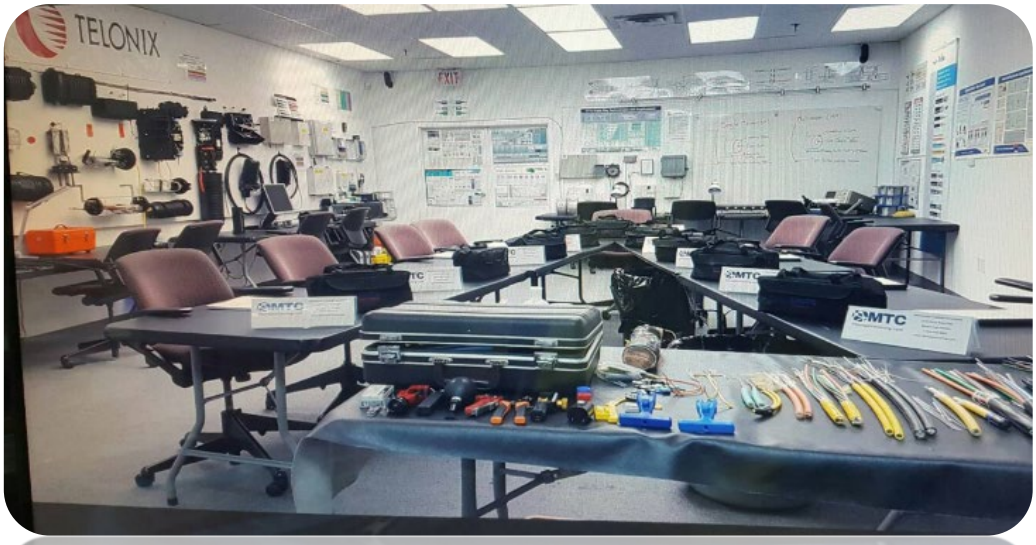
โครงการผลิตและพัฒนาบุคลากรด้านโครงสร้างพื้นฐาน

เพื่อเตรียมความพร้อมสู่ยุคดิจิตอล

Fiber Optics Training Course



Training and Certification

ช่างโครงข่ายใยแก้วนำแสง

คำนิยม

หนังสือความรู้เบื้องต้นสำหรับการติดตั้งและทดสอบเครือข่ายใยแก้วนำแสงนี้ เป็นส่วนหนึ่งของโครงการผลิตและพัฒนาบุคลากรด้านโครงสร้างพื้นฐานเพื่อเตรียมความพร้อมสู่ยุคดิจิทัล โดยสมาคมโทรคมนาคมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ได้รับทุนจากกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมเพื่อประโยชน์สาธารณะ สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ให้ดำเนินโครงการเพื่อยกระดับและปรับความรู้ด้านโครงข่ายใยแก้วนำแสงอันเป็นโครงข่ายหลักสำคัญของระบบสื่อสารในปัจจุบันที่ผสมผสานทั้งแบบมีสายและแบบไร้สาย โดยสมาคมโทรคมนาคมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ได้ลงนามความร่วมมือกับบริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (องค์การมหาชน) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อดำเนินการจัดอบรมยกระดับความรู้และสอบประเมินสมรรถนะความรู้ของช่างโครงข่ายใยแก้วนำแสงและได้จัดทำตำราเรียนนี้ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวางรากฐานองค์ความรู้พื้นฐานทางวิชาการในเรื่องดังกล่าวให้กับนักศึกษา อาจารย์ ช่างฝีมือและประชาชนที่สนใจทั่วไป

หนังสือเล่มนี้มีเนื้อหาครอบคลุมถึงทฤษฎีพื้นฐานสำคัญที่ช่างโครงข่ายใยแก้วนำแสงต้องรู้ ประกอบด้วยความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครือข่ายใยแก้วนำแสง FTTx และอุปกรณ์เครื่องมือที่เกี่ยวข้องสำหรับการปฏิบัติงานติดตั้งและแก้ไขเหมาะสำหรับนักเรียน นักศึกษาที่ต้องการประกอบอาชีพด้านนี้ควรทราบ โดยได้รวบรวมและเรียบเรียงเนื้อหาจากนักวิชาการ และนักปฏิบัติงานมืออาชีพในสาขาชั้นนำของประเทศมาไว้ในเล่มเดียวเพื่อให้เป็นคู่มือสำหรับการประกอบอาชีพต่อไปในอนาคตได้

สมาคมโทรคมนาคมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นหน่วยงานที่ประกอบด้วย สมาชิกทั้งนิติบุคคล และบุคคลทั่วไปในแวดวงอุตสาหกรรมโทรคมนาคมและดิจิทัล ซึ่งมีภารกิจทางด้านวิชาการในการเผยแพร่องค์ความรู้ให้กับสมาชิกและประชาชนทั่วไป ได้เล็งเห็นประโยชน์และคุณค่าของการจัดทำหนังสือภายใต้โครงการนี้ จึงได้ประสานงานกับคณาจารย์ และผู้เชี่ยวชาญทำการเรียบเรียงความรู้ดังกล่าวให้แพร่หลายในวงกว้าง เพื่อเป็นการวางรากฐานของการพัฒนาองค์ความรู้ด้านโครงข่ายโทรคมนาคมอย่างเป็นระบบ

ทั้งนี้ สมาคมโทรคมนาคมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ต้องขอขอบคุณคณาจารย์ และผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่สละเวลาอันมีค่าของทุกท่านจัดทำหนังสือนี้จนแล้วเสร็จด้วยความวิริยะอุตสาหะและมีความตั้งใจจริงในการพัฒนาองค์ความรู้ด้านนี้ให้เกิดประโยชน์กับกิจการโทรคมนาคมของประเทศไทย

สุดท้ายนี้ สมาคมโทรคมนาคมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะมีประโยชน์ต่อการพัฒนาบุคลากรด้านโครงข่ายใยแก้วนำแสงของประเทศ อันจะส่งผลดีต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมโทรคมนาคมในระยะยาวต่อไป

(นายวิเชาวน์ รักพงษ์ไพโรจน์)

นายกสมาคมโทรคมนาคมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

คำนำ

เครือข่ายใยแก้วนำแสงเป็นเครือข่ายพื้นฐานด้านการสื่อสารโทรคมนาคมที่สำคัญของประเทศ อีกทั้งยังมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศอีกด้วยเนื่องจากการสื่อสารโทรคมนาคมเข้ามามีบทบาทอย่างมากในการเป็นเครือข่ายรองรับเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่กำลังเกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายยุคที่ห้า หรือ 5G หรือจะเป็น IoT หรือแม้แต่เทคโนโลยีบล็อคเชน ล้วนแต่ใช้เครือข่ายใยแก้วเป็นเครือข่ายพื้นฐานทั้งนั้น

ช่างเครือข่ายด้านใยแก้วนำแสงถือเป็นบุคลากรแถวหน้าที่สำคัญในการติดตั้ง และซ่อมบำรุงเครือข่ายให้มีการใช้งานได้ดี และเต็มประสิทธิภาพ เพื่อให้การสื่อสารโทรคมนาคมทั้งแบบมีสาย และไร้สายสามารถให้บริการแบบต่อเนื่อง ไม่สร้างความเสียหายต่อธุรกิจ เศรษฐกิจ การศึกษา และอื่น ๆ ที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นโครงข่ายพื้นฐาน

คณะผู้จัดทำได้รวบรวมเนื้อหาที่จำเป็นสำหรับการทำงานของช่างเครือข่ายด้านใยแก้วนำแสงให้เข้าใจถึงหลักการและทฤษฎีสำหรับการปฏิบัติจริงให้มีความถูกต้อง คณะผู้จัดทำหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อช่างเครือข่ายด้านใยแก้วนำแสง บุคลากรด้านใยแก้วนำแสง รวมถึงบุคคลทั่วไปที่สนใจเกี่ยวกับการสื่อสารโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงไม่มากก็น้อย ถ้ามีสิ่งใดในหนังสือเล่มนี้ผิดพลาดหรือบกพล่องไป คณะผู้จัดการกราบขออภัยมาใน ณ ที่นี้ และจะปรับปรุงข้อผิดพลาดดังกล่าวในโอกาสต่อไป

