแสงได้ 0.02 dB. Support Strand 1x1.2 mm.

โดยสรุปสายโครงการวิจัยนี้จะทดลองนำสาย Armoured Round Type Version 5 โครงสร้างป้องกันสัตว์กัดแทะผลิตจากโลหะท่อหุ้ม(Spiral Steel Pipe) ผลิตจาก Stainless Steel เกรด SUS304 เส้นลวดรับแรงขนาด 1x1.2 mm. ฉนวนใช้วัสดุ LSZH (Low Smoke Zero Halogen) ทดลองติดตั้งใช้งานภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูล ประเมินผลการใช้งานก่อนออกเป็นข้อกำหนดมาใช้งานภายใน บมจ.ทีโอที พร้อมตั้งชื่ออย่างเป็นทางการว่าสาย Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F)” หรือเรียกสั้นว่า Armoured Round Type

3.3 อุปกรณ์การติดตั้ง

โครงสร้างภายนอกสายเคเบิล ARSS OFC เหมือนกับสายเคเบิล ADSS OFC ดังนั้นอุปกรณ์ในการจับยึด อุปกรณ์จับยึดมีหลากหลายให้เลือกใช้งาน เช่น ADSS Suspension Unit, Preformed Dead End หรือ Thimble Preformed Suspension เป็นต้น

อุปกรณ์จับยึด ADSS Suspension Unit ตามภาพประกอบที่ 3.22 ออกแบบให้มียางรองรับสาย ARSS OFC ข้อเด่นติดตั้งง่าย เมื่อมีอุบัติเหตุเสาล้มมีจังหวะให้ห้วงที่คล้องกับ Hook Bolt หลุดออก



ภาพประกอบที่ 3.22 อุปกรณ์ ADSS Suspension Unit สำหรับจับยึดสาย ARSS OFC

อุปกรณ์จับยึด ADSS Suspension Unit มีข้อดีอยู่เรื่องราคาสูงเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ในกลุ่มเดียวกันบางชนิด การติดตั้งในสภาวะกระแสลมแรง (Win Load) สายจะแกว่งตามกระแสลม อาจก่อให้เกิดเส้นใยแก้วนำแสงบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นยางกับอากาศชำรุดเสียหาย บางพื้นที่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ Spiral Vibration Damper for ADSS Cable ตามภาพประกอบที่ 3.23 เพื่อลดการแกว่งของสายเคเบิล OFC



ภาพประกอบที่ 3.23 อุปกรณ์ Spiral Vibration Damper for ADSS Cable

ทีมงานวิจัยได้ประสานงาน บริษัท Preformed Line Products (Thailand) Ltd. ผู้เชี่ยวชาญอุปกรณ์จับยึด ร่วมวิเคราะห์ ออกแบบ ทดสอบ ให้คำแนะนำอุปกรณ์จับยึดสาย OFC ที่เหมาะสมไม่ทำให้สายเคเบิล ARSS OFC ชำรุดเสียหาย เพื่อคัดเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมในท้องตลาดหรือออกแบบดัดแปลงของเดิมให้เหมาะสม ได้ข้อสรุปตำแหน่งจับยึด ต้นทาง-ปลายทาง ต้องใช้ Preformed Dead End ส่วนอุปกรณ์จับยึดตำแหน่งเสากลาง เลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมทดแทนได้



ภาพประกอบที่ 3.24 ทีมงานวิจัยร่วมทดสอบ ออกแบบอุปกรณ์จับยึดสายเคเบิล ARSS OFC

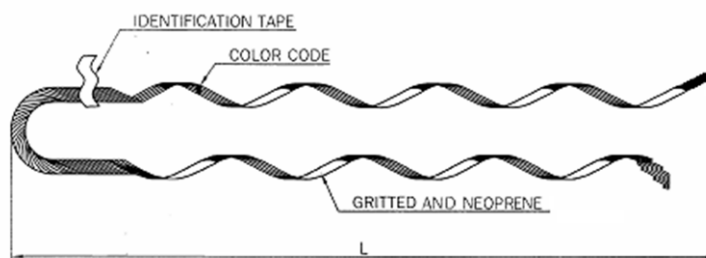
ผลการศึกษา อุปกรณ์ ต้นทาง-ปลายทาง หรือจุดที่รับแรงดึง ใช้อุปกรณ์ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) ทีมงานวิจัยวิเคราะห์เรื่องต้นทุนของอุปกรณ์ ถ้าสามารถลดความยาว (Length) ให้เหมาะสม จากเดิมประมาณ 80-90 cm. เหลือประมาณ 50-60 cm. (ราคา ลดลง 2-5 บาท/ชิ้น) อุปกรณ์ Preformed Dead End สามารถจับยึดโดยไม่ทำให้สายเคเบิล ARSS ชำรุดเสียหาย

บริษัท Preformed Line Products (Thailand) Ltd. ได้ผลิตต้นแบบอุปกรณ์ Preformed Dead End จำนวน 50 ชิ้น ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่อง Tensile (ดึงได้ สูงสุด 6,000 Kgf.)



ภาพประกอบที่ 3.25 ต้นแบบและผลการทดสอบอุปกรณ์ Preformed Dead End

ผลการทดสอบตัวอย่างต้นแบบจำนวน 5 ตัวอย่าง ทุกตัวอย่างสามารถรับแรงดึงโดยอุปกรณ์ Preformed Dead End ไม่เลื่อนสไลด์จากตำแหน่งที่มาร์คไว้และอุปกรณ์ไม่ชำรุดเสียหาย (สายเคเบิล ARSS OFC ยึดตัวก่อน) ตามภาพประกอบที่ 3.25



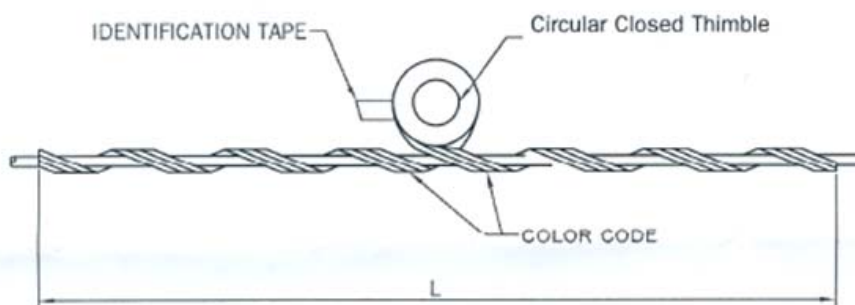
ภาพประกอบที่ 3.26 อุปกรณ์ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS)

จากผลการทดสอบตัวอย่างต้นแบบ สรุปลักษณะ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) สำหรับโครงการนี้ กำหนดรูปแบบอุปกรณ์ตามภาพประกอบที่ 3.26 ขนาดและการเลือกใช้งานรายละเอียดตามตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ตารางการเลือกใช้งานอุปกรณ์ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS)

TOT Code	Cable Diameter Range (mm.)	Min. Length (L) (cm.)	Min. Rod Qty. (Rods)	Diameter of Individual Wire (mm.)	Color Code	ADSS (Fibers)	ARSS (Fibers)
	10.0 < D ≤ 11.0	50	4	2.03±2%	White	12-60	
	11.0 < D ≤ 12.0	50	4	2.03±2%	Blue	72-84	12-60
	12.0 < D ≤ 13.0	50	4	2.03±2%	Red	96	
	13.0 < D ≤ 14.0	50	4	2.03±2%	Yellow	108	
	14.0 < D ≤ 15.0	50	4	2.03±2%	Black	120	
	15.0 < D ≤ 16.0	60	4	2.03±2%	Orange	144-216	
	16.0 < D ≤ 17.0	60	4	2.03±2%	Green	240-264	
	17.0 < D ≤ 18.0	60	4	2.03±2%	Brown	288	
	18.0 < D ≤ 19.0	60	4	2.03±2%	Violet	312	

อุปกรณ์จับยึดระหว่างเสา ใช้อุปกรณ์ Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS) ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้จับยึดสายเคเบิล ADSS OFC ก่อนหน้านี้อยู่แล้วรายละเอียดตามภาพประกอบที่ 3.27 และตารางที่ 3.11



ภาพประกอบที่ 3.27 อุปกรณ์จับยึด Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS)

ตารางที่ 3.11 ตารางการเลือกใช้งานอุปกรณ์ Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS)

Cable Diameter Range (mm.)	Min. Length (L) (cm.)	Min. Rod Qty. (Rods)	Min. Diameter of Individual Wire (mm.)	Color Code	ADSS (Fibers)	ARSS (Fibers)
9.0 < D ≤ 10.0	90	3	2.03±2%	White		
10.0 < D ≤ 11.0	90	3	2.03±2%	Blue	12-60	
11.0 < D ≤ 12.0	90	3	2.03±2%	Red	72-84	12-60
12.0 < D ≤ 13.0	90	3	2.03±2%	Yellow	96	
13.0 < D ≤ 14.0	90	3	2.03±2%	Black	108	
14.0 < D ≤ 15.0	90	3	2.03±2%	Orange	120	
15.0 < D ≤ 16.0	90	3	2.03±2%	Green	144-216	
16.0 < D ≤ 17.0	90	3	2.03±2%	Brown	240-264	
17.0 < D ≤ 18.0	90	3	2.03±2%	Violet	288	
18.0 < D ≤ 19.0	90	3	2.03±2%	White-Blue	312	

โดยสรุปอุปกรณ์จับยึด ต้นทาง-ปลายทาง หรือจุดที่รับแรงดึง ใช้อุปกรณ์ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) อุปกรณ์จับยึดระหว่างเสา ใช้อุปกรณ์ Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS) ติดตั้งใช้งานในโครงการนี้

3.4 สรุป

โครงการวิจัยนี้จะศึกษาหาแนวทางแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ทั้งระบบ (ภายใน-ภายนอก อาคาร) ทั้งสายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานแล้วและสายๆ ที่จะติดตั้งใช้งานใหม่ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาให้ครบทั้งวงจร

สายภายนอกอาคาร สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานแล้ว โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาหาแนวทางแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะด้วยสารจาระบีแคลเซียมไตรออกไซด์ นำมาเคลือบกับเปลือกของสายเคเบิล OFC ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการสารฯ ดังกล่าวผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน D1693-01 ไม่สร้างผลกระทบต่อ

เปลือกสายเคเบิล OFC สามารถนำมาเคลือบเปลือกสายเคเบิล OFC ที่ผลิตจาก HDPE อย่างปลอดภัย กำหนดนำสารจาระบีแคลเซียมตราอุฐทดลองใช้งานภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูล

สายเคเบิล OFC ที่จะติดตั้งใช้งานใหม่ กำหนดแนวทางไว้ 3 แนวทาง พร้อมผลิตสายต้นแบบส่งให้มหาวิทยาลัยมหิดลทดสอบการกัดแทะของกระรอกตามมาตรฐาน ผลการทดสอบโครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC เพิ่มแผ่นเหล็กบางรูปคลื่นผ่านมาตรฐาน[ภาคผนวก ข.] รายละเอียดดังนี้

1) โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC ผิวภายนอกห่อหุ้มด้วย E-Glass Yarn ภายใต้อชื่อ Rodent Resistance Property of ADSS 12C (E Glass Yarn & Aramid Yarn + HDPE)

2) โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC ใส่สาร Rodent Additives ลงในเปลือกห่อหุ้มภายนอกที่ผลิต HDPE ลงไปร้อยละ 3 ภายใต้อชื่อ Rodent Resistance Property of ADSS 12C (E Glass Yarn + HDPE with Rodent Additives 3%)

3) โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC เพิ่มแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น (Corrugate Armoured Steel) หนา $0.15\text{ mm} \pm 10\%$. ห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดไว้ภายใน ก่อนหุ้มเปลือกหุ้มชั้นนอก ตามปกติ ภายใต้อชื่อ Rodent Resistance Property of ARSS 24C (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable)

จากโครงสร้างที่เพิ่มแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น ทีมงานวิจัยได้สร้างแบบจำลองขึ้นมา 8 รูปแบบ ผลการทดลองและผลิตและการทดสอบในห้องปฏิบัติการเลือกรูปแบบที่มีโครงสร้างประกอบด้วย Loose Tube, Gel, FRP, Core Covering, Aramid 4 pcs, Steel Tape and Sheathing (No Jelly)

สายภายในอาคารโครงสร้างป้องกันสัตว์กัดแทะผลิตจากโลหะห่อหุ้ม(Spiral Steel Pipe) ผลิตจาก Stainless Steel เกรด SUS304เส้นลวดรับแรงขนาด $1 \times 1.2\text{ mm}$. ฉนวนใช้วัสดุ LSZH (Low Smoke Zero Halogen) พร้อมตั้งชื่ออย่างเป็นทางการว่าสาย Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F)” หรือเรียกสั้นว่า Armoured Round Type

อุปกรณ์จับยึด ต้นทาง-ปลายทาง หรือจุดที่รับแรงดึง ใช้อุปกรณ์ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) อุปกรณ์จับยึดระหว่างเสา ใช้อุปกรณ์ Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS)

ทั้งนี้จะนำอุปกรณ์ต้นแบบทั้งหมดทดลองติดตั้งใช้งานจริงก่อนสรุปผลนำมาใช้ใน บมจ.ทีโอที ต่อไป

บทที่ 4.

ทดลองภาคสนาม

ผลการวิเคราะห์ ผลิตต้นแบบและทดลองต้นแบบในห้องปฏิบัติการ โครงการวิจัยนี้ ครอบคลุมแนวทางแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ทั้งระบบ (ภายใน-ภายนอก อาคาร) ทั้งสายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานแล้วและสายๆ ที่จะติดตั้งใช้งานใหม่ เป็นการแก้ปัญหาแบบครบทั้งวงจร

สายเคเบิล OFC ภายนอกอาคารที่ติดตั้งใช้งานแล้ว แก้ปัญหาสัตว์กัดแทะด้วยการเคลือบสารจาระบีเคลือบเชื่อมตราอูฐกับเปลือกของสายเคเบิล OFC ซึ่งผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการสารฯ ดังกล่าวผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน D1693-01 ไม่สร้างผลกระทบต่อเปลือกสายเคเบิล OFC สามารถนำมาเคลือบเปลือกสายเคเบิล OFC ที่ผลิตจาก HDPE อย่างปลอดภัย ทดลองใช้งานในสนาม

สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานใหม่ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC เสริมแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น (Corrugate Armoured Steel) หนา 0.15 mm. $\pm 10 \%$. ภายใต้ชื่อ ARSS OFC หรือ Rodent Resistance Property of ARSS 24C (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable) ผ่านมาตรฐานที่กำหนด ทดลองติดตั้งใช้งานในสนาม

สายเคเบิล OFC ภายในอาคารผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โครงสร้างมีโลหะห่อหุ้ม (Spiral Steel Pipe) ผลิตจาก Stainless Steel เกรด SUS304 เส้นลวดรับแรงขนาด 1X1.2 ฉนวนใช้วัสดุ LSZH (Low Smoke Zero Halogen) พร้อมตั้งชื่ออย่างเป็นทางการว่าสาย Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F)” หรือเรียกสั้นว่า Armoured Round Type ทดลองติดตั้งใช้งานในสนาม

อุปกรณ์จับยึด ต้นทาง-ปลายทาง หรือจุดที่รับแรงดึง ใช้อุปกรณ์ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) อุปกรณ์จับยึดระหว่างเสาไฟฟ้า ใช้อุปกรณ์ Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS)

4.1 เคลือบผิวสายเคเบิล OFC ด้วยจาระบีเคลือบเชื่อม (Chassis Gleaze)

สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานแล้ว ผลการศึกษาจาระบีเคลือบเชื่อม (Chassis Gleaze) มีความเหมาะสมที่สุด ไม่มีผลเสียหายกับเปลือกสายเคเบิล OFC ที่ผลิตจาก HDPE ขบวนการเคลือบผิวไม่ยุ่งยาก ราคาเหมาะสม แต่มีจุดด้อยที่จาระบีเคลือบเชื่อมอายุการใช้งานหลังการเคลือบประมาณ 2-3 ปี ต้องมาเคลือบซ้ำ

การเตรียมจาระบีเคลือบเชื่อมสำหรับเคลือบผิวสายเคเบิล OFC อันดับแรกนำท่อลอน HDPE (หรือท่อที่ผลิตจากวัสดุอื่นๆ ที่มีขนาดเหมาะสม) ยาวประมาณ 70 cm. มาผ่าด้านข้างตามแนวยาวท่อเพื่อความสะดวกในการสวมกับสายเคเบิล OFC จากนั้นนำผ้าหรือฟองน้ำอุดด้านหนึ่งด้านใดเพียงด้านเดียว มัดผ้าหรือฟองน้ำด้วยเชือกป้องกันผ้าหรือฟองน้ำหลุดออกขณะดึงท่อบนสายเคเบิล OFC

จากนั้นนำจาระบีแคลเซียมอัดเข้าไปให้เต็มท่อ นำเชือกยาวมากกว่าระยะช่วงเสาไฟฟ้าที่จะเคลือบสายเคเบิล OFC มาผูกยึดท่อด้านตรงข้ามกับด้านที่อุดกันด้วยผ้าหรือฟองน้ำ เท่านั้นขั้นตอนการเตรียมจาระบีแคลเซียมสำหรับเคลือบผิวสายเคเบิล OFC ก็พร้อมใช้งาน