คณะผู้จัดทำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร.อธิคม ฤกษบุตร และท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมมาตร แสงเงิน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในด้านเนื้อหาวิชาการเกี่ยวกับทฤษฎี และหลักการทำงานเบื้องต้นของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ปางค์เพ็ญ เหลืองเอกทินที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เนื้อหาด้านความปลอดภัยในการทำงานต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับเนื้อหาการติดตั้ง และซ่อมบำรุงเครือข่ายใยแก้วนำแสง

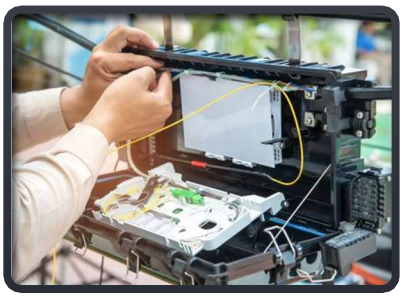
TRAININING

- ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบสื่อสายโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสง
- ความปลอดภัยในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยแก้วนำแสง
- การติดตั้งเคเบิลใยแก้วนำแสง
- Fiber-to-the-x (FTTx)
- การทดสอบการติดตั้งและการทดสอบระบบ

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบสื่อสายโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสง

- เส้นใยแก้วนำแสง
- ทฤษฎีเบื้องต้นของแสง
- ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง และชนิดของเคเบิลใยแก้วนำแสง
- มาตรฐานสีเคเบิลใยแก้ว
- แหล่งกำเนิดแสง และตัวรับแสง
- ดิสเพอร์ชันชนิดต่างๆ

การติดตั้งเคเบิลใยแก้วนำแสง



- การเตรียมสายเคเบิล
- การเตรียมอุปกรณ์การติดตั้ง
- การปอกสายเคเบิล
- การใช้อุปกรณ์การติดตั้งให้ถูกวิธี และการติดตั้งเคเบิลในรูปแบบต่าง ๆ
- การหลีกเลี่ยงอุปสรรคต่าง ๆ ในการติดตั้ง
- การเข้าหัว การตรวจสอบ และการทำความสะอาดคอนเนคเตอร์ที่ถูกต้อง
- อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้ง

การทดสอบการติดตั้ง และการทดสอบระบบ

- การใช้เครื่องมือต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสง
- การใช้ OTDR เพื่อการวัดค่าการลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสง
- การใช้ OTDR เพื่อหาจุดเสีย และระบุเหตุการณ์ต่าง ๆ ในเคเบิลใยแก้วได้
- การคำนวณหาค่าการสูญเสีย การใช้ตัวกำเนิดแสง มิเตอร์วัดกำลังแสง และ VFL ในการตรวจสอบเส้นใยแก้วนำแสง ฯลฯ

ความปลอดภัยในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยแก้วนำแสง

- กฎ หรือมาตรฐานความปลอดภัยในการทำงาน
- การสวมชุดปฏิบัติการที่ถูกต้อง
- อันตรายของแสงเลเซอร์ และสภาพแวดล้อมในการทำงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

FTTx

- หลักการการทำงานของ FTTx
    - ระบบเน็ตเวิร์คแบบ PON (Passive Optical Network)
        - OLT
        - ONU
        - ตัวแยกสัญญาณแสง (Splitter)

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
Module I	1
1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเส้นใยแก้วนำแสง	1
1.1 นิยามและหลักการใช้งานเส้นใยแก้ว	1
1.2 ประวัติความเป็นมา	4
1.3 ข้อดีและข้อด้อยของเส้นใยแก้ว	6
1.4 ประโยชน์และการใช้งานเส้นใยแก้ว	9
1.5 โครงข่ายเส้นใยแก้วและระบบสื่อสารดาวเทียม	18
1.6 ปัจจุบัน และอนาคตของเส้นใยแก้ว	20
2. แสงกับเส้นใยแก้ว	22
2.1 เส้นใยแก้วและพารามิเตอร์เบื้องต้นที่สำคัญ	22
2.2 ชนิดของเส้นใยแก้ว	26
2.3 วัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้ว	32
2.4 การผลิตเส้นใยแก้ว	34
3. สายเคเบิลใยแก้ว	43
3.1 ข้อคำนึงในการออกแบบสายเคเบิลใยแก้ว	43
3.2 การผลิตสายเคเบิลใยแก้ว	45
3.3 การทดสอบสายเคเบิลใยแก้ว	50
3.4 สายเคเบิลใยแก้วแต่ละประเภท	53
3.5 การจัดแบ่งสายเคเบิลใยแก้วตามประเภทการใช้งาน	58
Module II	61
4. Fiber Optic Safety Issues	61
4.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการเกิดอุบัติเหตุและความปลอดภัย	61
4.2 ความสำคัญของอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล และการนำไปใช้	77
4.3 การเลือก และใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล	78
4.4 ชนิดของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล	78
4.5 กฎเกณฑ์และหลักการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานบนที่สูง	86

สารบัญ (ต่อ)

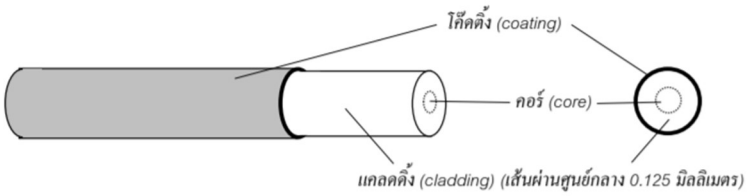
หัวข้อ	หน้า
4.6 การใช้บันไดอย่างปลอดภัย	89
Module III	95
5. Fiber Optic Cable Installation	95
5.1 การสำรวจเพื่อการติดตั้ง	95
5.2 งานติดตั้งสายเคเบิลอากาศ (Aerial Installation)	95
ภาคผนวก A	133
ภาคผนวก B	149
ภาคผนวก C	155
ภาคผนวก D	159
Module IV	166
6. OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer)	166
6.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่อง OTDR	167
6.2 สายใยแก้วนำแสงหรือสาย Fiber Optic	180
6.3 หัวต่อแบบ SC/APC (SC Connectors)	181
Module V	202
7. FTTX	202
7.1 APON	206
7.2 EPON	207
7.3 GPON	209
ใบงาน Optical Fiber	212
ใบงานที่ 1	212
ใบงานที่ 2	215
ใบงานที่ 3	218
ใบงานที่ 4	221
ใบงานที่ 5	246
ใบงานที่ 6	251

Module I:

1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเส้นใยแก้วนำแสง

1.1 นิยามและหลักการใช้งานเส้นใยแก้ว

เส้นใยแก้ว หมายถึง เส้นใยโปร่งแสงทรงกระบอกตันขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยทั้งเส้นประมาณ 125 ไมครอน (ไมโครเมตร) หรือ 0.125 มิลลิเมตร (ขนาดเล็กกว่าเส้นผมเล็กน้อย) โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้วมักเป็นสารประกอบประเภทซิลิกา หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งก็คือแก้วบริสุทธิ์ เนื้อแก้วนี้อาจถูกเจือ (doped) ด้วยสารหรือวัสดุบางอย่าง ที่สามารถควบคุมอัตราการเจือได้ เพื่อทำให้แก้วมีค่าดรรชนีหักเหของแสง (refractive index) ตามต้องการ โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยแก้วประกอบด้วยวัสดุโปร่งแสงสองชั้น โดยในแนวแกนกลางของเส้นใยแก้วซึ่งเรียกทับศัพท์ว่า คอร์ (core) จะมีค่าดรรชนีหักเหสูงกว่าส่วนที่อยู่โดยรอบที่ห่างจากแกนกลางออกไป ซึ่งส่วนหลังนี้เรียกว่า แคลดดิ้ง (cladding) หรือบางคนอาจเรียกสั้นๆ ว่า แคลด (clad) ทั้งสองส่วนนี้ ถ้ามองด้วยตาเปล่าหรืออาจใช้แว่นขยายธรรมดาส่องดูจะแยกไม่ออกเลย โดยจะเห็นเสมือนเป็นเนื้อแก้วชนิดเดียวกัน



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของเส้นใยแก้ว หรือเส้นใยนำแสง (Optical Fiber)

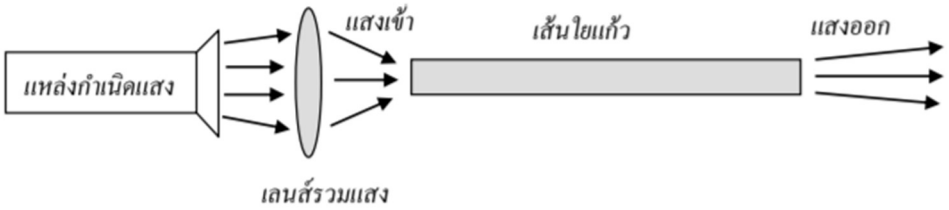
ส่วนของเส้นใยแก้วที่เป็นเนื้อแก้วนี้ เรียกว่า เส้นใยแก้วเปลือย (bare fiber) จะมีความเปราะบางมาก เนื่องจากมีขนาดเล็กเท่าเส้นผม จึงต้องทำการเคลือบผิวของมันด้วยสารประเภทซิลิโคน โพลีเมอร์ หรือพลาสติกบางๆ ซึ่งส่วนนี้ มักเรียกทับศัพท์ว่า โค๊ดติ้ง (coating) หรือ แจ็กเก็ต (jacket) เส้นใยแก้วที่เคลือบผิวด้วยโค๊ดติ้งจะมีความแข็งแรงมาก สามารถรับน้ำหนักและแรงกระแทกธรรมดาได้พอสมควร กล่าวคือ สามารถจับโยน และดัดโค้งงอเป็นวงเล็กๆ ได้โดยไม่ทำให้เส้นใยแก้วแตกหรือหักเลย ในการนำเส้นใยแก้วมาใช้งานจะต้องทำให้เส้นใยแก้วมีความแข็งแรงมากกว่านี้ โดยบรรจุเส้นใยแก้วไว้ภายในส่วนที่ป้องกันแรงกระแทก แล้วจัดโครงสร้างให้มีลักษณะเป็นสายเคเบิลเหมือนสายไฟฟ้า ซึ่งในส่วนนี้ก็จะใช้เทคโนโลยีของสายไฟฟ้าทั่วไป หากต้องการรวบรวมเส้นใยแก้วหลายๆ เส้นเข้าด้วยกัน ก็ทำเป็นลักษณะของสายเคเบิลเส้นใหญ่ๆ ซึ่งสายเคเบิลเส้นหนึ่ง อาจมีเส้นใยแก้วตั้งแต่หลายสิบเส้นจนถึงหลายร้อยเส้นเลยก็ได้ โดยสีของโค๊ดติ้งจะบอกให้ทราบถึงลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันของเส้นใยแก้วแต่ละเส้นที่อยู่ภายในเคเบิลเส้นเดียวกันได้ ดังนั้น ใน

บางครั้งเราจึงเห็นเส้นใยแก้ว มีสีต่าง ๆ เช่น ฟ้า ส้ม เขียว น้ำตาล ขาว ฯลฯ ซึ่งก็คือสีของโค้ดติ้งนั่นเอง ซึ่งโดยปกติแล้วตัวเส้นใยแก้วเองจะใส ไม่สี ทั้งนี้ก็เพื่อต้องการให้มีความบริสุทธิ์ในเนื้อสารที่ใช้ ทำเส้นใยแก้วนั่นเอง

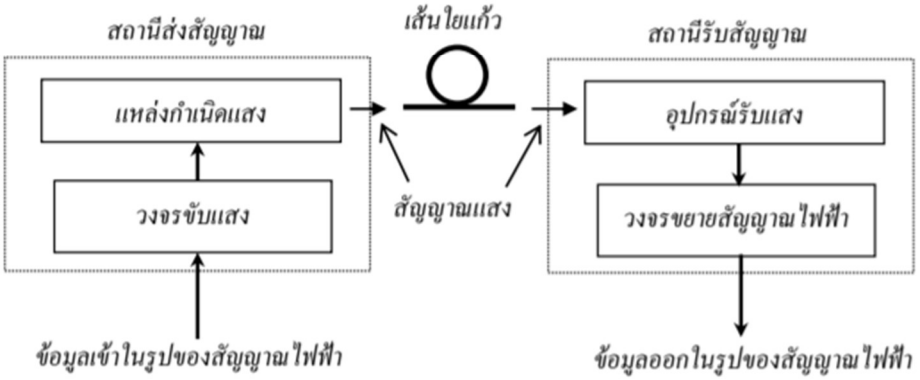
การที่เส้นใยแก้วสามารถนำสัญญาณแสงได้ดี ไม่เพียงเพราะว่าตัวมันเองมีคุณสมบัติโปร่งแสงเท่านั้น แต่ยังเกิดจากโครงสร้างของเส้นใยแก้ว ที่มักกำหนดให้เส้นใยแก้วมีค่าดรรชนีหักเหของคอร์มากกว่าค่าดรรชนีหักเหของแคลดดิ้งเล็กน้อย ทำให้ เกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด (TIR: Total Internal Reflection) ของแสงที่เดินทางอยู่ภายในส่วนคอร์ ส่งผลให้แสงทั้งหมดสามารถเดินทางอยู่ภายในเส้นแก้ว โดยไม่สะท้อนออกไปนอกเส้นทาง และเมื่อแก้วที่ใช้เป็นแก้วบริสุทธิ์ เลยมีผลทำให้แสงส่วนใหญ่เดินทางผ่านไปได้ด้วยดีและเดินทางได้ไกล ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเส้นใยแก้ว การที่เส้นใยแก้วแสดงพฤติกรรมของการเป็นท่อนำสัญญาณแสงได้ดีมาก เนื่องจากมีค่าการลดทอนสัญญาณแสงต่ำ (low attenuation) ในปัจจุบันสามารถผลิตเส้นใยแก้วให้มีค่าการลดทอนสัญญาณแสงต่ำๆ โดยมีค่าน้อยกว่า 0.01 dB/km (0.01 ดีบีต่อกิโลเมตร หมายความว่า เมื่อแสงเดินทางไปในเส้นใยแก้วที่มีระยะทาง 1 กิโลเมตร จะสูญเสียกำลังงานไปประมาณ 0.23%) ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ งานด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแสงได้อย่างมีประโยชน์มากมาย อย่างไรก็ตาม ค่าการลดทอนสัญญาณแสงของเส้นใยแก้ว จะมีค่าขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงหรือสีของแสงที่เดินทางผ่านเนื้อแก้วนั้น โดยที่ค่าความยาวคลื่นที่ 1.3 และ 1.55 ไมครอน จะเกิดการสูญเสียสัญญาณน้อย ทำให้แสงเดินทางไปได้ไกล ดังนั้น ระบบสื่อสารจึงนิยมใช้ความยาวคลื่นแสงเหล่านี้

เส้นใยแก้วมีชื่อเรียกแตกต่างกันหลายชื่อตามลักษณะการทำงานของมัน เช่น เส้นใยแก้วนำแสง และเส้นใยนำแสง (บางคนจะเรียกสั้นๆ ว่าเส้นใยแสง) เป็นต้น นอกจากนี้ในบางครั้งอาจเรียกทับศัพท์ว่า ออปติกไฟเบอร์ (optic fiber) ออปติคอล ไฟเบอร์ (optical fiber) หรือ ไฟเบอร์ออปติก (fiber optic) เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้น บางคนอาจสงสัยว่า คำว่า fiber กับ fibre แตกต่างกันอย่างไร ความจริงแล้วทั้งสองคำ มีความหมายและการใช้งานที่เหมือนกัน เพียงแต่คำว่า fiber เป็นการสะกดแบบอเมริกัน ในขณะที่ fibre เป็นการสะกดแบบอังกฤษ

เนื่องจากเส้นใยแก้วมีคุณสมบัติในการนำสัญญาณแสงได้ดี การนำเส้นใยแก้วมาประยุกต์ใช้งานจึงเกี่ยวข้องกับแสงโดยตรง ในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการใช้งานเส้นใยแก้วพื้นฐาน อาจพิจารณาได้จากรูปที่ 1.2(ก) ซึ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงใดๆ (เช่นแสงจากหลอดไฟ) ส่องเข้าไปในเส้นใยแก้ว เนื่องจากเส้นใยแก้วมีขนาดเล็กมาก ทำให้แสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดที่มีขนาดใหญ่กว่าตัวมันมากๆ ไม่สามารถเข้าไปในเส้นใยแก้วได้หมด จึงอาจใช้เลนส์รวมแสง (เช่นเลนส์นูน) เพื่อให้แสงส่วนใหญ่หรือทั้งหมดเข้าไปในเส้นใยแก้วแสงที่เดินทางอยู่ภายในเส้นใยแก้วจะมีแนวการเดินทางตามลักษณะทางกายภาพของเส้นใยแก้ว ไม่ว่าเส้นใยแก้วจะโค้งงอในลักษณะใดก็ตาม จนกระทั่งถึงปลายอีกด้านหนึ่ง แสงก็จะถูกส่งออกมา การใช้งานแบบนี้มักมีให้เห็นในทางการแพทย์ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.4.1