ภาพประกอบที่ 4.1 สายเคเบิล OFC พาดผ่านแนวป่าที่เป็นแหล่งอาศัยของสัตว์กักตเพาะ

เนื่องจากจาระบีแคลเซียม จะเหนียวเหนอะหนะ ล้างออกยากต้องเตรียมอุปกรณ์ทำความสะอาดตามภาพประกอบที่ 4.2 ใช้ขวดพลาสติกบรรจุผงซักฟอกผสมกับน้ำอัตราส่วนประมาณ 1:5 คอขวดผูกเชือกที่คอขวดสำหรับแขวนเอาไว้เพื่อความสะดวกในการใช้งานขณะปฏิบัติงานบนเสาไฟฟ้า



ภาพประกอบที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้เคลือบผิวสายเคเบิล OFC ด้วยจาระบีแคลเซียม

ขั้นตอนการเคลือบผิวสายเคเบิล OFC ด้วยจาระบีแคลเซียม ปีนเสาไฟฟ้าขึ้นไปในระดับที่มีมือสามารถปฏิบัติงานกับสายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งบนเสาไฟฟ้านั้นๆ จากนั้นนำท่อลอน HDPE ผ่าซีกที่อัดจาระบีแคลเซียมพร้อมใช้งานสวมเข้ากับสายเคเบิล OFC ส่งเชือกให้พนักงานที่ปีนขึ้นเสาไฟฟ้า ถัดไปดึงเชือกให้ท่อลอน HDPE ผ่าซีกที่อัดจาระบีแคลเซียมภายในลากไปบนสายเคเบิล OFC จาระบีแคลเซียมก็จะเคลือบไปตามผิวตามที่ต้องการ

เมื่อดึงท่อลอน HDPE มาถึงเสาไฟฟ้าพนักงานจะยกท่อลอน HDPE ออกจากสายเคเบิล OFC เหยียงผ่านเสาไฟฟ้าไปสวมสายเคเบิล OFC อีกด้านหนึ่ง พร้อมทำความสะอาดมือที่เปื้อนจาระบีแคลเซียมด้วยน้ำผสมผงซักฟอกทันที ป้องกันมิให้เสาไฟฟ้าบริเวณนั้นเปื้อนจาระบีแคลเซียม เพราะก่อนหน้านี้พนักงานซ่อมบำรุงที่มาปฏิบัติงานภายหลังเคลือบจาระบีแคลเซียม แจ้งว่าเสาไฟฟ้าเส้นทางที่เคลือบจาระบีแคลเซียมเหนียวเหนอะหนะไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน



ภาพประกอบที่ 4.3 ขั้นตอนการเคลือบจาระบีแคลเซียม



ภาพประกอบที่ 4.4 สายเคเบิล OFC หลังจากทาเคลือบจาระบีแคลเซียมเรียบร้อยแล้ว

หลังจากทาเคลือบจาระบีแคลเซียม เมื่อมองทำมุมกับแสงแดดจะมองเห็นผิวของสายเคเบิล OFC สะท้อนแสงต่างจากเคเบิลเส้นใกล้เคียง หลังฝนตกจะปรากฏหยดน้ำเกาะเป็นหยดกลมๆ โดยรอบ ต้นทุนในการเคลือบจาระบีแคลเซียมบนสายเคเบิล OFC ประมาณเมตรละ 3-5 บาท/เมตร ราคารวม อุปกรณ์กับค่าแรงงาน (ราคาปี 2559)

ข้อจำกัดของวิธีนี้จาระบีแคลเซียมอายุการใช้งานหลังการเคลือบประมาณ 2-3 ปี ต้องมาเคลือบซ้ำเหมาะสำหรับแก้ปัญหาเฉพาะหน้า วิธีการที่เหมาะสมควรเลือกใช้สายเคเบิล OFC ที่สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ (อายุการใช้งานสายเคเบิล OFC ตามมาตรฐานพัสดุ บมจ.ทีโอที อายุใช้งาน 25 ปี)

โดยสรุปผลการใช้งานสามารถลดปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ลงได้ระดับหนึ่ง แต่มีข้อด้อยที่ต้องเคลือบจาระบีแคลเซียมทุกๆ 2-3 ปี และไม่สะดวกในการบำรุงรักษาสายเคเบิล OFC เส้นนั้นๆ เนื่องจากจาระบีแคลเซียมเหนียวเหนอะหนะไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน

4.2 ทดลองติดตั้งสาย ARSS OFC

สายเคเบิล ARSS OFC ซึ่งผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการผ่านมาตรฐานที่กำหนด ทีมงานวิจัยสั่งผลิตต้นแบบ ARSS OFC 12F จากบริษัท สยามไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (SFO) จำนวน 6

ระวาง ความยาวรวม 24,000 เมตร ทดลองติดตั้งเซตรับผิดชอบส่วนบริการลูกค้าจังหวัดราชบุรี (บปภ.1.1 (รบ.))



ภาพประกอบที่ 4.5 สายต้นแบบ ARSS OFC 12F ผลิตจาก บริษัท SFO

คัดเลือกเส้นทางที่มีปัญหาสายเคเบิล OFC เสียหายจากสัตว์กัดแทะรุนแรง ทีมงานวิจัยคัดเลือกอำเภอสวนผึ้งและอำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี อำเภอละเส้นทางรวม 2 เส้นทาง

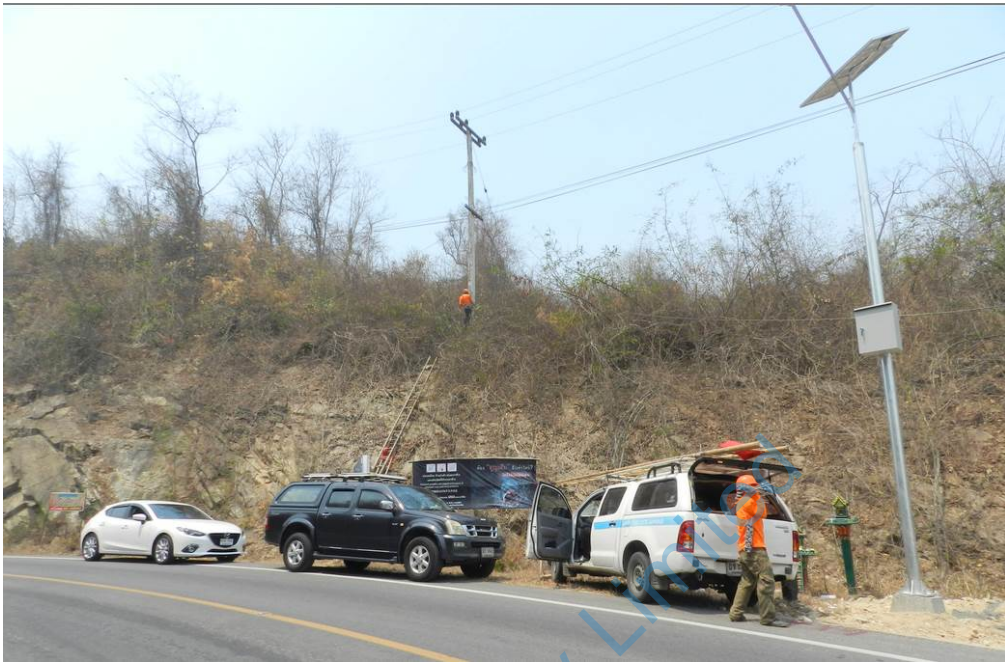
- 1) เส้นทาง โป่งกระทิงล่าง – บ้านพุน้ำร้อน อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี
- 2) เส้นทาง ห้วยผาก – แก่งส้มแมว อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี

จุดที่ 1 เส้นทาง โป่งกระทิงล่าง – บ้านพุน้ำร้อน เขตอำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี เริ่มจากแยกทางหลวงหมายเลข 3313 (ที่ กม.27+000) เส้นทางกรมหลวงชนบท 4061 เข้าพุน้ำร้อนโป่งกระทิง ความยาวสายเคเบิล ARSS OFC ประมาณ 12,000 เมตร เลียบไปตามเส้นทางกรมหลวงชนบท 4061



ภาพประกอบที่ 4.6 จุดเริ่มติดตั้งสายต้นแบบ ARSS OFC เลียบไปตามเส้นทางกรมหลวงชนบท 4061

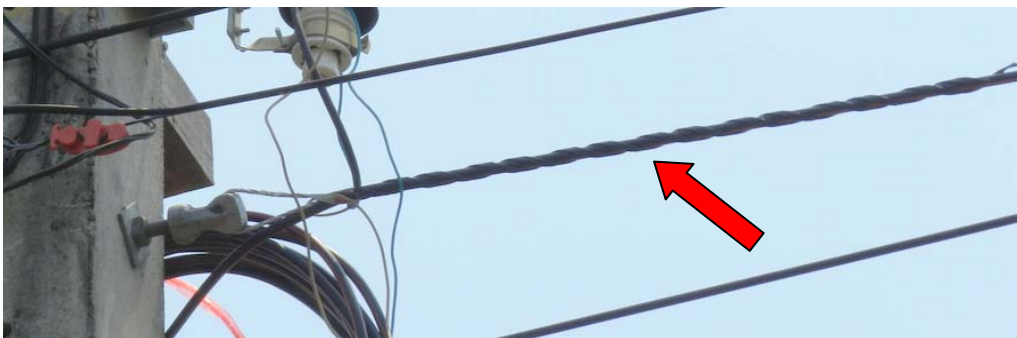
ทีมงานวิจัย เริ่มติดตั้งสายต้นแบบ ARSS OFC 12F เมื่อวันที่พฤหัสบดี 24 มีนาคม 2559 แขนงสาย เริ่มจากแยกทางหลวงหมายเลข 3313 กม.27 (Latitude 13.34639 Longitude 99.44919) ไปตามแนวนถนนกรมหลวงชนบท 4061 เข้าพุน้ำร้อนโป่งกระทิง สภาพภูมิประเทศข้างทางมีบ้านพักอาศัยสลับสวนผลไม้และป่ารกชัฏ เสาไฟฟ้าบางช่วงผ่านร่องน้ำระยะห่างเสาไฟฟ้าประมาณ 70-75 เมตร (มาตรฐานสายเคเบิล ARSS OFC ใช้งานปกติที่ 70 เมตรแต่ไม่ควรเกิน 80 เมตร)



ภาพประกอบที่ 4.7 เส้นทางกรมหลวงชนบท 4061 สภาพภูมิประเทศพื้นที่เป็นเนินเขามีป่ารกชัฏ

มาตรฐานความยาวสายเคเบิล ARSS OFC ระวังละ 4,000 เมตร ทีมติดตั้งจะนำระวางเคเบิลไปวาง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของระยะทางที่จะติดตั้ง (2,000 เมตร) จากนั้นจะดึงเคเบิลด้วยแรงงานคนออกไปทั้งสองข้างแนวติดตั้ง ตำแหน่งติดตั้งบนเสาไฟฟ้าจะมีรองรับขณะสายเคเบิล ARSS OFC ลากผ่าน ข้อควรระวังห้ามใช้รถหรือเครื่องจักรกลดึงสายเคเบิล ARSS OFC เพราะจะทำให้เส้นใยแก้วนำแสงภายในชำรุดเสียหายได้

เมื่อดึงสายไปตามแนวเสาไฟฟ้าแล้วเสร็จ จากนั้นจับยึดด้วยอุปกรณ์จับยึดสายเคเบิล ARSS OFC ซึ่งแบบออกเป็นสองประเภท ประเภทแรกคืออุปกรณ์จับยึด ต้นทาง-ปลายทาง สามารถรับแรงดึงได้ตามมาตรฐาน (สายเคเบิล ARSS OFC 12 F กำหนดรับแรงดึง 1,800 N.) ประเภทที่สองคืออุปกรณ์จับยึดระหว่างเสาไฟฟ้าไม่ต้องรับแรงดึงมากเท่ากับอุปกรณ์จับยึด ต้นทาง-ปลายทาง



ภาพประกอบที่ 4.8 อุปกรณ์ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS)

อุปกรณ์จับยึดสายเคเบิล ARSS OFC ต้นทาง-ปลายทาง ที่รับแรงดึงได้ดี ใช้อุปกรณ์ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) รายละเอียดตามภาพประกอบที่ 4.8

ลักษณะการจับยึดของกลุ่มเส้นโลหะคล้ายกลุ่มเถาว์วัลย์ ม้วนรัดสายเคเบิล ARSS OFC การรับแรงต่อการจับยึด จะผกผันตรง กล่าวคือยิ่งมีแรงดึงมากการจัดยึดของอุปกรณ์จะรัดแน่นตาม ดังนั้นการออกอุปกรณ์ Preformed Dead End ต้องเหมาะสมกับการใช้งาน



ภาพประกอบที่ 4.9 อุปกรณ์ Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS)

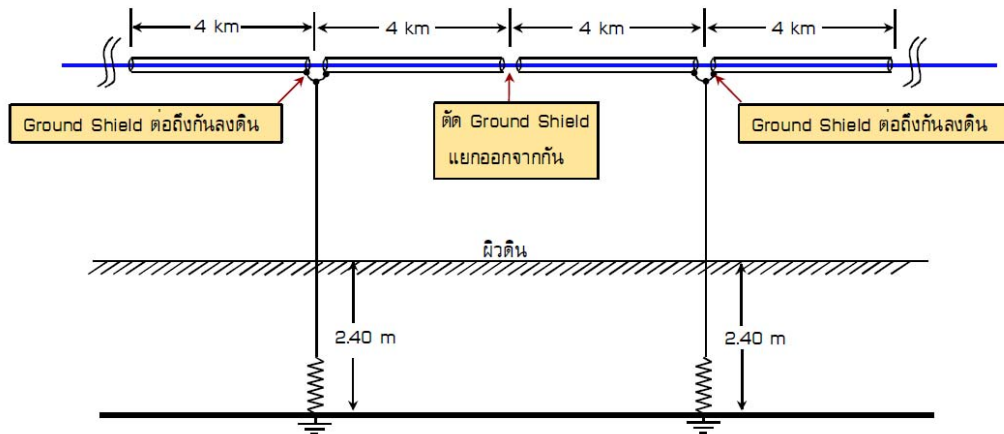
อุปกรณ์จับยึดสายเคเบิล ARSS OFC ช่วงกลางระหว่างเสา ไม่จำเป็นต้องรับแรงดึง เหมือนกับอุปกรณ์ Preformed Dead End เนื่องจากการใช้งานจะมีแรงดึงจากสายเคเบิล ARSS OFC ทั้งสองด้าน ก่อให้เกิดแรงดึงที่สมดุล ณ ตำแหน่งจับยึด โครงสร้างของอุปกรณ์ Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS) ตามภาพประกอบที่ 4.9 เหมาะสมกับการใช้งาน กลุ่มเส้นโลหะรองรับการแกว่งตัวของสายเคเบิลฯ จากกระแสลมได้อย่างดี

โครงสร้างสายเคเบิล ARSS OFC มีแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น 0.15 mm. ห่อหุ้มกลุ่มเส้นใยแก้วนำแสงไว้ภายใน แผ่นเหล็กบางรูปคลื่นสามารถป้องกันการกัดแทะของสัตว์ได้อย่างดี แต่สร้างปัญหาไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงด้านบนของเสาไฟฟ้า ตามแนวเสาไฟฟ้าที่สายเคเบิล ARSS OFC พาดผ่านด้านล่างของเสาไฟฟ้าต้นนั้นๆ มีแรงดันไฟฟ้าปรากฏบนแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น 0.15 mm.

ปัญหาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ส่วนนวัตกรรมระบบตอนนอกและระบบป้องกัน (ส่วนงานเดิม) สถาบันนวัตกรรมทีโอที บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) เคยศึกษาแก้ปัญหาไฟฟ้าเหนี่ยวนำสายเคเบิล OFC โครงการ TNEP [ภาคผนวก ง.] สามารถแก้ไขปัญหาไฟฟ้าเหนี่ยวนำดังกล่าวได้ โครงการวิจัยนี้จึงนำองค์ความรู้ข้างต้นมาใช้งาน

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ปรากฏบนแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น ไม่มีผลกระทบต่อระบบสื่อสารทางแสงที่ส่งผ่านสายเคเบิล ARSS OFC แต่จากระยะทางสายเคเบิล ARSS OFC ที่ยาวมากๆ จากข้อมูลศึกษาแนวแก้ปัญหาไฟฟ้าเหนี่ยวนำสายเคเบิล OFC โครงการ TNEP ที่ผ่านมา (สายเคเบิล OFC ในโครงการ TNEP มีแผ่นอลูมิเนียมบางรูปคลื่นห่อหุ้มคล้ายสายเคเบิล ARSS OFC มีแผ่นเหล็กบางรูปคลื่นห่อหุ้ม)

ณ ตำแหน่งหัวต่อบางตำแหน่งปรากฏแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงกว่า 200 Vac. (เปรียบเทียบกับพื้นดิน) ปริมาณกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถจุดหลอดไฟฟ้าแบบไส้ทั้งสแตน (Tungsten) ส่องสว่างได้ ระดับแรงดันที่ปรากฏบนแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น มีอันตรายต่อพนักงานซ่อมบำรุงสายเคเบิล ARSS OFC จากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและมีความเสี่ยงในการตกจากที่สูง (ตกจากบันไดขณะปฏิบัติงาน)

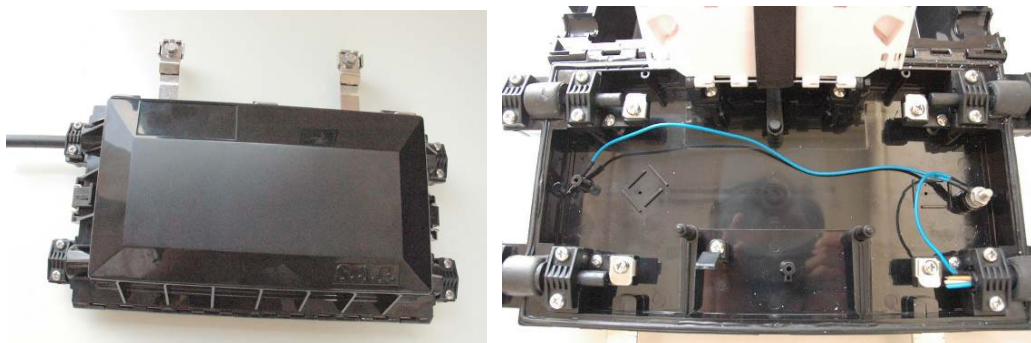


ภาพประกอบที่ 4.10 วิธีการต่อแผ่นเหล็กบางรูปคลื่นหรือ Ground Shield ลงดิน

ระบบ Ground โครงข่ายสายเคเบิลทองแดง จุดเชื่อมต่อ Ground ทั้งระบบต้องเชื่อมต่อถึงกันเพื่อป้องกันการรบกวนสัญญาณสื่อสาร แต่โครงข่ายสายเคเบิล OFC แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ปรากฏบนแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น ไม่มีผลกระทบต่อระบบสื่อสารทางแสงที่ส่งผ่านสายเคเบิล ARSS OFC ดังนั้นเป้าหมายในการลง Ground โครงข่ายสายเคเบิล OFC เน้นความปลอดภัยของพนักงานเป็นหลัก

ระบบ Ground โครงข่ายสายเคเบิล OFC เพื่อป้องกันกระแสไหลวน (Eddy Current หรือ Vortex) ใช้วิธีต่อลง Ground เป็นรูปตัว “T” ดังนั้นโครงข่ายสายเคเบิล OFC ส่วนประกอบของโลหะจะตัดแบ่งเป็นช่วงๆ ตามภาพประกอบที่ 4.10 ตำแหน่งและแนวทางปฏิบัติในการลง Ground ดำเนินการตามภาคผนวก ง.

หัวต่อเคเบิลสาย OFC (Closure) ข่ายสายเคเบิล ADSS OFC ไม่จำเป็นต้องมีระบบ Ground เนื่องจากโครงสร้างสายเคเบิล ADSS OFC ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ แต่ข่ายสายเคเบิล ARSS OFC โครงสร้างภายในมีแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น จำเป็นต้องมีระบบ Ground เพื่อความปลอดภัยของพนักงาน ลักษณะของระบบ Ground ของสายเคเบิล ARSS OFC เป้าหมายลดแรงดันปรากฏบนแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น (กระแสเหนี่ยวนำมีน้อยจากระบบที่ Ground Shield ไม่ต่อเนื่องกันตามภาพประกอบที่ 4.10)



ภาพประกอบที่ 4.11 หัวต่อเคเบิลข่ายสายเคเบิล ADSS OFC นำมาดัดแปลงเพิ่มจุดต่อลง Ground



ภาพประกอบที่ 4.12 ขนาดสาย Ground ภายในหัวต่อเคเบิลสาย ARSS OFC

จากเหตุผลข้างต้นระบบ Ground Shield และสาย Ground ไม่จำเป็นต้องใช้สายตัวนำเส้นโตมาก สาย Ground โครงข่ายสายเคเบิล ARSS OFC ทำหน้าที่เพียงเป็นรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นดินมิให้สูงเกินค่าแรงดันมาตรฐานความปลอดภัย ($< 60 \text{ V.}$)

ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส เจ ที เทคโนโลยี (SJP) ผู้ผลิตและจำหน่ายหัวต่อเคเบิล OFC ได้ดัดแปลงหัวต่อเคเบิลสำหรับโครงข่ายสายเคเบิล ADSS OFC พร้อมสนับสนุนอุปกรณ์โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายสำหรับโครงการนี้ โดยเพิ่มเติมจุดต่อลง Ground ในหัวต่อตามภาพประกอบที่ 4.11 ขนาดและรูปแบบสาย Ground ตามภาพประกอบที่ 4.12



ภาพประกอบที่ 4.13 ทีมงานวิจัยเก็บข้อมูลการติดตั้งสายเคเบิล ARSS OFC ต้นแบบในสนาม

โครงการวิจัยครั้งนี้ดำเนินการภายใต้คำสั่งบริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ที่ ต.183/2559 “แต่งตั้งคณะทำงานวิเคราะห์และแก้ปัญหาโครงข่ายสาย Optical Fiber ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์” ลงนามโดย นาย มนต์ชัย หนูสง กรรมการผู้จัดการใหญ่ (กจญ.) บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) มี นาย สมศักดิ์ มหาวิริโย ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่สำนักขายและบริการลูกค้าภูมิภาคที่ 1 เป็น

หัวหน้าคณะทำงาน หลังติดตั้งสายต้นแบบ เส้นทาง โป่งกระทิงล่าง-บ้านพุน้ำร้อน อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี ได้ระยะเวลาหนึ่ง กงญ. ได้มาเยี่ยมชมผลการดำเนินงาน รายละเอียดตามภาพประกอบที่ 4.14



ภาพประกอบที่ 4.14 กรรมการผู้จัดการใหญ่ เยี่ยมชมพื้นที่ติดตั้งสายเคเบิล ARSS OFC ต้นแบบ

ผลการใช้งานสายเคเบิลต้นแบบ ARSS OFC 12F ทั้งสองเส้นทาง เริ่มจากปลายเดือนมีนาคม 2559 ถึงปัจจุบัน (พฤศจิกายน 2559) รวมระยะเวลา 8 เดือน โครงข่ายสายเคเบิล OFC ยังใช้งานได้ตามปกติ ยังไม่มีเหตุสายเคเบิลต้นแบบฯ ชำรุดเสียหายจากสัตว์กัดแทะเข้ามา ต่างจากก่อนหน้านี้เส้นทางทดลองนี้มีปัญหาสายเคเบิล OFC ชำรุดจากสัตว์กัดแทะเป็นระยะๆ

โดยสรุปผลการทดลองติดตั้งสายเคเบิล ARSS OFC ในพื้นที่ทดลองความยาวสาย 24,000 เมตร ระยะเวลาทดลอง 8 เดือน สายเคเบิล ARSS OFC สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ 100 %

4.3 ทดลองติดตั้งสาย Armoured Round Type

สาย Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F)” หรือเรียกสั้นๆว่า Armoured Round Type โครงสร้างผลิตจากโลหะห่อหุ้มลักษณะท่อสปริง (Spiral Steel Pipe) เนื้อโลหะผลิตจาก Stainless Steel เกรด SUS304 ด้านบนมีเส้นลวดรับแรงขนาด 1X1.2 mm. ฉนวนใช้วัสดุ LSZH (Low Smoke Zero Halogen) เป็นสายต้นแบบที่จะนำทดลองติดตั้งใช้งานภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูล ประเมินผลการใช้งาน



ภาพประกอบที่ 4.15 สาย Round Type ปกติที่ชำรุดเสียหายจากสัตว์กัดแทะ

บริการ FTTx สาย OFC ที่เชื่อมต่อปลายทาง (Access Point) นิยมเชื่อมต่อหลัง Optical Splitter ไปยังผู้ใช้บริการ มาตรฐานสาย OFC มีให้เลือก 2 ชนิด คือ สายชนิด Flat Type และ Round Type บมจ.ทีโอที เลือกใช้สายชนิด Round Type ด้วยเหตุผลโครงสร้างที่แข็งแรงกว่า พื้นที่ที่มีปัญหา สัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC มีสายเคเบิล ARSS OFC แก้ปัญหา (ขนาดคู่สาย 12F ขึ้นไป)

จากปัญหาสัตว์กัดแทะสายขนาดเล็ก (ขนาดคู่สาย 1-2F) ตามภาพประกอบที่ 4.15 โครงการวิจัยนี้ได้ออกแบบสาย Armoured Round Type รายละเอียดตามโครงสร้างข้างต้น



ภาพประกอบที่ 4.16 สาย Armoured Round Type ติดตั้งใช้งานในพื้นที่ที่มีปัญหาสัตว์กัดแทะ

ผลการทดลองติดตั้งสาย Armoured Round Type ต้นแบบในเขตพื้นที่จังหวัดราชบุรี แบ่งพื้นที่ติดตั้งเป็นสองกลุ่ม ระยะทางสายรวมประมาณ 300,000 เมตร (ม้วนละ 1,000 เมตร)

กลุ่มที่ 1. ติดตั้งเต็มพื้นที่ 100 % คือ พื้นที่อำเภอดำเนินสะดวก อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี

กลุ่มที่ 2. ติดตั้งเฉพาะพื้นที่ที่มีปัญหาสัตว์กัดแทะ เขตอำเภอโพธาราม อำเภอบ้านโป่ง อำเภอสวนผึ้งและอำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี

พื้นที่จังหวัดใกล้เคียงอีกประมาณ 100,000 เมตร (รวม 400,000 เมตร) ระยะเวลาทดลองติดตั้งใช้งานภาพรวมประมาณ 12 เดือน ปัญหาสัตว์กัดแทะสายขนาดเล็กหมดไป 100 % โดยสรุปผลการทดลองติดตั้งสาย Armoured Round Type ระยะเวลาทดลอง 12 เดือน สาย Armoured Round Type สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ 100 %

4.4 สรุป

แนวทางแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC มีสองแนวทาง คือ แนวทางที่ 1. สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานแล้ว การเปลี่ยนเคเบิลฯ ใหม่อาจไม่คุ้มทุน สามารถเคลือบจาระบีแคลเซียมเพื่อลดปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ลงได้ระดับหนึ่ง แต่มีข้อด้อยที่ต้องเคลือบจาระบีแคลเซียมทุกๆ 2-3 ปี และไม่สะดวกในการบำรุงรักษาสายเคเบิล OFC เส้นนั้นๆ เนื่องจากจาระบีแคลเซียมเหนียวเหนอะหนะไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน

แนวทางที่ 2. ติดตั้งสายเคเบิล Rodent Resistance Property of ARSS 24C (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable) หรืออีกชื่อหนึ่งคือ ARSS OFC

สายกลุ่ม Access Point ปลายทางสาย Armoured Round Type ที่ทดลองติดตั้งใช้งาน ประมาณ 400,000 เมตร ระยะเวลาทดลองเก็บข้อมูล 12 เดือน

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)

บทที่ 5. สรุป

ปัญหาสายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งแบบแขวนในอากาศรับน้ำหนักตัวเองได้ ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์โดยเฉพาะกระรอก เขตภูมิภาคบางพื้นที่นำสายเคเบิล OFC ชนิด Armoured Aerial Cable (AA) โครงสร้างคล้ายสาย AP-8 ที่มีเกราะโลหะภายนอกมาติดตั้งทดแทนสาย AP-8 OFC แต่ในเขตนครหลวงไม่สามารถนำสายชนิด Armoured Aerial Cable (AA) มาติดตั้งใช้งานได้ เนื่องจากการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ห้ามแขวนสายเคเบิลที่มีสายสะพานกับเสาของ กฟน. ในอนาคตการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จะมีประกาศห้ามด้วย

กฟน. กำหนดให้ผู้ให้บริการโทรคมนาคมทุกค่าย ห้ามแขวนสายเคเบิล OFC ที่มีขนาดสายสะพานเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1.6 mm. กับเสาของ กฟน. จากข้อกังวลเรื่องสายสื่อสารซึ่งแขวนต่ำกว่าสายส่งไฟฟ้าแรงต่ำ โอกาสจะโดนรถชนเกี่ยวสายสูงเป็นสาเหตุให้สายสะพานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่รับแรงดึงแบบทำลายสูงดึงเสาไฟฟ้าล้มตามแรงกระชากของสายสะพาน กฟน. จึงออกกฎสายเคเบิล OFC ที่มีขนาดสายสะพานเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1.6 mm. ต้องเป็นสายเคเบิล OFC ชนิด ADSS OFC เท่านั้น

แต่สายเคเบิล ADSS OFC ไม่สามารถป้องกันปัญหาสัตว์กัดแทะได้ ส่วนงาน บมจ.ทีโอที ในเขตภูมิภาค แก้ปัญหาโดยใช้สายเคเบิล OFC ชนิด Single Mode Optical Fiber Cable โครงสร้าง AP-8 ที่มีแผ่นเหล็กบาง (Armoured) ท่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงก่อนหุ้มเปลือกภายนอก [1] สามารถป้องกันสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์ลงได้

แนวทางแก้ไขปัญหาสัตว์กัดแทะ โดยเฉพาะกระรอก หาแนวทางหรือวัสดุที่เหมาะสมมาผลิตสายเคเบิล OFC ที่สามารถลดปัญหาการกัดแทะของสัตว์ลงได้ เช่น ท่อหุ้มด้วย E-Glass Yarn, Aramid Yarn, Steel Armoured หรือใส่สาร Rodent Additives ลงใน HDPE ที่ท่อหุ้มภายนอก เป็นต้น กำหนดการรับแรงดึงในสภาพการใช้งานปกติคล้ายสาย ADSS OFC ป้องกันสายเคเบิล OFC ชำรุดเสียหายจากการกัดแทะของสัตว์และไม่ขัดกับกฎข้อบังคับทั้งของ กฟน. และ กฟภ. ด้วยความร่วมมือกับพันธมิตรที่เป็นคู่ค้ากับ บมจ.ทีโอที

โครงการวิจัยนี้จะศึกษาหาแนวทางแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ทั้งระบบ (ภายในภายนอก อาคาร) ทั้งสายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานแล้วและสายฯ ที่จะติดตั้งใช้งานใหม่ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาให้ครบทั้งวงจร

สายภายนอกอาคาร สายเคเบิล OFC ที่ติดตั้งใช้งานแล้ว โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวทางแก้ปัญหาสัตว์กัดแทะด้วยสารจาระบีแคลเซียมตราอูฐ นำมาเคลือบกับเปลือกของสายเคเบิล OFC ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและทดลองติดตั้งใช้งานจริง สามารถป้องกันปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล OFC ได้ระดับหนึ่ง แต่มีข้อจำกัดเรื่องอายุการใช้งาน ต้องเคลือบสารจาระบีใหม่ทุกๆ 2-3 ปี

สายเคเบิล OFC ที่จะติดตั้งใช้งานใหม่ทดลองผลิตต้นแบบส่งให้มหาวิทยาลัยมหิดลทดสอบการกัดแทะของกระรอกตามมาตรฐาน ผลการทดสอบโครงสร้างสายคล้ายสายเคเบิล ADSS OFC เพิ่มแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น (Corrugate Armoured Steel) หนา 0.15 mm. ท่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสง

ทั้งหมดไว้ภายใน ก่อนหุ้มเปลือกหุ้มชั้นนอก ตามปกติ ส่งทดสอบภายใต้ชื่อ Rodent Resistance Property of ARSS 24C (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable) ผ่านมาตรฐานการทดสอบ และทดลองติดตั้งใช้งานจริงประมาณ 24,000 เมตร ยังไม่เจอปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล ต้นแบบ [ภาคผนวก ข.]

สายภายในอาคารโครงสร้างป้องกันสัตว์กัดแทะผลิตจากโลหะห่อหุ้ม(Spiral Steel Pipe) ผลิตจาก Stainless Steel เกรด SUS304 เส้นลวดรับแรงขนาด 1X1.2 mm. ฉนวนใช้วัสดุ LSZH (Low Smoke Zero Halogen) พร้อมทั้งตั้งชื่ออย่างเป็นทางการว่าสาย Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F) หรือเรียกสั้นว่า Armoured Round Type ผลการทดลองติดตั้งใช้งานจริงยังไม่เจอปัญหาสัตว์กัดแทะสายเคเบิล ต้นแบบ

อุปกรณ์จับยึด ต้นทาง-ปลายทาง หรือจุดที่รับแรงดึง ใช้อุปกรณ์ Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) อุปกรณ์จับยึดระหว่างเสา ใช้อุปกรณ์ Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS) ผลการทดสอบใช้งานเจอปัญหาในขบวนการติดตั้ง หลังติดตั้งใช้งานระยะเวลาอุปกรณ์จับยึดฯ ไม่ส่งผลกระทบต่อสายเคเบิล OFC

โดยสรุปสายเคเบิล Rodent Resistance Property of ARSS 24C (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable) สาย Armoured Optical Fiber Drop Cable (Armoured Round Type) (Armoured Optic Drop Wire for FTTx (Round Type) 1-2F) และอุปกรณ์จับยึด Preformed Dead End for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) ที่ใช้จับยึดอุปกรณ์ ณ ตำแหน่ง ต้น-ปลาย และอุปกรณ์จับยึดระหว่างเสา ใช้อุปกรณ์ Thimble Preformed Suspension for Self-Support Cable (ADSS/ARSS) (Tangent ADSS/ARSS) เหมาะสมกับการนำมาใช้งานในโครงข่าย OFC และสามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้

ภาคผนวก ก.