(ก) หลักการพื้นฐานทั่วไป



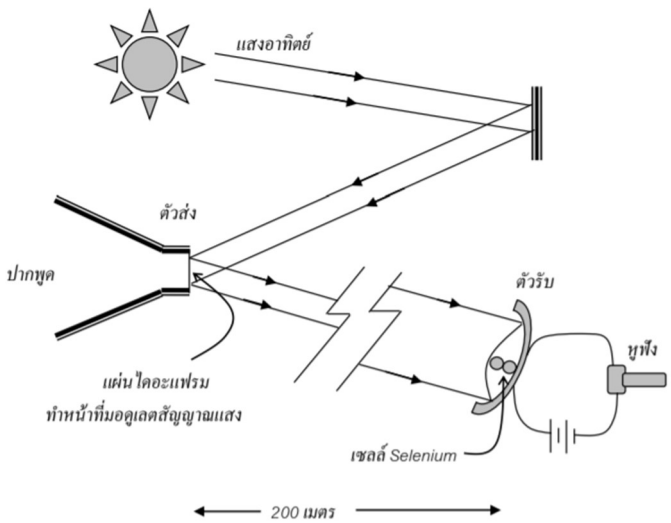
(ข) ระบบสื่อสารที่ใช้เส้นใยแก้วเป็นตัวกลางนำข้อมูลที่ส่งไปพร้อมกับสัญญาณแสง

รูปที่ 1.2 หลักการใช้งานเส้นใยแก้ว

รูปที่ 1.2(ข) เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งในการนำเส้นใยแก้วมาใช้ร่วมกับกับระบบการสื่อสารข้อมูล จะเห็นว่ารูปแบบการใช้งานมีการเพิ่มเติมจากรูปที่ 1.2(ก) กล่าวคือ แหล่งกำเนิดแสงจะถูกควบคุมด้วยวงจรขับแสงให้มีค่าความสว่างหรือความเข้มแสง ที่มีรูปแบบแน่นอนตามสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา สัญญาณไฟฟ้านี้ มักเป็นข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารในระบบสื่อสารทางไฟฟ้าทั่วไป การกระทำเช่นนี้ เรียกว่าการมอดูเลต (modulate) ซึ่งก็คือการทำให้ข้อมูลสามารถเดินทางร่วมไปกับสัญญาณแสงตลอดเวลาที่แสงเดินทางได้ สัญญาณแสงที่บรรจุข้อมูลทางไฟฟ้า (หรือเรียกว่าข้อมูลแสง) ที่ออกจากเส้นใยแก้ว จะถูกตรวจจับและแปลงรูปกลับให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับแสงก่อนถูกส่งผ่านวงจรขยาย เพื่อให้ได้สัญญาณข้อมูลทางไฟฟ้าที่พร้อมใช้งานต่อไป จากตัวอย่างในรูปที่ 1.2(ข) จะเห็นว่าระบบสื่อสารด้วยแสงมีหลักการทำงานคล้ายกับระบบสายเคเบิลทางไฟฟ้าที่ใช้กันมานานแล้ว เพียงแต่ส่วนของตัวนำข้อมูลไฟฟ้าด้วยสายเคเบิลทองแดงถูกเปลี่ยนให้เป็นระบบของเส้นใยแก้วนั่นเอง ในรูปที่ 1.2(ข) ภาพแสดงเส้นใยแก้วที่เป็นแนวเส้นและมีวงกลมอยู่ด้านบน ถือเป็นสัญลักษณ์ที่เป็นที่เข้าใจกันว่าหมายถึงเส้นใยแก้ว ซึ่งสัญลักษณ์นี้ จะพบได้บ่อยครั้งในบทความวิชาการตามวารสารวิจัยระดับนานาชาติทั่วไป สำหรับแนวเส้นนี้ อาจเป็นเส้นตรงหรือโค้งก็ได้ ส่วนของวงกลมด้านบนอาจมีได้มากกว่าหนึ่งวง ถ้ามีหลายวงจะวาดเรียงซ้อนกัน

1.2 ประวัติความเป็นมา

การนำแสงมาใช้ในการสื่อสารข้อมูลมีกำเนิดมานับแต่อดีตกาล นับตั้งแต่มนุษย์ เริ่มรู้จักที่จะบังคับแสง เช่น การใช้พลุสัญญาณ การส่งสัญญาณด้วยไฟของชาวเขาและอินเดียนแดง เรื่อยไปจนถึงการสะท้อนแสงด้วยวัสดุเรียบมันวาวหรือกระจกเงาสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ลักษณะการสื่อสารข่าวสารข้อมูลแบบดั้งเดิมนี้ แสงจะเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ ทำให้ประสบปัญหาในการนำข้อมูลเพราะแสงเดินทางเป็นเส้นตรง แนวการเดินทางจะต้องไม่มีอุปสรรคขวางกั้น อีกทั้งในช่วงที่แสงเดินทางอาจประสบกับสภาพอากาศที่ถูกเจือด้วยฝุ่นละอองเหล่านี้ล้วนทำให้แสงไม่สามารถนำข่าวสารไปได้ไกล ความพยายามที่จะสร้างแนวทางเดินให้แสงเดินทางในทิศทางที่กำหนดได้ เริ่มมีให้เห็นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2397 (ค.ศ. 1854) ในการทดลองจัดให้แสงสะท้อนไปมาตามลำน้ำเล็กๆ ที่ปล่อยให้ไหลออกมาจากรูเล็กๆ ในปี พ.ศ. 2453 (ค.ศ. 1910) เริ่มมีการนำโลหะทรงกระบอกมาใช้ในการนำสัญญาณที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดแนวความคิดที่จะสร้างท่อนำสัญญาณแสงขึ้นมา โดยการใช้ท่อกลวงที่เคลือบผิวด้านในด้วยโลหะที่เป็นมันวาว เมื่อแสงถูกส่งเข้าไป ก็จะเดินทางตามแนวของท่อโดยสะท้อนไปมาระหว่างผิวด้านในของท่อจนออกสู่ปลายทางได้ วิธีนี้แม้ว่าจะใช้ในการควบคุมแนวการเดินทางของแสงได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงแนวเส้นตรง แต่ก็ยังมีค่าการลดทอนสัญญาณแสงสูง เพราะแสงยังคงเดินทางผ่านอากาศอยู่ ต่อมาได้มีการพยายามที่จะบรรจุก๊าซร้อนบางชนิดเข้าไปท่อเพื่อลดค่าการลดทอนสัญญาณแต่ก็ไม่ประสบผลสำเร็จมากนัก



รูปที่ 1.3 โทรศัพท์แสงที่สร้างโดยเบลล์

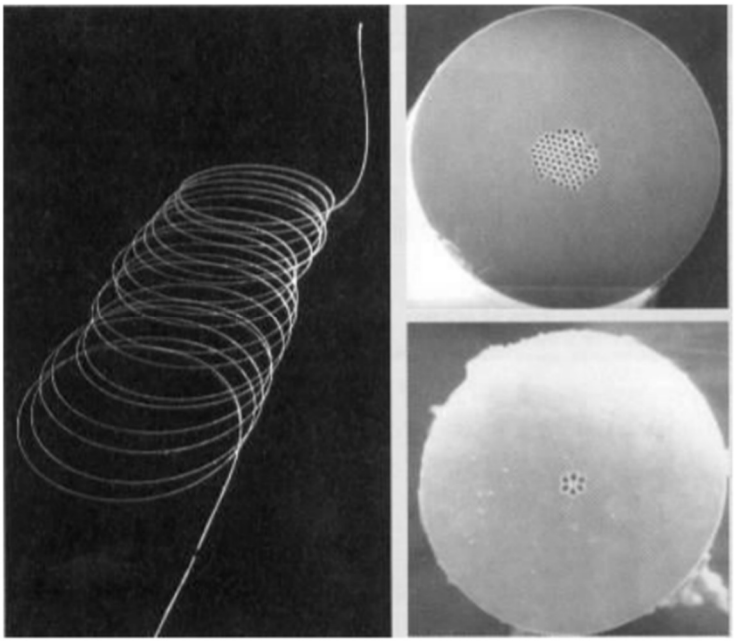
ในเชิงวิศวกรรมการสื่อสาร ก็มีรายงานมานานกว่าร้อยปีมาแล้ว ในปี พ.ศ. 2423 (ค.ศ. 1880) อเล็กซานเดอร์ เกรแฮมเบลล์ (Alexandre Graham Bell) ผู้คิดประดิษฐ์ระบบโทรศัพท์ ได้กล่าวถึงแนวการส่งข้อมูลด้วยโทรศัพท์แสง [1] ในปี พ.ศ.2473 (ค.ศ. 1930) เริ่มมีการนำเส้นแก้วเล็กๆ มามัดรวมกันเป็นท่อที่ใหญ่ขึ้น เพื่อใช้นำแสงจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ทำให้เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลด้วยแสงเริ่มเป็นที่สนใจใน