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)

กระรอกและหนูในประเทศไทย

กระรอก

กระรอก (Squirrel) จัดเป็นสัตว์ในกลุ่มฟันแทะ (Rodent) มีลักษณะเด่นก็คือมีฟันหน้าที่ใหญ่และแข็งแรง อยู่สองคู่ อยู่ด้านบนหนึ่งคู่และด้านล่างอีกหนึ่งคู่ ไม่มีฟันเขี้ยว ฟันของสัตว์พวกนี้มี การงอกยาวขึ้นเรื่อยในทุกวัน ดังนั้นมันจึงจำเป็นต้องกัดแทะของแข็งทุกวันเพื่อให้เกิดการสึกกร่อน มิฉะนั้นฟันจะงอกยาวเกินไป ในธรรมชาติอาศัยอยู่ตามต้นไม้ บางครั้งอาจพบหากินอยู่ตามพื้นบ้าง กินพวกผลไม้ ใบไม้ ยอดไม้ รวมทั้งแมลงต่างๆ กระรอกที่สามารถพบได้ในประเทศไทย สามารถแบ่ง ได้เป็น สองกลุ่มใหญ่ๆดังนี้คือ กระรอก และกระรอกบิน

กระรอกเป็นสัตว์ที่ออกหากินในตอนกลางวัน (ยกเว้นตระกูลกระรอกบิน) แต่ส่วนใหญ่ แล้ว จะออกหาอาหารในช่วงเช้ามืดหรือตอนเย็น เราสามารถพบกระรอกอยู่เป็นกลุ่มได้ในต้นไม้ที่ออก ผลมากๆ กระรอกส่วนใหญ่หากินบนต้นไม้ แต่บางเวลาหากินบนพื้นดิน กระรอกมีการปรับตัวต่อการ เปลี่ยนแปลงของฤดูกาลและอาหารตามฤดู

กระรอกมีการสืบพันธุ์แบบ Promiscuous หรือ Polygynandrous คือตัวผู้หรือตัวเมีย หลายๆ ตัวผสมกับเพศตรงข้าม 1 ตัว ในวันที่ตัวผู้เป็นสัตว์ ตัวผู้หลายตัวจะมารวมกันล้อมรอบตัวเมีย และเริ่มส่งเสียงร้อง การส่งเสียงร้องนี้เป็นการเริ่มต้นแข่งขันกันในหมู่ตัวผู้ ซึ่งจะมีตัวผู้ตัวหนึ่งที่ชนะ และได้ผสมพันธุ์กับตัวเมียดังนั้น ตัวผู้ตัวที่ชนะจะได้ครอบครองตัวเมียในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อให้แน่ใจว่า ไข่ของตัวเมียนั้นได้รับการผสมจากตนเอง

หลังจากผสมพันธุ์แล้ว ในตอนแรกตัวเมียจะออกสำรวจหาบริเวณและสร้างรังในบริเวณ ที่เหมาะสมและค่อนข้างปลอดภัย พฤติกรรมนี้จะพบมากที่สุดในช่วงฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วงที่ตรงกับฤดูผสมพันธุ์ของกระรอก ภายในรังของกระรอกนั้นพบว่า แม่กระรอกสามารถให้กำเนิดลูกได้ครั้ง ละหลายตัว อายุขัยของกระรอก ยังไม่เคยมีการรายงานเป็นตัวเลขที่แน่นอนแต่สำหรับกระรอกที่ถูก คนเลี้ยงดูนั้น โดยเฉลี่ยแล้วมีอายุประมาณ 17 ปี และบางพันธุ์อาจมีอายุยืนถึง 21 ปี (เลี้ยงขังในกรง) เช่น กระรอกสามสี

ศัตรูในธรรมชาตินั้น กระรอกมีศัตรูคือสัตว์กินเนื้อขนาดเล็ก เช่น อีเห็น ชะมด พังพอน แมวป่า รวมทั้งเหยี่ยว นอกจากนี้ กระรอกอาจถูกคนจับมาขายหรือฆ่าทิ้งเนื่องจากทำลายผลผลิตของ เกษตรกร โดยเฉพาะกระรอกที่ไปอาศัยในสวนปาล์ม

กระรอกหลากสี (Variable Squirrel, *Callosciurus finlaysoni bocourt*) เป็น กระรอกขนาดกลางมีสีสันทากหลายมากและสามารถแบ่งเป็นชนิดย่อยมากกว่า 10 ชนิด เป็น กระรอกที่มีหางปลิวเป็นพวงสวยงามมาก แต่ละชนิดย่อยสามารถพบได้ตามภาคต่างๆ ของประเทศ ไทย



ภาพประกอบที่ ก.1 กระรอกหลากสี (Variable Squirrel, *Callosciurus finlaysoni bocourt*)

พญากระรอกดำ (Black Giant Squirrel) เป็นกระรอกที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของไทย มีหางยาวเป็นพวงอาศัยหากินตามต้นไม้ใหญ่ ทำรังอยู่ตามยอดไม้ พบได้ทั่วประเทศยกเว้นภาคอีสาน



ภาพประกอบที่ ก.2 พญากระรอกดำ (Black Giant Squirrel)

กระรอกข้างลายทองแดง (Plantain Squirrel) เป็นกระรอกขนาดกลาง มีขนคลุมตัวสีน้ำตาล ขนท้องสีแดง ด้านข้างลำตัวมีแถบขนสีขาวและสีดำระหว่างโคนขาทั้งสอง กระรอกชนิดนี้ปรับตัวเข้ากับสภาพที่อยู่อาศัยได้ดี พบว่าอยู่ได้ทั้งในป่าธรรมชาติและในสวนผลไม้ อาศัยตามป่าดิบชื้นทางภาคใต้ พบได้ตั้งแต่จังหวัดสุราษฎร์ธานีลงไป



ภาพประกอบที่ ก.3 กระรอกข้างลายท้องแดง (Plantain Squirrel)

กระรอกสามสี (Prevost's Squirrel) ตัวยาวประมาณ 25 เซนติเมตร หาง 27 เซนติเมตร มีลักษณะเด่นที่สีของขนคลุมตัวโดยขนที่หูหลังและหัวมีสีดำ ขนหางครึ่งหนึ่งเป็นสีดำ ส่วนครึ่งปลายหางมีสีน้ำตาล ขนท้องและขาไม่มีสีแดงปนน้ำตาลแก่ ขนที่โคนขาหลังด้านบนมีสีขาว ระหว่างขนหลังสีดำกับขนท้องสีน้ำตาลปนแดง มีแถบสีขาวพาดจากโคนขาหลังไปยังขาหน้าส่วนบน ใบหน้าด้านข้างและที่จมูกมีขนสีเทาดำ ตัวเมียมีเต้านม 3 คู่อาศัยอยู่บนต้นไม้ในป่าพรุ กินมด ปลวกและแมลงชนิดต่าง ๆ เป็นอาหาร เป็นกระรอกขนาดใหญ่อาศัยอยู่ตามป่าดิบชื้น จนถึงป่าพรุทางภาคใต้จัดว่าเป็นกระรอก ที่มีความสวยงามที่สุดชนิดหนึ่งพบเห็นได้ ยากพบได้ตั้งแต่จังหวัดสุราษฎร์ธานีลงไป



ภาพประกอบที่ ก.4 กระรอกสามสี (Prevost's Squirrel)

พญากระรอกเหลือง (Cream-colored Giant Squirrel) เป็นกระรอกที่มีขนาดใหญ่ รองจากพญากระรอกดำ อาศัยอยู่ตามต้นไม้ใหญ่ในป่าดิบชื้นทางภาคใต้ พบได้ตั้งแต่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ลงไป



ภาพประกอบที่ ก.5 พญากระรอกเหลือง (Cream-colored Giant Squirrel)

กระรอกดินหลังลาย (Three-striped Ground Squirrel) เป็นกระรอกขนาดเล็ก มักจะมีรูปร่างสั้น และลำสั้นกว่ากระรอกต้นไม้ มีขาหน้าแข็งแรงใช้สำหรับการขุดดิน ทางของกระรอกดินนั้นจะสั้นกว่าทางของกระรอกต้นไม้ และไม่ฟูเป็นพวงนก และเช่นเดียวกับสัตว์ฟันกัดแทะชนิดอื่น ๆ กระรอกจะมีนิ้วเท้าหลังข้างละ 5 นิ้ว และ นิ้วเท้าหน้าข้างละ 4 นิ้ว ตรงส่วนที่น่าจะเป็นนิ้วโป้งจะกลายเป็นปุ่มนูน ๆ ซึ่งถูกพัฒนาให้เหมาะสำหรับจับอาหารมาแทะมีสีน้ำตาลเข้ม หากินตามพื้นดิน มีแถบสีดำสามเส้นบนหลังเห็นได้ชัด พบทางภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดยะลาลงไป



ภาพประกอบที่ ก.6 กระรอกดินหลังลาย (Three-striped Ground Squirrel)

กระรอกหางม้าเล็ก (Slender Squirrel) เป็นกระรอกขนาดกลาง มีหางยาวเรียวยาว ไม่มีสีดำที่ปลายหาง ท้องสีเหลืองอ่อน อาศัยอยู่ในป่าพรุทางภาคใต้เท่านั้น



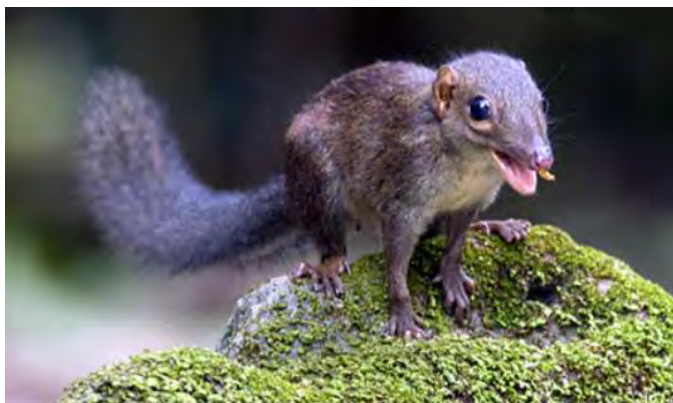
ภาพประกอบที่ ก.7 กระรอกหางม้าเล็ก (Slender Squirrel)

กระรอกปลายหางดำ (Gray-bellied Squirrel) เป็นกระรอกขนาดกลาง มีจำนวนชนิดย่อยถึง 6 ชนิด ส่วนชนิดนี้พบได้ทางภาคเหนือ ภาคกลาง ลงมาถึง จังหวัดเพชรบุรี และทางภาคใต้ ตัวยาวประมาณ 22.1 เซนติเมตร หางยาวประมาณ 24.4 เซนติเมตร กระรอกชนิดนี้มี 2 ลักษณะคือ ชนิดที่มีปลายหางดำและชนิดที่มีปลายหางเทา กับขนท้องเทาเงิน ตัวเมียมีเต้านม 2 คู่ ปรับตัวอยู่กับคนได้ดี มักพบตามสวนมะพร้าวเช่นเดียวกับที่อยู่ได้ในป่า มักอยู่ตัวเดียวตามลำพัง แต่บางครั้งอยู่เป็นกลุ่ม 2-4 ตัว กินผลไม้และแมลงบางชนิดเป็นอาหาร มีลูกครอกละ 2 ถึง 4 ตัว



ภาพประกอบที่ ก.8 กระรอกปลายหางดำ (Gray-bellied Squirrel)

กระรอกหน้ากระแต (Shrew-faced Ground Squirrel) เป็นกระรอกขนาดกลาง มีสีน้ำตาลเข้ม จมูกยาวอย่างเห็นได้ชัด จึงดูหน้าแหลมกว่ากระรอกทั่วไป พบเห็นได้ยากมาก ใกล้สูญพันธุ์ อาศัยอยู่ตามป่าดิบชื้นทางภาคใต้เท่านั้น เป็นกระรอกที่มีปากและจมูกยาวคล้ายกระแต ขนด้านหลังมีสีน้ำตาลเข้ม ขนด้านข้างลำตัวมีสีน้ำตาลแดง ขนใต้ท้องมีสีขาวปนเหลือง ขนหางฟูปลายขนมีสีดำ ชอบอยู่โดดเดี่ยวหากินตามกองไม้ล้มตามพื้นดินทั่วไป มีแมลง ไข่เดือนและผลไม้เป็นอาหาร



ภาพประกอบที่ ก.9 กระรอกหน้ากระแต (Shrew-faced Ground Squirrel)

กระรอกหางม้าใหญ่ (Horse-tailed Squirrel) เป็นกระรอกขนาดกลาง มีหางขนาดใหญ่เป็นพวงฟู พบเห็นได้ยากอาศัยอยู่ในป่าพรุทางภาคใต้เท่านั้น



ภาพประกอบที่ ก.10 กระรอกหางม้าใหญ่ (Horse-tailed Squirrel)

กระรอกดินแก้มแดง (Red-Cheeked Squirrel) ขนาดหัวและลำตัว 18 ซม. หาง 16 ซม. เป็นกระรอกดินขนาดเล็ก แก้มมีสีแดงเป็นลักษณะเด่น หัว ลำตัวด้านบน และด้านบนของขาหน้าและขาหลังเป็นสีน้ำตาลเข้ม ใต้หางสีน้ำตาลแดงสดทางด้านบนสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ คอหอยและลำตัวด้านล่างสีขาว ใบหูมีจุดสีขาว จมูกยาวและเรียกว่ากระรอกส่วนใหญ่ หากินบนพื้นดิน หรือใกล้พื้นดิน กินแมลง รากไม้ และส่วนอื่นๆ ของพืชเป็นอาหาร อาศัยอยู่ในป่าดงดิบเขาในระดับสูงกว่า 900 เมตร จากระดับน้ำทะเลทางภาคเหนือ ภาคตะวันตก และภาคใต้



ภาพประกอบที่ ก.11 กระรอกดินแก้มแดง (Red-cheeked Squirrel)

กระจ๊อน กระแต (Indochinese Ground Squirrel) เป็นกระรอกขนาดเล็กพบเห็นได้ทั่วไป ชอบอาศัยอยู่ตามพื้นดินในป่า มีแถบสีดำสลับสีอ่อนด้านข้างลำตัว อาศัยอยู่ตามสวนและป่ารอบนอก ไม่ชอบอยู่ตามป่าดิบชื้น



ภาพประกอบที่ ก.12 กระจ๊อน กระแต (Indochinese Ground Squirrel)

กระเล็น(กระถิก) ขนปลายหุยาว(Cambodian striped tree Squirrel) เป็นกระรอกขนาดเล็กที่สุดในประเทศไทย เล็กกว่ากระเล็นขนปลายหูสั้นเล็กน้อย ความยาวหัว-ลำตัว 10.5-12 เซนติเมตร หางยาวประมาณ 12 เซนติเมตร ขนหางสั้นและเรียบติดหนังไม่ฟูเป็นพวงอย่างกระรอกทั่วไป ปลายหูสีขาว ลำตัวสีน้ำตาลอมเทา หลังมีลายแถบขนานกันไปตามแนวสันหลังสีเหลืองหรือสีครีมสลับดำ สีดำ 5 แถบ สีครีม 4 แถบ แถบสีครีมด้านนอกสุดพาดยาวตั้งแต่จมูกไปจนจรดโคนหาง แถบนอกสุดมีความกว้างและสีใกล้เคียงกับแถบใน ซึ่งต่างจากแถบของกระเล็นขนปลายหุยาวที่แถบนอกจะกว้างกว่า กระหม่อมสีเทาแกมเขียว ท้องสีเหลืองอ่อนแกมส้ม หางมีจุดประสีเทา น้ำตาล และดำ ลายของกระเล็นจะคล้ายกับชิปมังก์ (Tamias sp.) ตัวเมียมีหัวนม 6 เต้า

กระเล็นขนปลายหูสั้นชอบป่าดิบชื้น ป่าดิบเขาระดับต่ำ และป่าเบญจพรรณ พบในประเทศกัมพูชา ลาว เวียดนาม และไทย ในประเทศไทยพบในป่าภาคตะวันออก อีสานตอนใต้บริเวณป่าชายแดนไทย-กัมพูชา และที่จังหวัดชัยภูมิ

มักหากินตัวเดียว หรืออาจเป็นกลุ่มที่เป็นครอบครัวเดียวกัน หากินตอนกลางวันบนต้นไม้ตามเรือนยอดชั้นกลางและชั้นบน กินผลไม้ เมล็ดพืช ใบไม้ และแมลงเป็นอาหาร กระโดดและวิ่งไปมา

บนกิ่งไม้อย่างคล่องแคล่ว เสียงร้องมีสองแบบ แบบหนึ่งคือ จืด ๆ สั้น ๆ คล้ายนก แต่แหลมดังบาดหู และอีกแบบหนึ่งคือเสียงแหลมยาวสั้นระรัวที่ค่อย ๆ ผ่อนเสียงลง



ภาพประกอบที่ ก.13 กระเล็น (กระถิก) ขนปลายหยาบ (Cambodian striped tree Squirrel)

หนู

หนู เป็นสัตว์ที่เลี้ยงลูกด้วยนม มีวงจรชีวิตประมาณ 3-4 เดือน โดยเฉลี่ยมีลำตัวยาวประมาณ 35-45 เซนติเมตร มีฟันแหลมคม 2 คู่ ซึ่งฟันของหนูจะมีการงอกตลอดเวลา ทำให้หนูต้องใช้ฟันกัดแทะอยู่ตลอดเวลาเช่นเดียวกับกระรอก หนูมีการผสมพันธุ์และแพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว หนูสามารถแพร่พันธุ์ได้เมื่ออายุประมาณ 3-4 เดือน เมื่อแรกเกิดหนูไม่สามารถช่วยเหลือตัวของมันเองได้ จำเป็นต้องให้แม่เป็นผู้ช่วยจนกระทั่งเป็นเวลาประมาณ 3 สัปดาห์ หนูจะเปิดตาหรือลืมตาได้เมื่ออายุประมาณ 12-14 วัน สามารถผสมพันธุ์ได้ใหม่อีกครั้งเมื่อคลอดตัวอ่อนออกมาได้ภายใน 48 ชั่วโมง ออกลูกได้ปีละ 10-12 ครอก และแต่ละครอกมี 7-8 ตัว หนูสามารถคลอดลูกได้ตลอดปี อายุของหนูมีความยืนยาวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของหนู

หนูเป็นสัตว์แทะที่ชอบออกหากินเวลากลางคืน แต่ก็จะเริ่มออกหากินตั้งแต่เวลาพระอาทิตย์ตกดิน แต่บางคนก็อาจจะเห็นหนูหากินในเวลากลางวันได้เหมือนกัน หนูใช้จมูกดมหาแหล่งอาหาร มักหากินในบริเวณใกล้บ้านพักอาศัยอยู่ในรัศมี 100-150 ฟุต หนูมีความสามารถที่จะหาอาหารได้ทั้งในน้ำและบนบก

หนูในประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้หลายชนิด ดังนี้

หนูนอร์เวย์ เป็นหนูที่มีขนาดใหญ่ มีจมูกป้าน ส่วนหางสั้นกว่าส่วนหัวและลำตัว ลำตัวอ้วนและน้ำหนักตัวมากกว่าหนูหลังคา ตาและจมูกเล็ก มีขนหยาบสีน้ำตาลปนเทา ส่วนท้องสีเทา มักอาศัยอยู่ตามรูที่ขุดไว้ในดิน หรือช่องว่างตรงรอยต่อระหว่างฝาผนัง และพื้น ในกองมูลฝอย ในท่อระบายน้ำเสีย หรือท่อระบายน้ำอื่นๆ มักทำรังเป็นที่อยู่อาศัยโดยใช้กิ่งไม้ หรือมูลฝอย หรือเศษหญ้า หรือกระดาษหนังสือพิมพ์



ภาพประกอบที่ ก.14 หนูนอร์เวย์

หนูหลังคา บางที่เรียกว่า หนูท้องขาว เพราะมีขนตรงส่วนท้องสีขาวปนเทา หรือครีม มีจมูกแหลม ตาและหูใหญ่กว่าหนูนอร์เวย์ ลำตัวเพรียวกว่า ขนาดปลานกลาง น้ำหนักตัวเมื่อตัวเต็มทีประมาณ 80-200 กรัม ขนตามตัวมีสีน้ำตาลและสีดำแซม ส่วนหางจะยาวกว่าส่วนหัวและลำตัวรวมกัน มักอาศัยอยู่ตามช่องว่างในหลังคาหรือเพดาน อาจจะทำรังอยู่นอกบ้านใต้กองเศษใบไม้ หญ้า หรือตามซุ้มพุ่มต้นไม้สูง อาจเห็นวิ่งไปตามท่อน้ำหรือคานของบ้าน หรืออาคารต่างๆ และตามกิ่งไม้ เคลื่อนไหวไปตามทางเดิน พบทั่วไปในนาข้าว ออกหากินได้ไกลในระยะ 50 เมตร จากที่อยู่อาศัย



ภาพประกอบที่ ก.15 หนูหลังคา

หนูหริ่ง เป็นหนูที่มีขนาดเล็กที่สุด มีขนาดเท่ากับหนูนอร์เวย์ และหนูหลังคาที่ยังเล็กอยู่ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบขนาดของหนูหริ่งและหนูชนิดอื่นขณะที่ยังเล็กอยู่ หนูหริ่งมีน้ำหนักตัวประมาณ 10-15 กรัม ส่วนหัวและลำตัวยาวประมาณ 7.5 เซนติเมตร ส่วนหางมีความยาวกว่าส่วนลำตัวและหัวรวมกันเพียงเล็กน้อย หางด้านบนมีสีเทา ด้านล่างสีขาว มีจมูกยาวค่อนข้างแหลมยื่นเกินพินหน้า เพศเมียมีเต้านมที่อก 3 คู่ ที่ท้อง 2 คู่ ขนด้านหลังมีสีเทาหรือสีเทาปนน้ำตาล ขนส่วนท้องมีสีขาว



ภาพประกอบที่ ก.16 หนูหริ่ง

หนูหริ่ง แบ่งออกเป็น หนูหริ่งหางสั้น มีขนาดเล็กน้ำหนักตัวประมาณ 10-15 กรัม พบตามนาข้าว ไร่ข้าวโพด ออกหากินได้ไกลในระยะ 3-9 เมตรจากที่อยู่อาศัย และ หนูหริ่งหางยาว น้ำหนักตัวประมาณ 12 กรัม ความยาวหางยาวกว่าความยาวของหัวและลำตัวรวมกัน ฟันคู่หน้าด้านบนตรง ด้านล่างมีสีเข้มกว่า ขนใต้ท้องมีสีขาว จมูกสั้น หางด้านบนสีดำ ด้านล่างสีขาว เพศเมียมีเต้านมที่อก 3 คู่ ที่ท้อง 2 คู่ พบทั่วไปในนาข้าว ไร่ข้าวโพด ถั่วเหลืองและถั่วเขียว

หนูพุก หนูพุกแบ่งออกเป็น หนูพุกใหญ่ ลักษณะ จะมีขนเป็นสีดำหรือสีน้ำตาล น้ำหนักตัวเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 400-600 กรัม บริเวณส่วนหลังจะมีขนแข็งๆ โผล่ออกมาเห็นได้ชัด และหนูพุกเล็ก ลักษณะ จะคล้ายหนูพุกใหญ่ แตกต่างกันตรงที่เท้าไม่ดำ และไม่มีขนเป็นแผงที่บริเวณส่วนหลัง น้ำหนักตัวเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 200-250 กรัม พบในนาข้าว ไร่ฮ้อยและข้าวโพด



ภาพประกอบที่ ก.17 หนูพุก

โดยสรุปฟันหนูจะมีการเจริญเติบโตได้รวดเร็วมาก(ประมาณ 5 นิ้ว/ปี) ดังนั้นจึงต้องมีการกัดแทะอยู่ตลอดเวลา เพื่อแต่งฟันให้สั้นและคมอยู่เสมอ ปรกติแล้วหนูจะแทะของทุกชนิด ตั้งแต่อาหารไปจนถึงอิฐ คอนกรีต ยาง ไม้ พลาสติก สายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์ เป็นต้น โดยจะเริ่มจาก

บริเวณขอบๆเข้าไปและมักจะมีเศษเล็กๆของสิ่งที่มันแตกหล่นอยู่ที่พื้น ฉะนั้นบริเวณที่ควรสำรวจ รอยตะป่อยๆคือบริเวณประตู หน้าต่าง พื้นฝาผนังสายไฟฟ้าหรือภาชนะบรรจุอาหาร

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)

ภาคผนวก ข.

(ส่งผลทดสอบโดย บริษัท ไทยไฟเบอร์ออปติกส์ จำกัด (TFOC))

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)



MAHIDOL UNIVERSITY

FACULTY OF VETERINARY SCIENCE
(MUFVS)

Salaya, Phuttamonthon
Nakhon Pathom, 73170 THAILAND
Tel: +66 (0) 2441 5235 Fax: +66 (0) 2441 0937

Cable Testing for Rodent Resistance Property
A Report of Contract Research Project # CRP 2016-02R1
For
Thai Fiber Optics Co., Ltd.

Date of Completion: 9th September 2016

Assurance for MUFVS Contract Research Project

"We assure that research outcomes generated for this Contract Research Project are reliable. All tasks involved in the experimental research were carried out by well-trained personnel, under supervision of qualified veterinarian and experienced researcher. Experimental procedures involving the use of laboratory animals were approved by the MUFVS Animal Care and Use Committee."


----- Wantanee Ratanasak, D.V.M., M.Sc., Project Manager


----- Parntep Ratanakorn, D.V.M., M.Sc., Dean of MUFVS

Agreements on the MUFVS Contract Research Project #CRP 2016-02.1

"As a representative of Thai Fiber Optics Co., Ltd., I agree that this Contract Research Project was requested to be conducted involving the use of laboratory animals, and that the project proposal was approved by this company. I acknowledge that MUFVS is the sole owner of the experimental design and testing protocol, and also agree that research outcomes shall not be deviated from its original description when used in future communications by this company."


----- Representative of Thai Fiber Optics Co., Ltd.

Cable Testing Report:
Rodent Resistance Property of
ARSS 24C (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable)

Thai Fiber Optics Co., Ltd.

Reporting Date: September 9, 2016

Testing Facility: Laboratory Animal Unit at Mahidol University Faculty of Veterinary Science,
Salaya, Nakhon Pathom, Thailand.

Rodent Type: Female Wistar Rats (N = 15, weighing 180-193 g)

Testing Period: 14 days (August 20 – September 03, 2016)

Testing Environment and Animal Husbandry Condition: In a conventional laboratory animal facility with sufficiently controlled environment, in accordance with the universal ethical guideline for the care and use of laboratory animals, the rats (National Laboratory Animal Centre) were housed single in stainless-steel hanging cages with tap-water *ad libitum* and rat chows (Perfect Company) *ad libitum* (after overnight fasting and cable placement). The test cable samples were cut to an identical length of 10 cm then wiped clean with 70% ethanol prior to being placed in the cage, one cable sample per cage, on Day 0 (D0). Conditions of each cable were examined and recorded daily for gnawing activity and damage intensity on the cable.

Test Results: *The test cable – ARSS 24C (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable), sustained rodent gnawing activity at a severe damage ratio of 15 to 0, thus exhibited a rodent resistance property at 100% relative resistance.* Rat gnawing activity did not result in destructive damages to the cable during the 14-d testing period as illustrated in Figure 1. Figure 2 shows a delay in the damage progression which limited mainly to non-severe levels throughout the testing period.

Test Analysis and Report by: Wantanee Ratanasak, D.V.M., M.Sc.

Project Manager and Attending Veterinarian: Wantanee Ratanasak, D.V.M., M.Sc.



Figure 1. Damages from rat gnawing activity on ARSS 24C (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable) on Day14. Numerical numbers indicate rat identification.

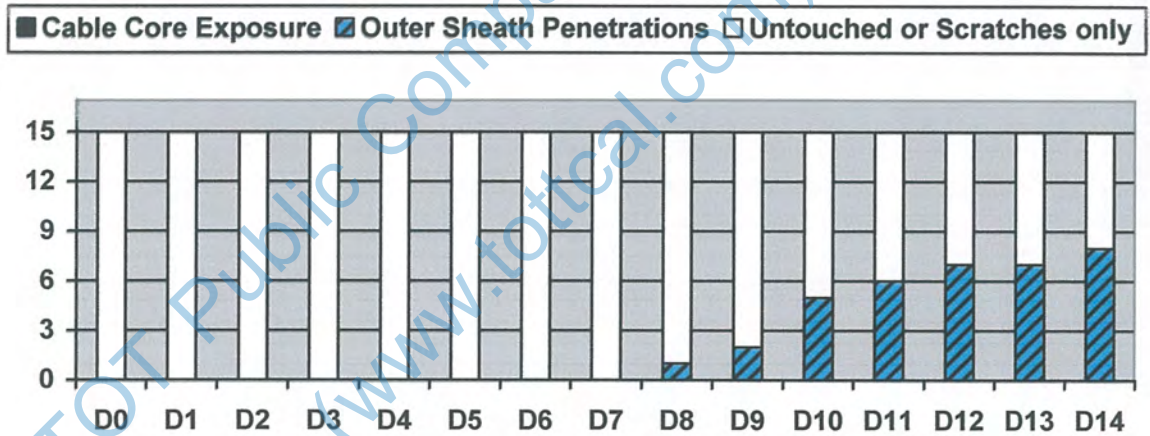


Figure 2. Daily progressive damages on ARSS 24C (Anti-Rodent Self Supporting Fiber Optic Cable). Y-axis shows numbers of cable (of the total of 15) recorded daily. X-axis shows progressing days in the 14-d testing period. Values of the bar-graph are number of cable that had damages from rat gnawing activity in a low level (light solid colored top-bar on Day 0 to 14, untouched or scratches only), a mild level (striped middle-bar on Day 8 to 14, cable outer-sheath penetrations), but not a severe level (dark solid colored bottom-bar) of damage.



MAHIDOL UNIVERSITY

**FACULTY OF VETERINARY SCIENCE
(MUFVS)**

Salaya, Phuttamonthon
Nakhon Pathom, 73170 THAILAND
Tel: +66 (0) 2441 5235 Fax: +66 (0) 2441 0937

Cable Testing for Rodent Resistance Property
A Report of Contract Research Project # CRP 2016-01R2
For
Thai Fiber Optics Co., Ltd.

Date of Completion: 29th July 2016

Assurance for MUFVS Contract Research Project

“We assure that research outcomes generated for this Contract Research Project are reliable. All tasks involved in the experimental research were carried out by well-trained personnel, under supervision of qualified veterinarian and experienced researcher. Experimental procedures involving the use of laboratory animals were approved by the MUFVS Animal Care and Use Committee.”

-----Wantanee Ratanasak, D.V.M., M.Sc., Project Manager

-----Parntep Ratanakorn, D.V.M., M.Sc., Dean of MUFVS

Agreements on the MUFVS Contract Research Project #CRP 2016-01.2

“As a representative of Thai Fiber Optics Co., Ltd., I agree that this Contract Research Project was requested to be conducted involving the use of laboratory animals, and that the project proposal was approved by this company. I acknowledge that MUFVS is the sole owner of the experimental design and testing protocol, and also agree that research outcomes shall not be deviated from its original description when used in future communications by this company.”

-----
(Wannalak Chaokanhe) Representative of Thai Fiber Optics Co., Ltd.

Cable Testing Report:
Rodent Resistance Property of
ADSS 12C (E Glass Yarn & Aramid Yarn + HDPE)

Thai Fiber Optics Co., Ltd.

Reporting Date: July 29, 2016

Testing Facility: Laboratory Animal Unit at Mahidol University Faculty of Veterinary Science,
Salaya, Nakhon Pathom, Thailand.

Rodent Type: Female Wistar Rats (N = 15, weighing 181-196 g)

Testing Period: 14 days (July 04 – July 18, 2016)

Testing Environment and Animal Husbandry Condition: In a conventional laboratory animal facility with sufficiently controlled environment, in accordance with the universal ethical guideline for the care and use of laboratory animals, the rats (National Laboratory Animal Centre) were housed single in stainless-steel hanging cages with tap-water *ad libitum* and rat chows (Perfect Company) *ad libitum* (after overnight fasting and cable placement). The test cable samples were cut to an identical length of 10 cm then wiped clean with 70% ethanol prior to being placed in the cage, one cable sample per cage, on Day 0 (D0). Conditions of each cable were examined and recorded daily for gnawing activity and damage intensity on the cable.

Test Results: *The test cable – ADSS 12C (E Glass Yarn & Aramid Yarn + HDPE), sustained rodent gnawing activity at a severe damage ratio of 8 to 15, thus exhibited a rodent resistance property at 46.67% relative resistance. Rat gnawing activity caused damages to the cable during the 14-d testing period as illustrated in Figure 1. During the testing period, the cable sustained rat gnawing activity as shown in Figure 2.*

Test Analysis and Report by: Wantanee Ratanasak, D.V.M., M.Sc.

Project Manager and Attending Veterinarian: Wantanee Ratanasak, D.V.M., M.Sc.



Figure 1. Damages from rat gnawing activity on Cable ADSS 12C (E Glass Yarn & Aramid Yarn + HDPE) on Day14. Numerical numbers indicate rat identification.