เวลาต่อมา ดังเช่นงานวิจัยในเอกสารอ้างอิงที่ [2] และ [3] ในปี พ.ศ. 2491 (ค.ศ. 1948) และโครงสร้างของการใช้เส้นแก้วเล็กๆ มามัดรวมเป็นเส้น ได้ถูกพัฒนาให้ใช้ได้ดีกับอุปกรณ์ที่เรียกว่าเอ็นโดสโคป (Endoscope) ที่ใช้นำสัญญาณภาพในรูปของแสงในปี พ.ศ. 2493 (ค.ศ. 1950)

ในส่วนของท่อนำสัญญาณแสงที่มีโครงสร้างของแก้วสองส่วนในลักษณะเช่นเดียวกับเส้นใยแก้ว เริ่มมีการทำวิจัยและนำเสนอรูปแบบและหลักการขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2509 (ค.ศ. 1966) โดยบทความของ เคา (Kao) กับ ฮอกเกอร์แฮม (Hockerham) [4] และบทความของ เวิร์ต (Werts) ในยุคแรกๆ เส้นใยแก้วที่ผลิตขึ้นจะมีค่าการลดทอนสัญญาณสูงมากถึง 1,000 dB/km ทำให้ไม่เป็นที่สนใจในการนำมาใช้เป็นสายส่งสัญญาณเช่นเดียวกับสายไฟทองแดง อีกทั้งยังมีปัญหาการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วที่ทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณสูง ในปี พ.ศ. 2513 (ค.ศ. 1970) บริษัท คอร์นนิ่ง (Corning) ของอเมริกา ได้ประสบผลสำเร็จในการผลิตเส้นใยแก้วจากเนื้อแก้วบริสุทธิ์ที่สามารถนำมาใช้ในการสื่อสารข้อมูลเชิงพาณิชย์ได้เป็นแรกของโลก แม้ว่าเส้นใยแก้วที่ผลิตขึ้นในขณะนั้น จะมีค่าการลดทอนสัญญาณสูงถึง 20 dB/km ก็ตาม และอีกไม่กี่ปีต่อมา เส้นใยแก้วได้ถูกพัฒนาให้มีค่าการลดทอนสัญญาณแสงที่ต่ำลงเหลือเพียง 5 dB/km เช่นเดียวกับเทคโนโลยีการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วที่ถูกพัฒนาให้ดีขึ้นจนทำให้ค่าการสูญเสียสัญญาณของจุดเชื่อมต่อมีค่าลดลงอย่างมาก จึงทำให้เส้นใยแก้วเริ่มเป็นที่สนใจอย่างแพร่หลายมากขึ้นนับแต่นั้นเป็นต้นมา จนกระทั่งปัจจุบันเส้นใยแก้วจะมีค่าการลดทอนสัญญาณที่ต่ำมาก

เทคโนโลยีของเส้นใยแก้วเริ่มมีบทบาทในการสื่อสารข้อมูลอย่างมาก ก็เนื่องมาจากเทคโนโลยีของสารกึ่งตัวนำหรือเซมิคอนดัคเตอร์ (semi-conductor) ในการผลิตแหล่งกำเนิดแสง เช่น แอลอีดี (LED) และเลเซอร์ไดโอด (Laser Diode) รวมทั้งการผลิตอุปกรณ์รับแสงหรือโฟโตดีเทคเตอร์ (Photodetector) ซึ่งมีขนาดเล็ก เหมาะกับการนำมาใช้งานร่วมกับเส้นใยแก้วได้อย่างเหมาะสม

ในช่วงแรกของการผลิตเลเซอร์ไดโอด (ซึ่งถือเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีบทบาทสำคัญในการใช้งานเส้นใยแก้ว) มักใช้สารประกอบอัลลอยของแกลเลียมอะเซไนด์ เช่น AlGaAs ซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาในย่านอินฟราเรดระหว่าง 800-900 นาโนเมตร ในลักษณะของพัลส์ อีกทั้งมีอายุการใช้งานสั้นไม่เกิน 10,000 ชั่วโมงเท่านั้น [6,7] ในเวลาต่อมา เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำของเลเซอร์ไดโอดได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ขนานกับการพัฒนาของเส้นใยแก้ว ในปัจจุบันเลเซอร์ไดโอดสามารถผลิตแสงได้หลายย่านความยาวคลื่น ทั้งในช่วงที่ตามองเห็นและช่วงของอินฟราเรด โดยแสงที่ผลิตออกมามีทั้งลักษณะที่เป็นพัลส์และแสงต่อเนื่อง อีกทั้งมีอายุการใช้งานที่นานขึ้นกว่าเดิมมาก



รูปที่ 1.4 เส้นใยแก้วชนิด Holey หรือ Honey-Comb ที่คอร์มีพรุนของอากาศ

เทคโนโลยีของเส้นใยแก้วในปัจจุบันก็ได้รับการพัฒนาขึ้นไปมากเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างของเส้นใยแก้ว ระบบสื่อสารที่ใช้เส้นใยแก้ว รวมทั้งอุปกรณ์ทางแสงที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ก่อนหน้านี้ คนทั่วไปมักคุ้นเคยกับเส้นใยแก้วชนิดโหมดเดี่ยวธรรมดาที่มีค่าการลดทอนสัญญาณต่ำๆ น้อยกว่า 0.2 dB/km และมีค่าดิสเพอร์ชั่นต่ำมากที่ความยาวคลื่นประมาณ 1.3 ไมครอน แต่ในปัจจุบัน เส้นใยแก้วมีหลายชนิดมากขึ้น เช่น ชนิด DSF (Dispersion Shifted Fiber) เป็นเส้นใยแก้วที่มีค่าดิสเพอร์ชั่นต่ำ ที่ค่าความยาวคลื่นประมาณ 1.55 ไมครอน เส้นใยแก้วชนิด PMF (Polarisation Maintaining Fiber) เป็นเส้นใยแก้วที่คงสถานะทางโพลาไรซ์เซชันของแสงได้ตลอดการเดินทาง ชนิด EDF (Erbium-Doped Fiber) เป็นเส้นใยแก้วที่ใช้ในการขยายัญญาณแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม และชนิด Holey Fiber (HF) [8] ที่โครงสร้างของคอร์มิได้เป็นเนื้อแก้วตันโดยตลอด แต่จะมีโพรงอากาศเล็กๆ จัดเรียงกันอยู่ภายใน โดยเมื่อมองภาพหน้าตัดตอนปลายจะมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง ดังรูปที่ 1.4 เป็นต้น

1.3 ข้อดีและข้อด้อยของเส้นใยแก้ว

ส่วนใหญ่แล้ว การกล่าวถึงข้อดีของเส้นใยแก้ว มักจะเป็นไปในทำนองของการเปรียบเทียบกับสายเคเบิลทองแดงที่ใช้ส่งสัญญาณไฟฟ้า เนื่องมาจากคุณสมบัติการนำข้อมูลรวมไปกับสัญญาณแสงของเส้นใยแก้วนั่นเอง โดยข้อดีที่สำคัญของเส้นใยแก้ว สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1.3.1 มีค่าการลดทอนสัญญาณต่ำ (low attenuation) แม้ว่าค่าการลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วจะมีค่าขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงที่ใช้ แต่ก็ถือว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเลือกใช้แสงที่มีความยาวคลื่นเหมาะสม เส้นใยแก้วธรรมดาที่ประกอบด้วยเนื้อแก้วบริสุทธิ์จะมีค่าการลดทอนสัญญาณต่ำที่ค่าความยาวคลื่น

แสงในช่วงของ 1.3 และ 1.55 ไมครอน (น้อยกว่า 0.2 dB/km) ทำให้ในระบบสื่อสารจะใช้สถานีทวนสัญญาณ (repeater) เป็นจำนวนน้อย โดยปกติระบบสื่อสารด้วยเคเบิลทองแดง (เช่นระบบโทรศัพท์) จะมีสถานีทวนสัญญาณทุกๆ 2-5 กิโลเมตร ในขณะที่การใช้เส้นใยแก้วจะทำให้ระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณไกลกว่า 50 กิโลเมตรเลยทีเดียว

1.3.2 บรรจุข้อมูลได้เป็นจำนวนมหาศาล เส้นใยแก้วมีค่าแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ในการส่งข้อมูลสูงมาก เนื่องจากใช้แสงที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ในเทอมของ 1,015 เฮิรตซ์ เป็นสัญญาณพาห์ ลองเปรียบเทียบดูง่ายๆ จะเห็นว่าค่าความถี่แสงนี้ มีค่าสูงกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ (109 เฮิรตซ์) กว่าล้านเท่า!! เมื่อนำเส้นใยแก้วมาใช้สื่อสารข้อมูลในระบบดิจิตอล จะทำให้มีอัตราในการส่งข้อมูลหรือบิตเรต (bit rate) สูงมาก ในบ้านเราระบบการส่งข้อมูลสูงสุดมีอัตราการส่งประมาณ 10 Gb/s (กิกะบิตหรือพันล้านบิตต่อหนึ่งวินาที) ในขณะที่ระบบสื่อสารผ่านเคเบิลเส้นใยนำแสงเชิงพาณิชย์ในต่างประเทศสามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงถึงระดับ Tb/s (เทอราบิตหรือล้านล้านบิตต่อวินาที) โดยใช้เส้นใยแก้วเพียงเส้นเดียวหรือคอร์เดียวเท่านั้น ปัจจุบันมีงานวิจัยระบุว่าสามารถส่งข้อมูลได้เร็วมากกว่า 100 Pb/s (เพตตาบิตหรือพันล้านล้านบิตต่อวินาที) ต่อความยาวเส้นใยแก้ว 1 กิโลเมตร

1.3.3 โครงสร้างของสายเคเบิลมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา เมื่อพิจารณาขนาดของเส้นใยแก้วเปลือย จะเห็นว่ามีขนาดเล็กและเบามาก อีกทั้งเส้นใยแก้วเพียงเส้นเดียวยังสามารถใช้ส่งข้อมูลจำนวนมากๆ ได้ ข้อดีอันนี้ ส่งผลทำให้โครงสร้างของสายเคเบิลใยแก้วมีขนาดเล็ก ตัวอย่างเช่น ในการส่งข้อมูลระหว่างประเทศด้วยสายเคเบิลทองแดง อาจต้องใช้สายเคเบิลขนาดใหญ่หรือหลายเส้นรวมกันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 10 เซนติเมตร ซึ่งมีน้ำหนักมาก แต่เมื่อใช้สายเคเบิลใยแก้ว อาจลดขนาดลงมาเหลือเพียงเคเบิลใยแก้วเพียงเส้นเดียว ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงประมาณ 1 เซนติเมตร เท่านั้น

1.3.4 ราคาถูก เนื่องจากเส้นใยแก้วทำมาจากวัตถุดิบที่เป็นทราย ซึ่งหาได้ง่ายกว่าทองแดงในธรรมชาติ ทำให้ต้นทุนในการผลิตเส้นใยแก้วน่าจะถูกกว่าสายไฟทองแดง แต่ในความเป็นจริง เราไม่สามารถหาซื้อเส้นใยแก้วได้ง่ายตามตลาดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ราคาขายปลีกที่เป็นอยู่มีราคาแพงมาก นอกจากนี้ราคาของเส้นใยแก้วยังขึ้นอยู่กับต้นทุนในการผลิตให้เป็นสายเคเบิล อีกทั้งขึ้นกับกระบวนการสร้างเครือข่ายสายส่ง ทำให้ราคาของเส้นใยแก้วและระบบในอดีตมีราคาสูง อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเส้นใยแก้วเริ่มเป็นที่ต้องการในตลาดมากขึ้น ทำให้ราคาเฉลี่ยเฉพาะของสายเคเบิลใยแก้วมีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับสายเคเบิลทองแดง จึงมีแนวโน้มว่าราคาของเส้นใยแก้วจะต้องถูกลงอย่างมาก นอกจากนี้ เมื่อทำการคำนวณราคาค่าใช้จ่ายต่อหน่วยข้อมูลที่ใช้สื่อสาร จะเห็นว่ามีราคาต่ำมาก

1.3.5 เป็นอิสระทางไฟฟ้า (Electrical Isolation) เนื่องจากเส้นใยแก้วมีคุณสมบัติเป็นฉนวน จึงไม่นำไฟฟ้าแม้ว่าจะมีสายไฟฟ้าเปลือยมาสัมผัส ก็ไม่ทำให้ผู้สัมผัสเส้นใยแก้วที่อยู่ห่างออกไปมีอันตรายเนื่องมาจากถูกไฟดูดได้

1.3.6 ปราศจากสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า ในระบบสื่อสัญญาณด้วยไฟฟ้าผ่านตัวนำ มักมีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro-Magnetic Inteference : EMI) ตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) เช่น การเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก รอบตัวนำเมื่อมีกระแสไหล และการเกิดกระแสไหลเมื่อตัวนำอยู่ในสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงเหล่านี้ อาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (noise) ที่ไม่ต้องการ หรืออาจเกิดครอสทอล์ค (crosstalk) ที่ทำให้สัญญาณจากช่องหนึ่งไปปรากฏเพิ่มในช่องสัญญาณอื่น จากคุณสมบัติความเป็นฉนวนของเส้นใยแก้ว ทำให้ไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า (No EMI) ส่งผลให้ไม่มีสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า

1.3.7 ข้อมูลมีความปลอดภัยสูง ในระบบสื่อสารทางไฟฟ้า สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งผ่านสายตัวนำทองแดง ซึ่งหากมีการนำสายตัวนำอื่นมาสัมผัส หรืออาจไม่มีการสัมผัส แต่จะใช้หลักการของการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ก็จะสามารถรับรู้สัญญาณนั้นได้โดยง่าย แต่ถ้าเป็นการส่งข้อมูลผ่านเส้นใยแก้ว การรับรู้ข้อมูลไม่สามารถทำได้โดยง่าย เพราะต้องใช้การตัดเส้นใยแก้วเพื่อส่งสัญญาณเข้ากับเครื่องรับโดยตรง หรือใช้อุปกรณ์พิเศษเช่นออปติคอลคับเปลอร์ (optical coupler)

1.3.8 มีความทนทานสูง เส้นใยแก้วแต่ละเส้นจะมีอายุการทำงานที่ยาวนานมาก หากไม่มีแรงกระทำจากภายนอกมาสร้างความแตกหักเสียหาย หรือระบบล้าสมัยเสียก่อน เส้นใยแก้วที่ติดตั้งในระบบสื่อสารสามารถใช้งานได้นานนับร้อยปี เพราะไม่ต้องคำนึงถึงความเสื่อมจากสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติมากนัก เหมือนสายไฟฟ้าตัวนำ (ที่มักเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น สนิม ทำให้เกิดการผุกร่อน) ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาโดยรวมไม่มากนัก ทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้สูง

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบระหว่างเคเบิลเส้นใยแก้วกับเคเบิลสายไฟฟ้าทองแดง