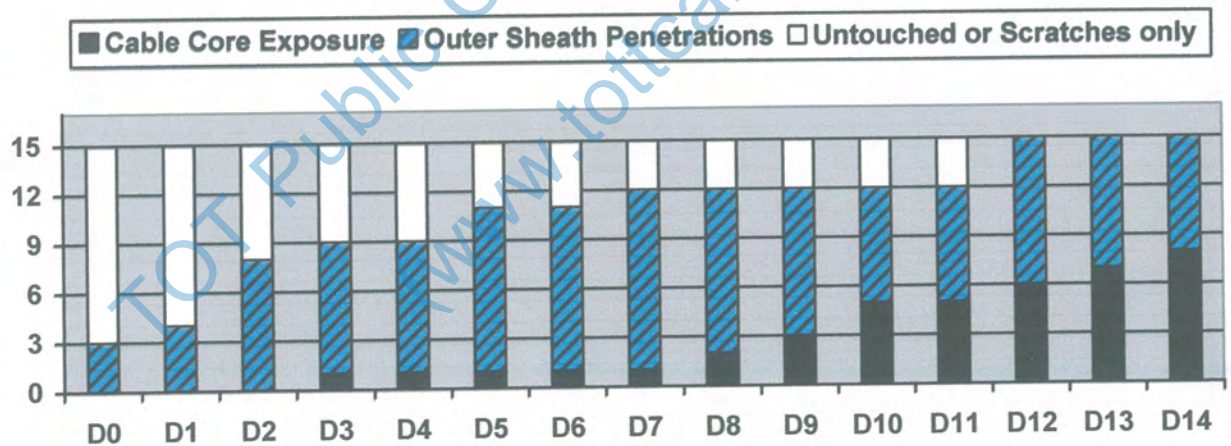


Figure 2. Daily progressive damages on ADSS 12C (E Glass Yarn & Aramid Yarn + HDPE) Cable. Y-axis shows numbers of cable (of the total of 15) recorded daily. X-axis shows progressing days in the 14-d testing period. Values of the bar-graph are number of cable that had damages from rat gnawing activity in a low level (light solid colored top-bar on Day 0 to 11, untouched or scratches only), a mild level (striped middle-bar on Day 0 to 14, cable outer-sheath penetrations), and severe level (dark solid colored bottom-bar) of damage.



MAHIDOL UNIVERSITY

**FACULTY OF VETERINARY SCIENCE
(MUFVS)**

Salaya, Phuttamonthon
Nakhon Pathom, 73170 THAILAND
Tel: +66 (0) 2441 5235 Fax: +66 (0) 2441 0937

Cable Testing for Rodent Resistance Property
A Report of Contract Research Project # CRP 2016-01R1
For
Thai Fiber Optics Co., Ltd.

Date of Completion: 29th July 2016

Assurance for MUFVS Contract Research Project

“We assure that research outcomes generated for this Contract Research Project are reliable. All tasks involved in the experimental research were carried out by well-trained personnel, under supervision of qualified veterinarian and experienced researcher. Experimental procedures involving the use of laboratory animals were approved by the MUFVS Animal Care and Use Committee.”


----- Wantanee Ratanasak, D.V.M., M.Sc., Project Manager


----- Parntep Ratanakorn, D.V.M., M.Sc., Dean of MUFVS

Agreements on the MUFVS Contract Research Project #CRP 2016-01.1

“As a representative of Thai Fiber Optics Co., Ltd., I agree that this Contract Research Project was requested to be conducted involving the use of laboratory animals, and that the project proposal was approved by this company. I acknowledge that MUFVS is the sole owner of the experimental design and testing protocol, and also agree that research outcomes shall not be deviated from its original description when used in future communications by this company.”


----- Representative of Thai Fiber Optics Co., Ltd.
(Wannalak Chaokanha)

Cable Testing Report:
Rodent Resistance Property of
ADSS 12C (E Glass Yarn+HDPE with Rodent Additives 3%)

Thai Fiber Optics Co., Ltd.

Reporting Date: July 29, 2016

Testing Facility: Laboratory Animal Unit at Mahidol University Faculty of Veterinary Science,
Salaya, Nakhon Pathom, Thailand.

Rodent Type: Female Wistar Rats (N = 15, weighing 180-198 g)

Testing Period: 14 days (July 04 – July 18, 2016)

Testing Environment and Animal Husbandry Condition: In a conventional laboratory animal facility with sufficiently controlled environment, in accordance with the universal ethical guideline for the care and use of laboratory animals, the rats (National Laboratory Animal Centre) were housed single in stainless-steel hanging cages with tap-water *ad libitum* and rat chows (Perfect Company) *ad libitum* (after overnight fasting and cable placement). The test cable samples were cut to an identical length of 10 cm then wiped clean with 70% ethanol prior to being placed in the cage, one cable sample per cage, on Day 0 (D0). Conditions of each cable were examined and recorded daily for gnawing activity and damage intensity on the cable.

Test Results: *The test cable – ADSS 12C (E Glass Yarn+HDPE with Rodent Additives 3%, sustained rodent gnawing activity at a severe damage ratio of 10 to 15, thus exhibited a rodent resistance property at 33.34% relative resistance. Rat gnawing activity caused damages to the cable during the 14-d testing period as illustrated in Figure 1. During the testing period, the cable sustained rat gnawing activity as shown in Figure 2.*

Test Analysis and Report by: Wantanee Ratanasak, D.V.M., M.Sc.

Project Manager and Attending Veterinarian: Wantanee Ratanasak, D.V.M., M.Sc.



Figure 1. Damages from rat gnawing activity on Cable ADSS 12C (E Glass Yarn+HDPE with Rodent Additives 3% on Day 14. Numerical numbers indicate rat identification.

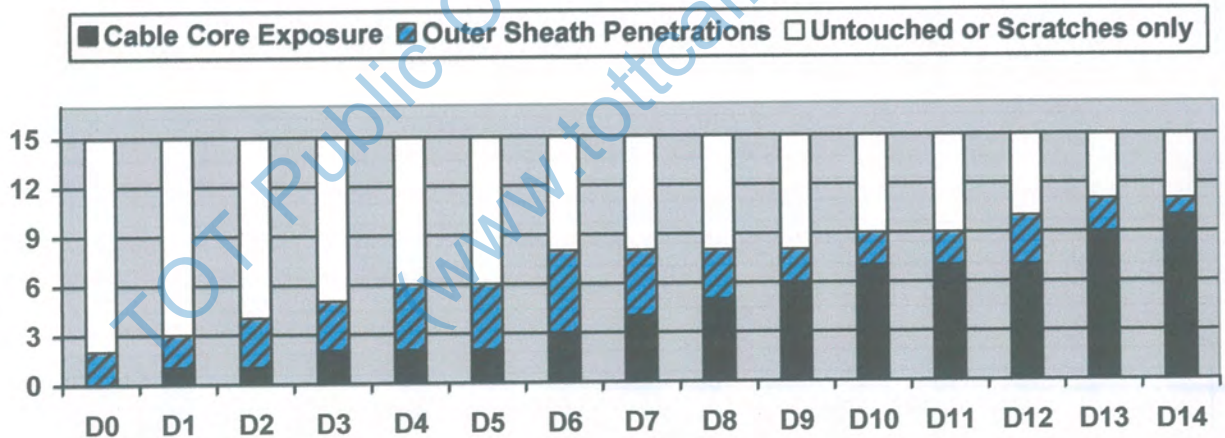


Figure 2. Daily progressive damages on ADSS 12C (E Glass Yarn+HDPE with Rodent Additives 3%) Cable. Y-axis shows numbers of cable (of the total of 15) recorded daily. X-axis shows progressing days in the 14-d testing period. Values of the bar-graph are number of cable that had damages from rat gnawing activity in a low level (light solid colored top-bar on Day 0 to 14, untouched or scratches only), a mild level (striped middle-bar on Day 0 to 14, cable outer-sheath penetrations), and severe level (dark solid colored bottom-bar) of damage.

ภาคผนวก ค.

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)

ADSS CABLE 24C, 48C, 60C CONSTRUCTION

KIND AND SIZE	FRP SIZE (mm)	ARAMID YARN TYPE 3220 Dtex Number of Aramid yarn	TENSILE LOADING TEST (N)
ADSS CABLE 24C	1.8	10 yarns	1800
ADSS CABLE 48C	2.0	8 yarns	1800
ADSS CABLE 60C	2.0	8 yarns	1800

TOT Public Company Limited
(www.tottcal.com)

SHANGHAI XIAOBAO FRP CO., LTD.
TEST REPORT OF FRP STRENGTH MEMBER

Report Date: Jan 25, 2013

Size: 1.8mm

PO Number: PO13-013

Invoice Number: XBHBC13-001

Property	Appearance	Diameter tolerance	Tensile strength at break	Tensile modulus	Elongation at break	Minimum bending radius	
Unit	-	mm	MPa	GPa	%	-	
Specification	Smooth & Even	1.8±2%	≥1100	≥50	≤4	40D, 20±5°C	
Batch No.	Reel No.						
F13-266	166574/79/80/81	Pass	1.79	1421	52.42	2.8	Pass

Report Date: Jan 25, 2013

Size: 2.0mm

PO Number: PO13-013

Invoice Number: XBHBC13-001

Property	Appearance	Diameter tolerance	Tensile strength at break	Tensile modulus	Elongation at break	Minimum bending radius	
Unit	-	mm	MPa	GPa	%	-	
Specification	Smooth & Even	2.0±2%	≥1100	≥50	≤4	40D, 20±5°C	
Batch No.	Reel No.						
F12-1629	152039	Pass	1.98	1361	51.46	2.73	Pass
F12-1713	153270		1.99	1317	52.62	2.61	
F12-1750	153842		1.99	1383	52.44	2.74	
F12-1751	153854		1.99	1323	52.40	2.62	

Checked by: 黎辉

Tester: 吴佛忠

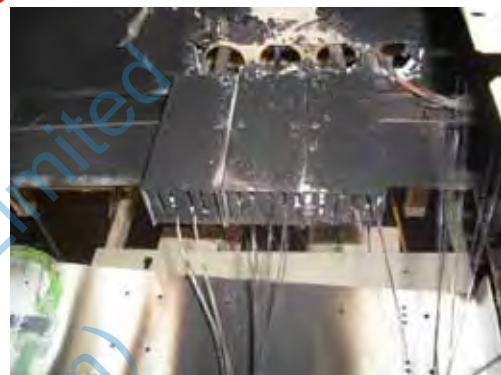


ภาคผนวก ง.

TOT Public Company Limited
(www.totcal.com)



คู่มือการแก้ไขปัญหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
ไฟเบอร์ออฟติก TNEP



ส่วนนวัตกรรมระบบต่อนอกและระบบป้องกัน
สถาบันนวัตกรรมทีโอที จ.ปทุมธานี
บริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน)

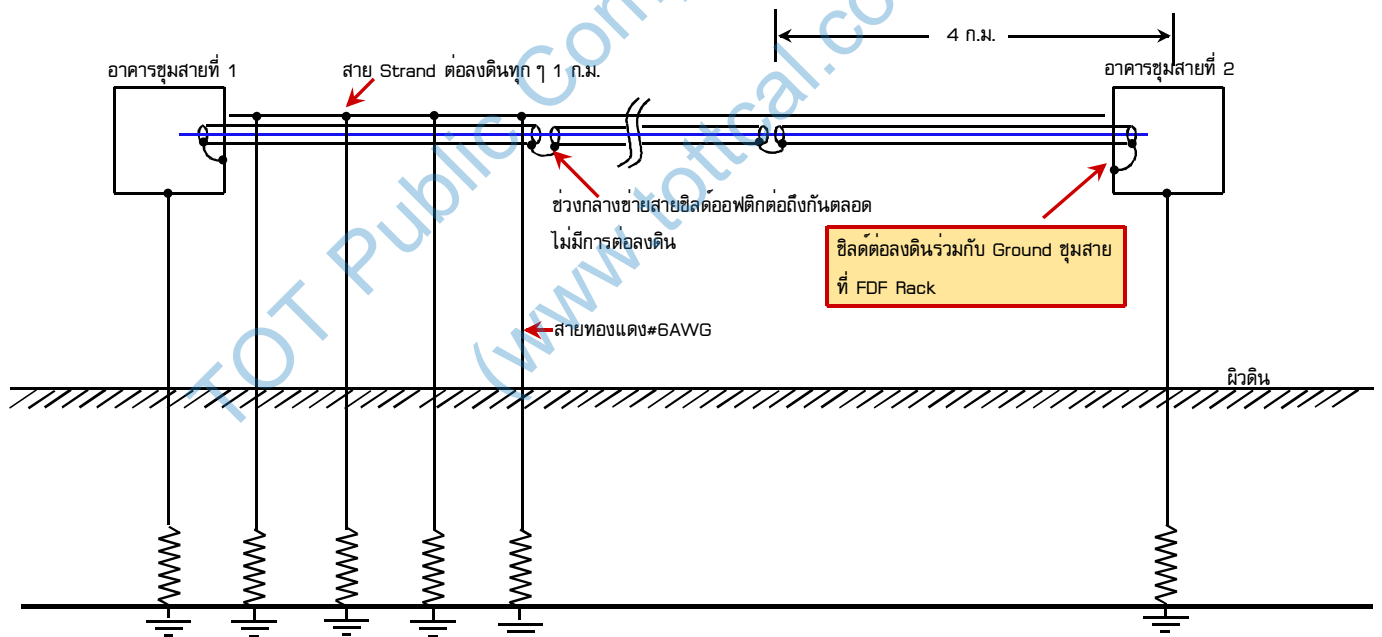
คู่มือการแก้ไขปัญหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำไฟเบอร์ออฟติก TNEP

ปัญหาที่เกิดขึ้น

- 1 มีไฟฟ้าคูดพ่นกงานในขณะที่ปฏิบัติงาน จากการสัมผัสชิลด์ ที่ตำแหน่ง FDF Rack ภายในชุมสาย และที่หัวต่อในช่วงข่ายสายตอนนอก
- 2 เกิดเพลิงไหม้ที่ห้องโทรคมนาคม อันเนื่องมาจากการอาร์กของกระแสไฟฟ้าที่เข้ามาทางชิลด์
- 3 สาย Ground ต่อดิน # 6 AWG ของ Strand เคเบิล ถูกขโมยตัดหายจำนวนมาก

ข้อกำหนดงานเดิมของโครงการ TNEP จะต้องใช้ชิลด์ออฟติกที่เป็นสื่อตัวนำไฟฟ้า(อลูมิเนียมและเหล็ก) โดยมี ข้อกำหนดการต่อดิน ดังนี้

- 1 สาย Strand มีการต่อดินทุกๆ ระยะทาง 1 กิโลเมตร
- 2 ชิลด์มีการต่อกันตลอดความยาว และทำการต่อดินร่วมกับ Ground ชุมสายที่ FDF Rack โดยที่ ช่วงกลางข่ายสายไม่มีการต่อดิน ตามภาพที่ 1
- 3 จะมีหัวต่อเคเบิลห่างกัน 4 ก.ม.(ตามความยาว 1 ระวัง)



ภาพที่ 1 รูปแบบเดิมของการต่อดิน โครงข่าย TNEP

จากการทดลองแก้ปัญหาในพื้นที่ ซึ่งได้มีการทดลองแก้ปัญหาในหลายๆ วิธี สามารถสรุปผลวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมกับโครงข่ายที่เปิดใช้งานแล้วในปัจจุบัน ทำได้ดังนี้ คือ

ในกรณีเคเบิลแขวนอากาศ มีข้อกำหนดงาน ดังนี้

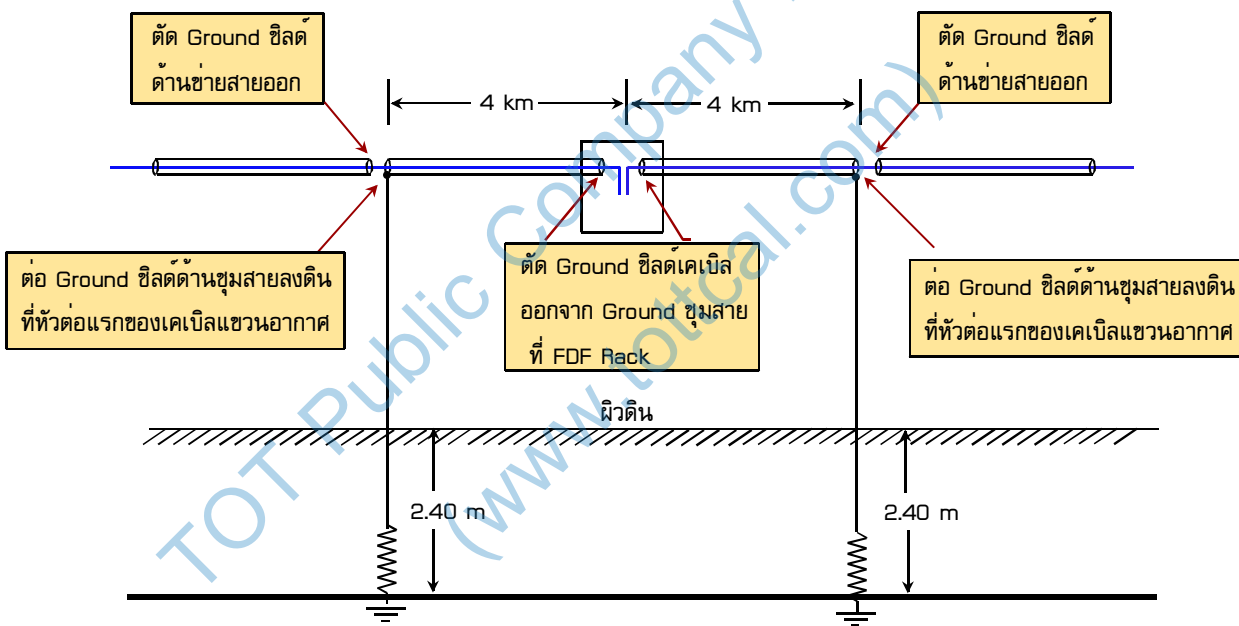
1 การต่อลงดินสาย Strand Cable ให้มีการต่อลงดินทุกๆ 1 กิโลเมตร