	เคเบิลทองแดง (เช่น สายโคแอกเชียล)	***เคเบิลเส้นใยแก้ว***
ขนาดและน้ำหนัก	*ขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก*	*ขนาดเล็กและเบากว่า*
ค่าการลดทอนสัญญาณ (ระยะห่างระหว่างสถานี)	*สูงกว่า (2-5 กิโลเมตร)*	*น้อยกว่ามาก (10-80 กิโลเมตร)*
ความจุปริมาณข้อมูล หรือ อัตราการส่งข้อมูล	*สูงสุดไม่เกิน 300 Mb/s*	*มายมายมหาศาล มากกว่า 80 Gb/s*
สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า	*เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า*	*ไม่มี*
ต้นทุนต่อระบบ ต้นทุนต่อหน่วยข้อมูล	*ถูก – แพง แพงกว่า*	*ปานกลาง – แพงมาก ถูกกว่ามาก*
ความปลอดภัยของข้อมูล	*ต่ำ*	*สูงมาก*

แม้ว่าเส้นใยแก้วจะมีข้อดีที่มีประโยชน์เอื้ออำนวยต่อการใช้งาน แต่เส้นใยแก้วกีข้อด้อยอยู่ด้วยเช่นกัน ได้แก่

1) เส้นใยแก้วมีความเปราะบาง แตกหักได้ง่ายเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ แม้ว่าตัวเส้นใยแก้วจะถูกป้องกันด้วยโค๊ดติ้งและโครงสร้างของสายเคเบิล แต่ในการติดตั้งจำเป็นต้องมีการทำงานกับเส้นใยแก้วเปลือยอยู่บ้าง จึงต้องใช้ความชำนาญ และความระมัดระวังพอสมควร

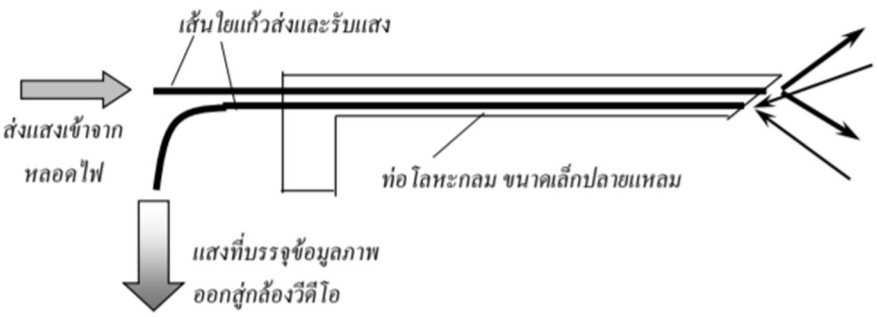
2) เคเบิลเส้นใยแก้วไม่สามารถจัดวางให้มีรัศมีการโค้งงอน้อยๆ ได้เหมือนสายไฟ เพราะจะทำให้เส้นใยแก้วภายในแตกหักได้ อีกทั้งอาจทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณแสงออกไปในแคลดดิ้ง ระหว่างที่แสงกำลังเดินทางอยู่ภายในเส้นใยแก้ว ทำให้สัญญาณไม่สามารถเดินทางได้ไกลตามที่ควรจะเป็น

3) ในการติดตั้งระบบสายส่งเคเบิลเส้นใยแก้ว ต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์พิเศษ รวมทั้งต้องอาศัยทักษะ ความชำนาญ ความประณีต และความสะอาด ในการทำงานพอสมควร ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีคุณภาพสูงสำหรับงานด้านนี้ ค่อนข้างจะมีราคาสูงทีเดียว อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันข้อด้อยเหล่านี้ไม่ถือเป็นอุปสรรคมากนัก เนื่องจากเทคโนโลยีและเทคนิคในการทำงานเกี่ยวกับระบบสายส่งเคเบิลเส้นใยแก้ว ได้รับการพัฒนาเพิ่มขึ้นมาก อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ที่จำเป็นก็ถูกพัฒนาให้มีราคาถูกลง โดยยังคงมีคุณภาพและประสิทธิภาพเพียงพอในการใช้งานทางปฏิบัติ

1.4 ประโยชน์และการใช้งานเส้นใยแก้ว

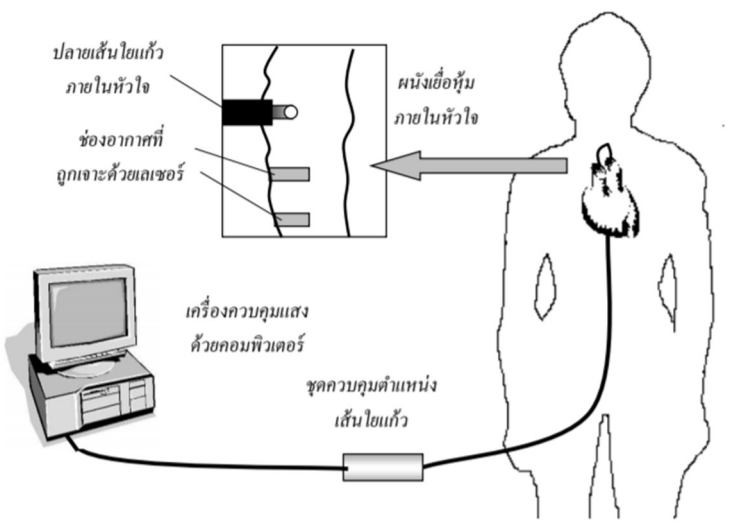
การที่เส้นใยแก้วมีคุณสมบัติในการนำสัญญาณแสงได้ดี รวมกับคุณสมบัติของแสงที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งทำให้แสงสามารถใช้เป็นตัวกลางในการนำข้อมูลร่วมไปด้วย (ในรูปของสัญญาณแสงที่ไม่ใช้สัญญาณไฟฟ้า) จึงได้มีการนำเส้นใยแก้วมาใช้ประโยชน์ต่างๆ มากมายหลายด้าน โดยอาจแบ่งประเภทการใช้งานหลักได้ดังต่อไปนี้

1.4.1 การใช้งานด้านการแพทย์ การนำเส้นใยแก้วมาประยุกต์ใช้งานในชีวิตประจำวัน มิได้ผูกขาดอยู่กับการสื่อสารโทรคมนาคมที่หลายคนคุ้นเคยเท่านั้น แต่มันยังมีประโยชน์ในด้านอื่นอีกมากมาย