โดยเป็นไปตามข้อกำหนดงานเดิม

2 ให้ทำการต่อชิลด์ลงดินเพิ่มในส่วนนี้ โดยการต่อชิลด์ออฟติกที่เป็นสื่อตัวนำไฟฟ้า จะต้องควบคุมไม่ให้เกิด Loop Current ภายในชิลด์เคเบิล โดยกำหนดให้เคเบิล 1 เส้น มีการต่อลงดินเพียงด้านเดียว และให้ทำการต่อลงดินได้เฉพาะที่หัวต่อเท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติออฟติกเคเบิล จะมีหัวต่อ ทุกๆ 4 กิโลเมตร โดยรูปแบบการต่อลงดินจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ข้อปฏิบัติที่ตำแหน่งชุมสาย

1.1 ให้ทำการต่อลงดินที่หัวต่อแรกของเคเบิลแขวนอากาศก่อนเข้าชุมสาย และออกจากชุมสาย ซึ่งเป็นไปตามภาพที่ 2 และทำการปลด Ground ชิลด์ที่ชุมสายออกจาก FDF Rack โดยใช้แผ่นฉนวนกัน และที่หัวต่อลงดินให้ทำการตัด Ground ชิลด์ด้านซ้ายสายออก

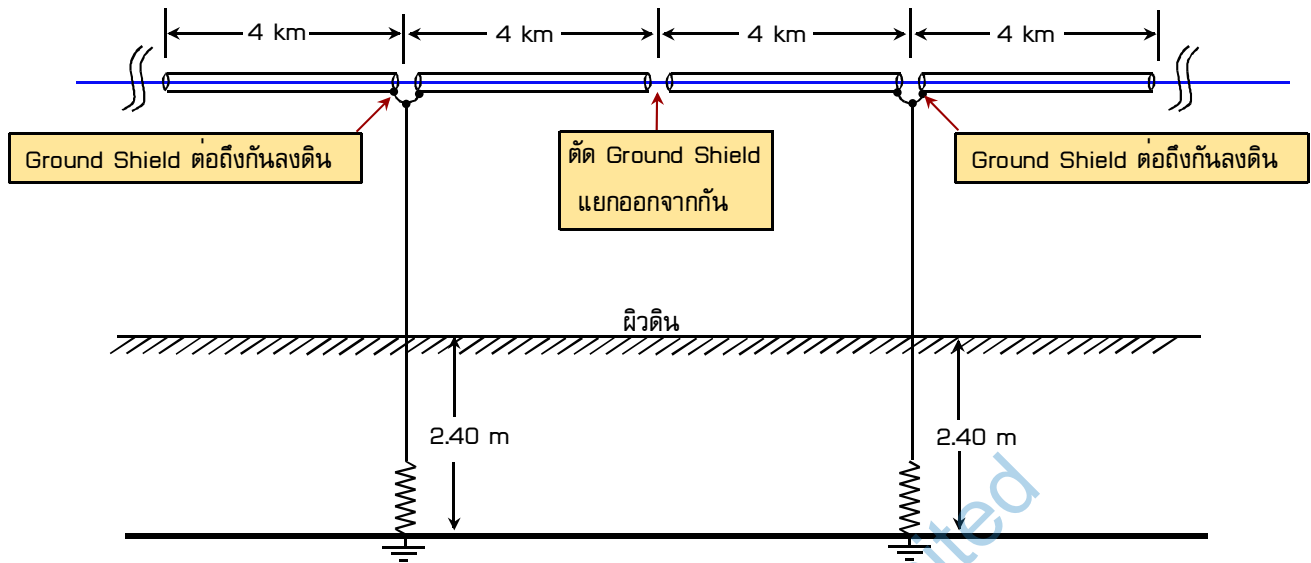


ภาพที่ 2 การต่อลงดินที่หัวต่อแรก ก่อนเข้าชุมสาย

ขั้นที่ 2 ข้อปฏิบัติที่ตำแหน่งช่วงกลางสาย

2.1 ให้ทำการต่อลงดินในรูปแบบตัวที (T) เพื่อเป็นการประหยัดจำนวนหลักดินและสาย Ground ต่อลงดิน (ลงดิน 1 หัวต่อ แล้วเว้นไป 1 หัวต่อ) โดยจะทำการต่อลงดินทุกๆ 8 กิโลเมตร ซึ่งเป็นไปตามภาพที่ 3

2.2 และให้ทำการตัด Ground ชิลด์เคเบิลแยกออกจากกัน ในหัวต่อที่ไม่ได้ต่อลงดิน



ภาพที่ 3 การต่อลงดินของขั้วสายแขวนอากาศ

ข้อควรระวัง

1 การปลดสาย Ground ที่ FDF Rack วิธีการที่ถูกต้อง คือ การปลดล้อยแล้วมีแผ่นฉนวนคั่นระหว่างซิลด์เคเบิลกับผนังตู้เหล็ก ดังในภาพประกอบที่ 3 วิธีการที่ผิด คือ การกลายน้ำอืดหลวมๆ เพราะจะทำให้เกิดการอาร์กของกระแสไฟฟ้า

- 2 การต่อสาย Ground ภายในหัวต่อเคเบิล ในตำแหน่งที่มีการต่อลงดิน ควรขันน็อตให้แน่นแข็งแรง
- 3 การตัดสาย Ground ภายในหัวต่อเคเบิล ในตำแหน่งที่ไม่มีการต่อลงดิน ควรปลดให้แยกออกจากกันให้มากที่สุด

ตารางที่ 1 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้

วัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้	งานสร้างโครงข่ายใหม่	งานแก้ไขปรับปรุงโครงข่ายเดิม	หมายเหตุ 1
1 หลักรดิน(Ground Rod)	- ให้ใช้ Ground Rod ที่มีขนาด ϕ 5/8 นิ้ว ยาว 2.40 เมตร โดยใช้วัสดุเหล็กอบสังกะสี(Galvanized Steel)	- ให้ใช้ Ground Rod ที่มีขนาด ϕ 5/8 นิ้ว ยาว 2.40 เมตร (เหล็กหุ้มปลอกทองแดง) หรือ - ให้ใช้ Ground Rod ที่มีขนาด ϕ 1/2 นิ้ว ยาว 1.50 เมตร โดยการต่อเพิ่มความยาวเป็น 3.00 เมตร	หลักรดินของ Strand Cable และ หลักรดินซิลด์เคเบิล ให้ใช้วัสดุที่มีขนาด และชนิดเดียวกัน
2 สาย Ground ต่อลงดิน	- ให้ใช้สาย Strand # 4 M แทนสาย Ground ทองแดง # 6 AWG	- ให้ใช้สาย Strand # 4 M หรือสาย Strand # 3 M แทนสาย Ground ทองแดง # 6 AWG	สาย Ground ต่อลงดินระหว่าง Strand Cable กับหลักรดิน และ ซิลด์กับหลักรดิน ให้ใช้วัสดุที่มีขนาด และชนิดเดียวกัน
3 การต่อสาย Ground กับหลักรดิน	- ให้ใช้การเชื่อมต่อแบบหลอมละลาย(Exothermic Welding)	- ให้ใช้การเชื่อมต่อโดยใช้การเชื่อมต่อแบบหลอมละลายหรือใช้ U Clamp รัด	ตามภาพประกอบที่ 5
4 ค่าความต้านทานการต่อลงดิน	- กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 โอห์ม หรือที่ความลึกไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร โดยใช้หลักรดินต้นเดียว	- กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 โอห์ม หรือที่ความลึกไม่น้อยกว่า 2.40 เมตร โดยใช้หลักรดินต้นเดียว	
<p>หมายเหตุ2:จากการทดสอบและทำการเปรียบเทียบความเป็นตัวนำของสาย Ground ต่อลงดินระหว่างสายทองแดง # 6 AWG กับสาย Strand # 3 M และ # 4 M ที่ความยาว 5 เมตร เมื่อเทียบกับค่า Ground ที่ 20 โอห์ม ตามมาตรฐาน TOT สรุปได้ว่า</p> <ul style="list-style-type: none"> - ถ้าใช้สายทองแดง # 6 AWG จะทำให้มีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น 6.84 มิลลิโอห์ม หรือคิดเป็น 0.034 % - ถ้าใช้สาย Strand # 3 M จะทำให้มีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น 54.95 มิลลิโอห์ม หรือคิดเป็น 0.275 % - ถ้าใช้สาย Strand # 4 M จะทำให้มีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น 44.49 มิลลิโอห์ม หรือคิดเป็น 0.222 % <p>เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าตัวนำทั้ง 3 ชนิดเมื่อนำมาใช้งานจะทำให้ค่าความต้านทานรวมของระบบเพิ่มขึ้นน้อยมาก(ต่ำกว่า 1 %) ดังนั้น วัสดุที่ใช้งานทั้ง 3 ชนิดสามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ ปัจจัยที่ควรคำนึง คือการลดค่า Ground Resistance มากกว่า</p>			

ตัวอย่างการแก้ไขปัญหาในพื้นที่ จ.นครศรีธรรมราช

ขั้นตอนที่ 1 ตำแหน่งชุมสาย

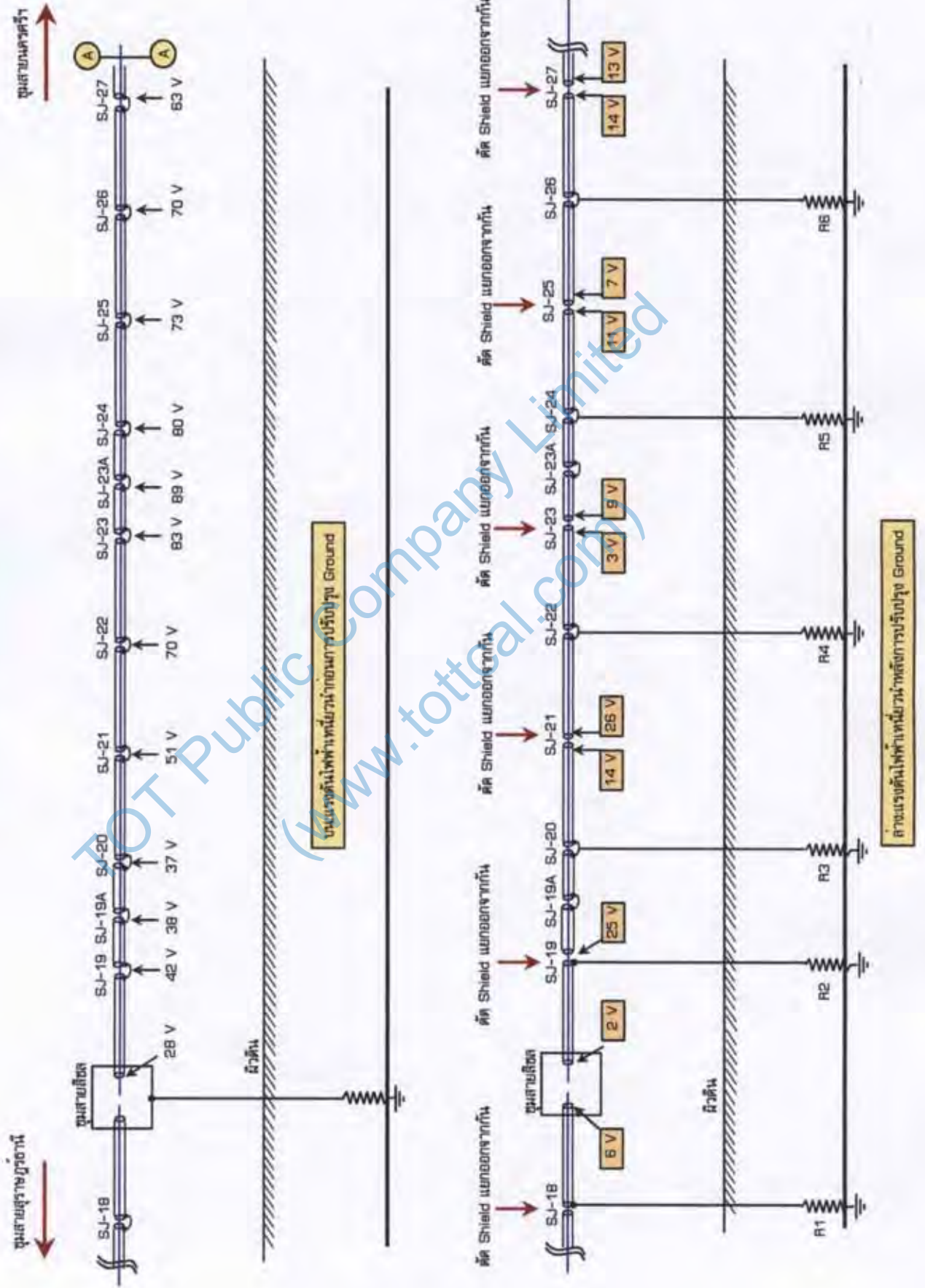
- 1 ให้ทำการต่อลงดินที่หัวต่อแรกของเคเบิลแขวนอากาศก่อนเข้าชุมสาย และตัด Ground ชิดด์ด้านซ้ายสายออก
- 2 ให้ทำการปลด Ground ชิดด์ที่ FDF Rack ออกจาก Ground ชุมสายแล้วใส่แผ่นฉนวนคั่น ตามภาพประกอบที่ 3

ขั้นตอนที่ 2 ตำแหน่งช่วงกลางสายสาย

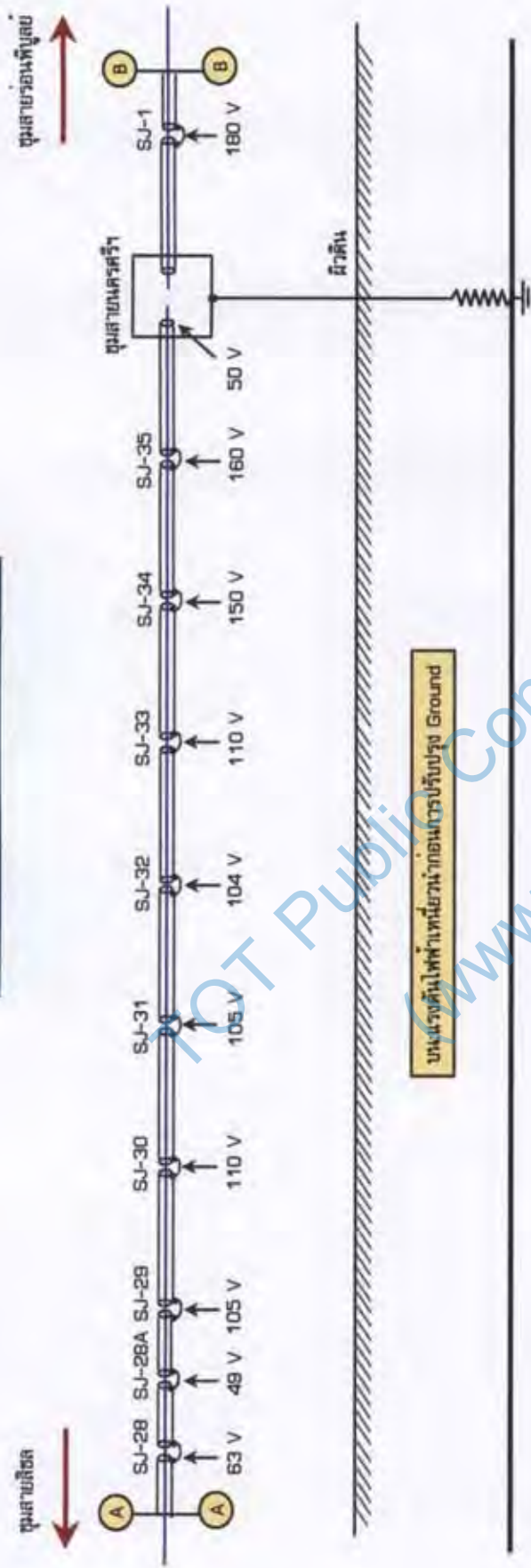
- 1 ให้ทำการต่อลงดินในหัวต่อที่สอง และการต่อ Ground ชิดด์ทั้ง 2 ด้านลงดิน
- 2 ให้ทำการต่อลงดินในหัวต่อที่ 4 (ห่างจากหัวต่อที่สอง 8 กิโลเมตร) โดยเว้นไป 1 หัวต่อ(หัวต่อที่ 3) ที่ไม่ต้องทำการต่อลงดิน และการตัด Ground ชิดด์แยกออกจากในหัวต่อที่ 3
- 3 ให้ปฏิบัติเช่นนี้ ไปตลอดเส้นทางของเคเบิลแขวนอากาศ คือ ทำการต่อ Ground ชิดด์ลงดินใน 1 หัวต่อแล้วเว้นไป 1 หัวต่อ โดยหัวต่อที่เว้นนี้ให้ตัด Ground แยกออกจากกันด้วย

ผลการแก้ไขปัญหาแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งระบบ ในชุมสายลิซล ถึงชุมสายนครศรีฯ(ระยะทางประมาณ 80 กิโลเมตร) และ ชุมสายนครศรีฯ ถึงชุมสาย ร่อนพิบูลย์(ระยะทางประมาณ 40 กิโลเมตร) สามารถดูผลค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำก่อนทำการแก้ไข และหลังจากทำการแก้ไขแล้ว ได้ตามภาพที่ 4-6

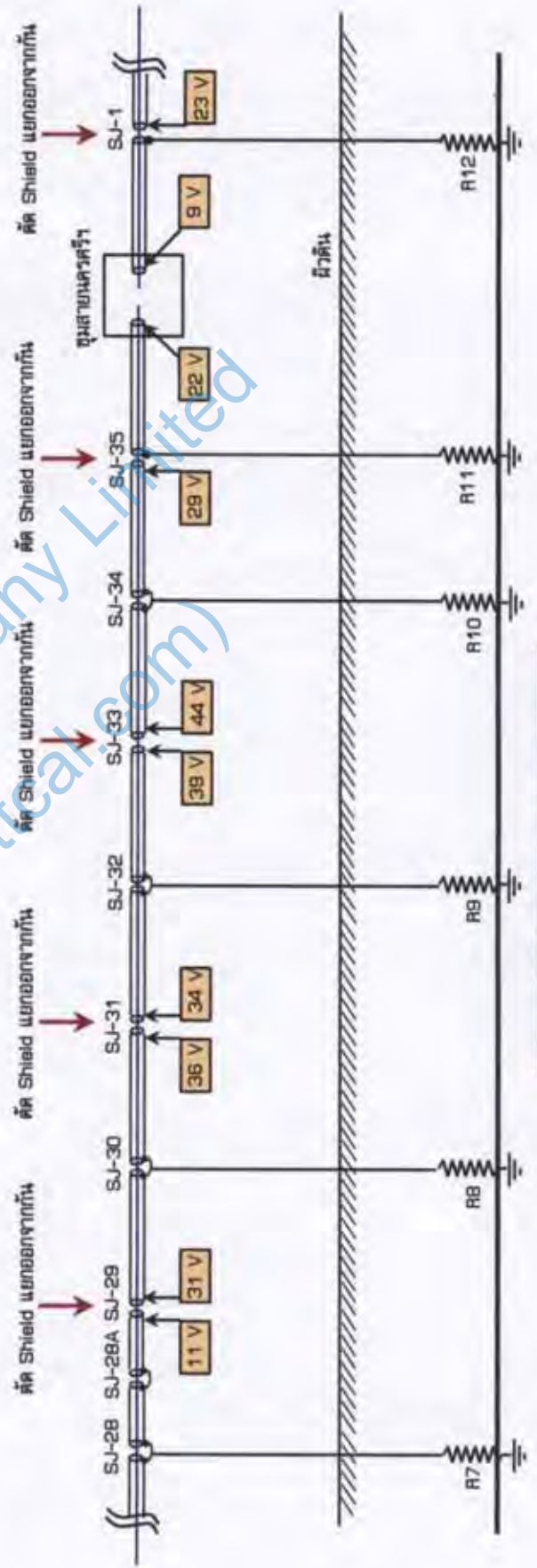
ภาพที่ 4 ผลการแก้ไขระบบ(หน้า-1)



ภาพที่ 5 ผลการแก้ไขทั้งระบบ(หน้า-2)



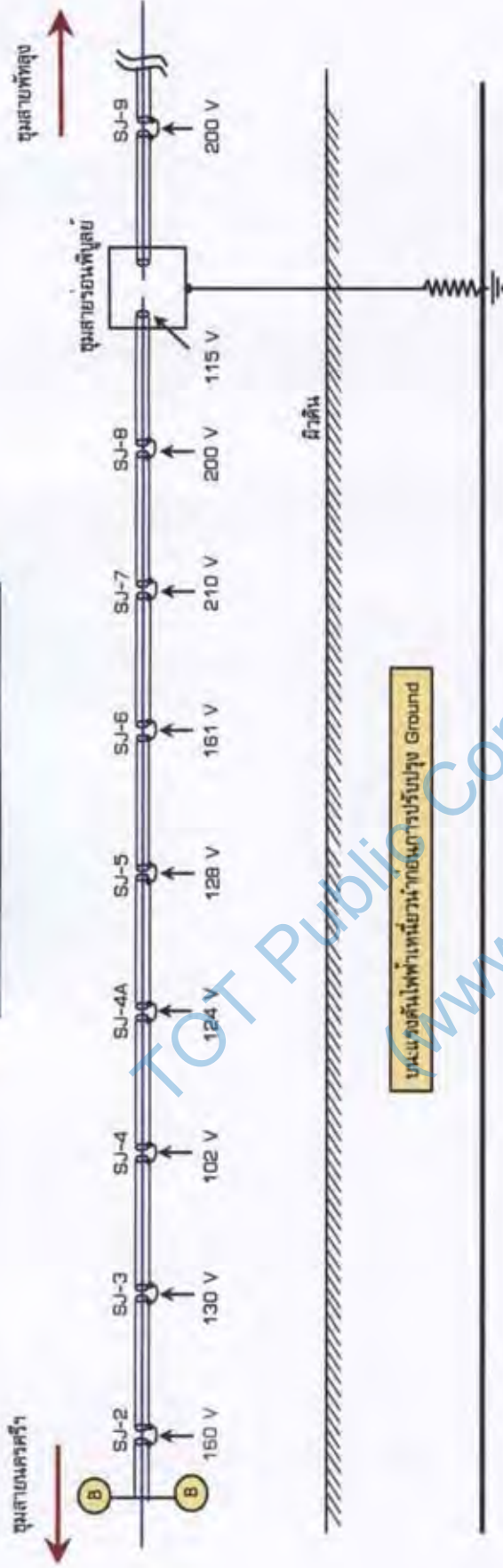
บนแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำก่อนการปรับปรุง Ground



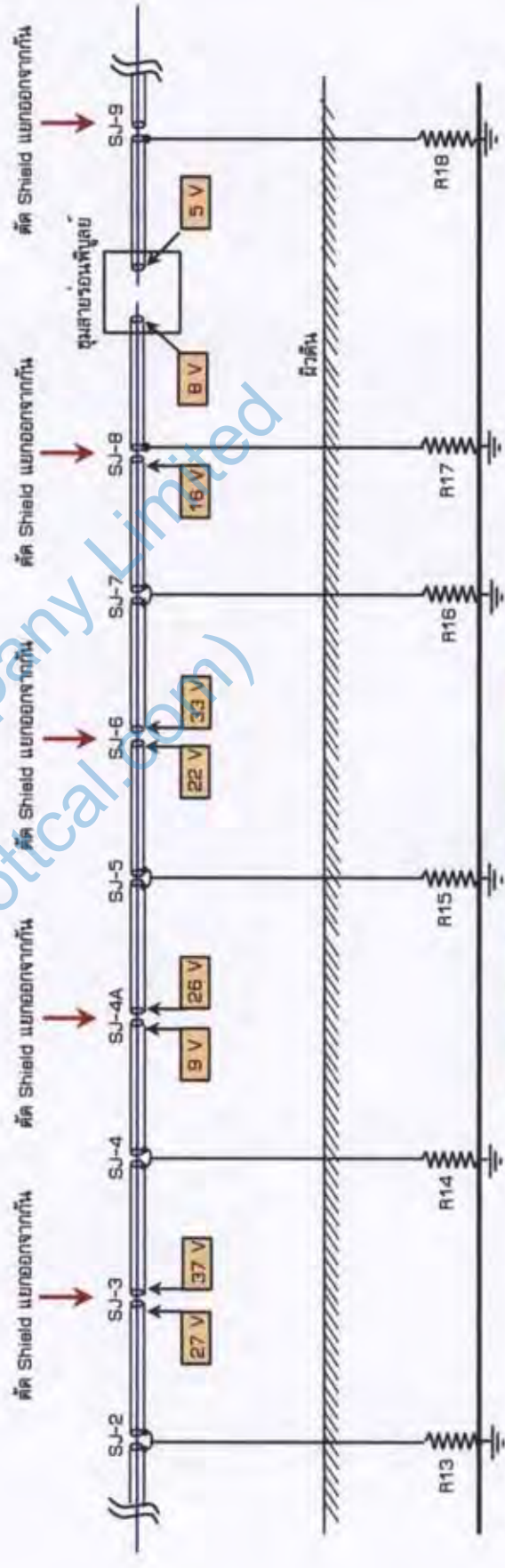
ค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำหลังการปรับปรุง Ground

www.tottca.com

ภาพที่ 6 ผลการแก้ไขทั้งระบบ(หน้า-3)



บนแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวก่อนการปรับปรุง Ground



ค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวหลังการปรับปรุง Ground

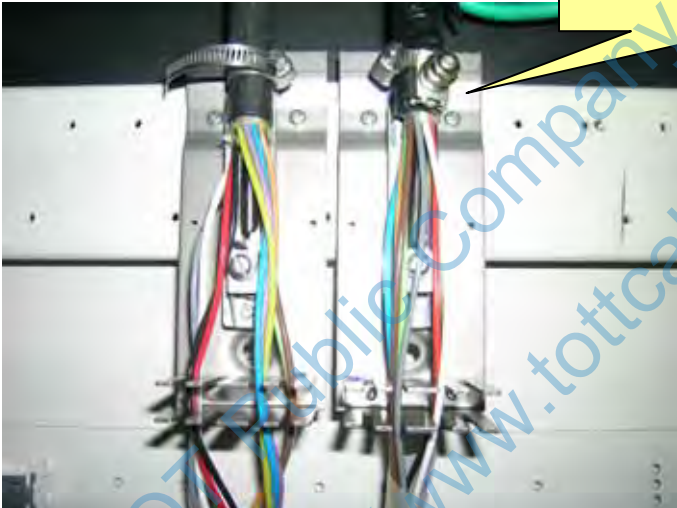
TOT Public Company Limited (www.totcal.com)

ภาพประกอบ



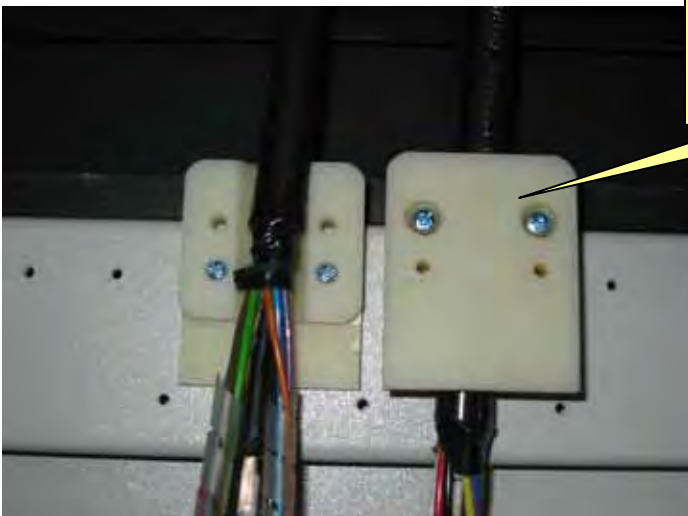
ภาพประกอบที่ 1 ลักษณะหัวต่อออฟติก
ของโครงการ TNEP ที่อยู่
ในห้องโทรคมนาคม

1. ทำการปลด Ground ชิลด์ออฟติก
ออกจาก FDF Rack ที่ชุมสาย



ภาพประกอบที่ 2 รูปแบบเดิมของการต่อ
Ground ชิลด์เข้ากับตู้เหล็ก

2. ใช้แผ่นฉนวนกันระหว่าง
ชิลด์ไม่ให้สัมผัสกับตู้เหล็ก



ภาพประกอบที่ 3 แสดงการแยก Ground ชิลด์
โดยใช้แผ่นฉนวนกัน



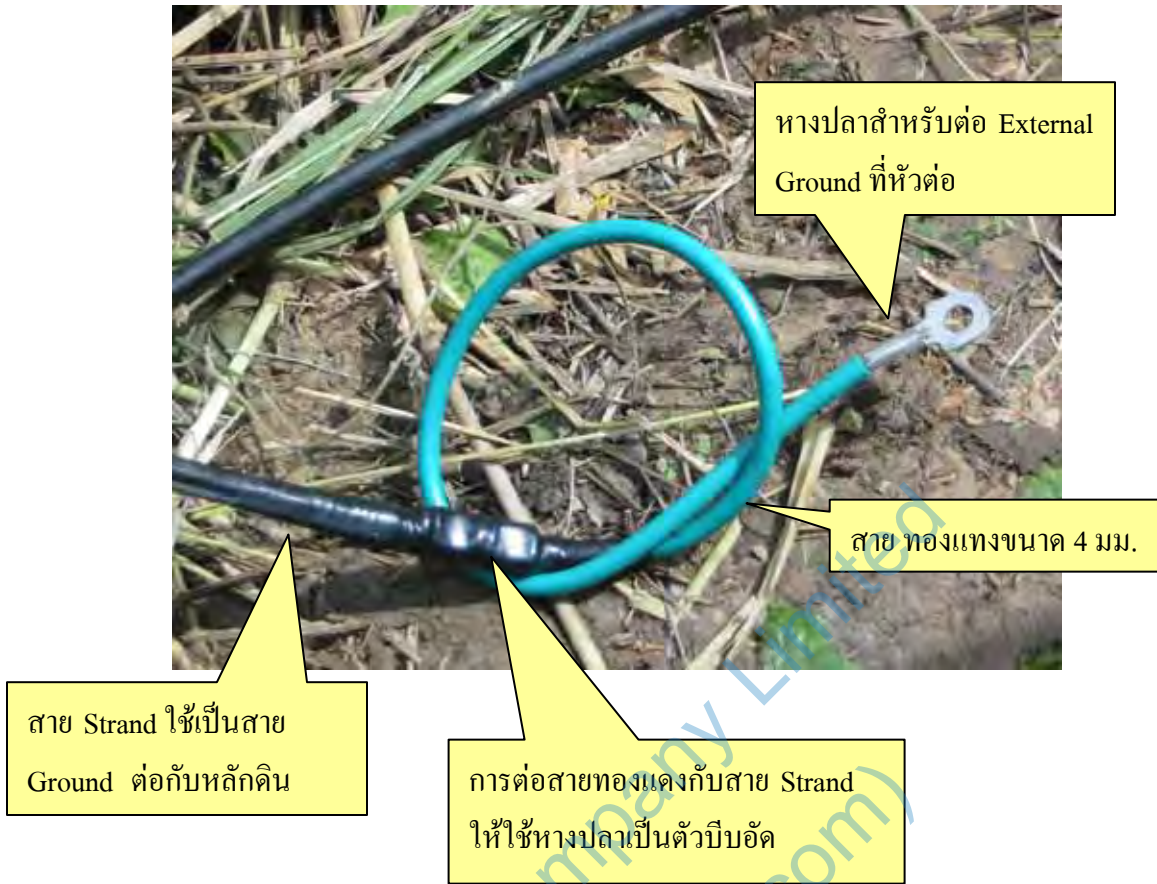
การใช้ก้อนไฟฟ้าเป็น
เครื่องตอกหลักดิน

ภาพประกอบที่ 4 แสดงการใช้ก้อนไฟฟ้าที่ใช้ตอกหลักดิน



การใช้สาย Strand เป็นสาย
Ground ต่อดิ่งดิน และการ
เชื่อมต่อแบบหลอมละลาย
(Exothermic Welding)

ภาพประกอบที่ 5 แสดงการเชื่อมสาย Ground เข้ากับหลักดิน



ภาพประกอบที่ 6 แสดงการต่อสายไฟทองแดงเข้ากับสาย Strand เพื่อต่อซัลด์

สอบถามข้อมูลทางเทคนิคเพิ่มเติมได้จาก

1 ส่วนนวัตกรรมระบบตอนนอกและระบบป้องกัน(ตสล.) จ.ปทุมธานี

- | | |
|----------------------------|----------------------|
| 1 ไชยชนะ ไนยทอง | โทรศัพท์ 0-2581-2417 |
| 2 นายไตรสิทธิ์ สุทธิเดมิย์ | โทรศัพท์ 0-2581-2417 |
| 3 นายยุทธนา ขาวอุบลัมภ์ | โทรศัพท์ 0-2581-2024 |

2 ส่วนจัดการและควบคุมระบบสื่อสัญญาณ(สบบป.)

- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| 1 นายสุรตชนันท์ เพิ่มพูลผลิตผล | โทรศัพท์ 0-2575-9372 |
| 2 นายไพโรจน์ ภัทราดุลย์ | โทรศัพท์ 0-2575-9372 |

.....

เอกสารอ้างอิง

- [1] 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)”
- [2] เอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตร Optical Operation & Maintenance (โครงการ TNEP) แผนกวิชาสายต่อนอก ฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคล บริษัท ทศท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) หน้า 1-26, มีนาคม 2546
- [3] 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)”
- [4] Telephone Organization of Thailand, Outside Plant Standard Sector Specification No. OSE-004-044-01 Issued; March 2009 “Optical Fiber Cable for Access Service (Dropwire Twisted)”
- [5] Telephone Organization of Thailand, Outside Plant Standard Sector Specification No. OSE-004-052-01 Issued; September 2013 “Armoured Optical Fiber Cable for Access Service (Armoured Dropwire Twisted)”
- [6] Characteristics of a Single-Mode Fiber Optic and Cable International Telecommunication Union (ITU-T) Recommendation G.652 (03/2003) pp. 6 -11
- [7] 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)”
- [8] นายสมศักดิ์ ศรีอำพันธุ์ ส่วนวิจัยและพัฒนาเทคนิค ฝ่ายวิจัยและพัฒนา องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย “การสำรวจปัญหาการใช้งานห่วงแขวนสายกระจาย (Dropwire Clamp)” หน้า 5-6, 2543