รูปที่ 1.5 โครงสร้างของเครื่องมือแพทย์ชนิดเอ็นโดสโคปที่ใช้เส้นใยแก้วในการทำงาน

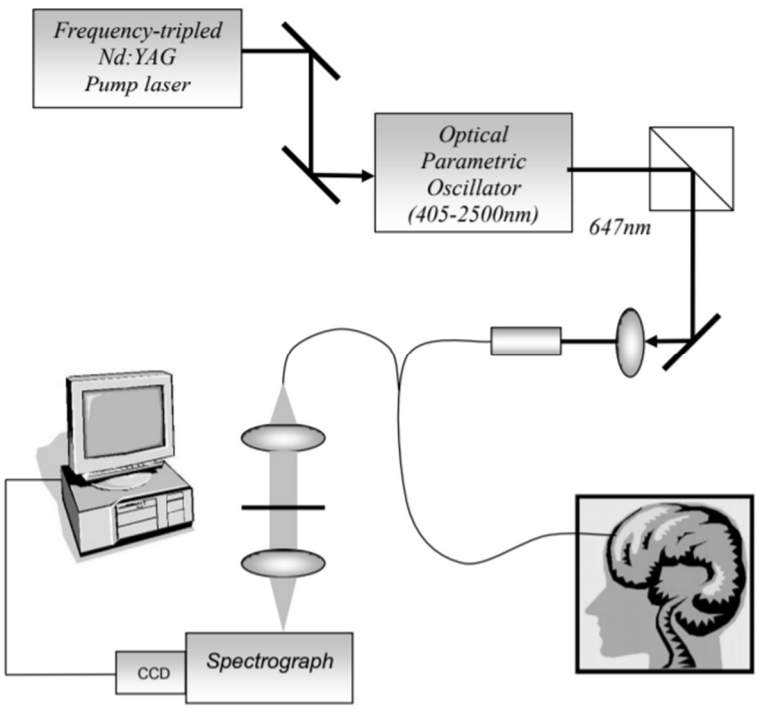
ตัวอย่างแรกที่จะกล่าวถึงได้แก่การใช้งานทางการแพทย์ สมัยก่อนเวลาหมอจะผ่าตัดเนื้องอกเล็กๆ ที่อยู่ภายในร่างกายออกมา หมอจะต้องใช้มีดกรีดผิวหนังให้เป็นช่องทางสำหรับนำมีดผ่าตัดเข้าไปตัดเนื้อร้ายภายในที่ต้องการ จากนั้นก็ทำการเย็บปิดปากแผล คนไข้อาจต้องนอนโรงพยาบาลเพื่อพักฟื้นและคอยควบคุมไม่ให้แผลติดเชื้อไประยะหนึ่งก่อนที่แผลจะสมานกันเหมือนเดิม ซึ่งอาจต้องใช้เวลาหลายวัน ด้วยเทคโนโลยีของเส้นใยแก้ว สามารถสร้างเป็นเครื่องมือเอ็นโดสโคป (Endoscope) ซึ่งมักจะประกอบด้วยเส้นใยแก้วสองเส้น (รูปที่ 1.5) แพทย์จะสอดเครื่องมือดังกล่าวนี้เข้าไปในร่างกายของคนไข้เนื่องจากเส้นใยแก้วมีขนาดเล็กอยู่แล้ว เลยทำให้เจ้าเครื่องมือที่ว่ามีขนาดเล็กสามารถสอดเข้าไปในร่างกายคล้ายกับใช้เข็มที่มีขนาดใหญ่เจาะเข้าไป ทำให้ไม่ต้องทำลายเนื้อเยื่อในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องมากนัก เมื่อเครื่องมือนี้อยู่ภายในร่างกาย เครื่องควบคุมก็จะส่งแสงผ่านเข้าไปตามเส้นใยแก้วเส้นหนึ่งแล้วพุ่งออกไปกระทบกับส่วนที่อยู่ภายในร่างกาย เมื่อแสงนี้ไปกระทบเนื้อเยื่อส่วนไหน ก็จะมีแสงสะท้อนกลับเข้ามายังเส้นใยแก้วอีกเส้นหนึ่ง แสงที่สะท้อนกลับมานี้ จะบรรจุภาพของเนื้อเยื่อภายในร่างกายมาด้วย เมื่อแสงถูกส่งกลับเข้ามายังกล้องวีดิโอในชุดเครื่องมือควบคุมก็จะถูกแสดงผลให้เป็นสัญญาณภาพปรากฏบนจอมอนิเตอร์ให้แพทย์เห็น แพทย์จะใช้เครื่องมือนี้ควานหาตำแหน่งที่ผิดปรกติภายในร่างกาย เมื่อพบแล้วแพทย์ก็จะสอดเส้นใยแก้วอีกเส้นหนึ่งเข้าไปยังตำแหน่งที่พบเนื้องอกนั้น เส้นใยแก้วเส้นใหม่นี้จะต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ที่มีพลังงานสูง เมื่อเปิดสวิตช์ให้แสงเลเซอร์ทำงาน ก็จะมีแสงเลเซอร์ส่งมายังตอนปลายของเส้นใยแก้ว แล้วพุ่งออกไปยังตำแหน่งของเนื้องอกเพื่อไปตัดหรือทำลายเนื้องอกนั้น เป็นอันเสร็จสิ้นขบวนการจะเห็นว่าด้วยเทคโนโลยีของเส้นใยแก้วนี้ คนไข้จะมีความเจ็บปวดน้อยกว่า เพราะส่วนของร่างกายในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการรักษาได้รับผลกระทบน้อยมาก คนไข้ส่วนใหญ่สามารถกลับบ้านได้ทันทีหลังรับการรักษา และไม่ต้องพักฟื้นเป็นเวลานานด้วย



รูปที่ 1.6 การประยุกต์ใช้เส้นใยแก้วในการรักษาโรคทีเกี่ยวกับหัวใจ

รูปที่ 1.6 เป็นตัวอย่างการนำเส้นใยแก้วมาใช้การรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจ ที่มีปัญหาในการฟอกโลหิต อันเนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ แม้ว่ารายละเอียดในการรักษาทางการแพทย์ค่อนข้างจะ

ซับซ้อน แต่ก็พออธิบายอย่างง่ายๆ พอสังเขปได้ว่า แพทย์จะสอดเส้นใยแก้วเข้าไปในเส้นเลือดใหญ่ของร่างกาย ตรงบริเวณขาหนีบ (นั่นแสดงว่าเส้นใยแก้วที่ใช้ต้องมีขนาดเล็กกว่าเส้นเลือด) และจะค่อยๆ ดันเส้นใยแก้วไปตามเส้นเลือดนี้ จนถึงหัวใจในส่วนห้องล่างขวาจนถึงผนังหัวใจด้านใน แล้วจะส่งแสงเลเซอร์ผ่านเส้นใยแก้วนี้ แสงที่ออกจากปลายเส้นใยแก้วจะทำหน้าที่เหมือนมีดผ่าตัดเพื่อไปเจาะผนังหัวใจ ให้ก๊าซออกซิเจนรั่วซึมเข้ามาภายในหัวใจในส่วนนี้มากขึ้น ทำให้หัวใจมีประสิทธิภาพในการฟอกโลหิตได้ดียิ่งขึ้นเพราะมีปริมาณออกซิเจนมาใช้มากขึ้นนั่นเอง



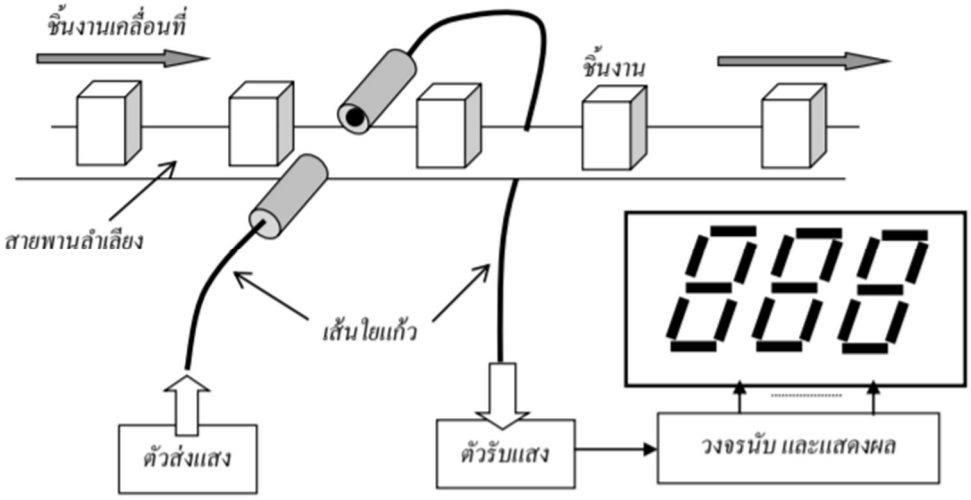
รูปที่ 1.7 เครื่องมือแพทย์ที่ใช้ระบบเส้นใยแก้วในการช่วยวิเคราะห์

รูปที่ 1.7 เป็นตัวอย่างของระบบเครื่องมือแพทย์อีกชนิดหนึ่ง ที่ใช้ระบบเส้นใยแก้วในการช่วยวิเคราะห์ส่วนเนื้อเยื่อสมอง โดยการส่งแสงผ่านเส้นใยแก้วเข้าไปที่เซลล์ของเนื้อเยื่อสมองในส่วนที่ต้องการวิเคราะห์ทางด้านชีวการแพทย์ จากนั้นแสงสะท้อนจะถูกส่งกลับเข้ามาในเส้นใยแก้ว เพื่อนำข้อมูลแสงไปผ่านกระบวนการวิเคราะห์สเปกตรัมเชิงแสง แล้วทำการคำนวณและตีความหมายออกมาด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ผลลัพธ์ที่แสดงออกมา จะเป็นข้อมูลสำหรับแพทย์เพื่อทำการวินิจฉัยถึงความผิดปกติโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญต่อไป

ระบบเครื่องมือแพทย์ที่มีเส้นใยแก้วเป็นส่วนประกอบสำคัญในการรับส่งข้อมูล ก็ถือเป็นอีกตัวอย่างหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมมาก ในการใช้งานตามโรงพยาบาลต่างๆ โดยเฉพาะในห้องไอซียู (ICU: Intensive Care Unit) ทั้งนี้ การส่งข้อมูลด้วยสายไฟฟ้าจากแต่ละจุดของคนไข้รวมกันมายังศูนย์กลางมอนิเตอร์เพื่อให้แพทย์ และพยาบาลทราบถึงสภาวะของคนไข้อาจก่อให้เกิดเหนี่ยวนำทางสนามแม่เหล็ก และการรบกวนทาง

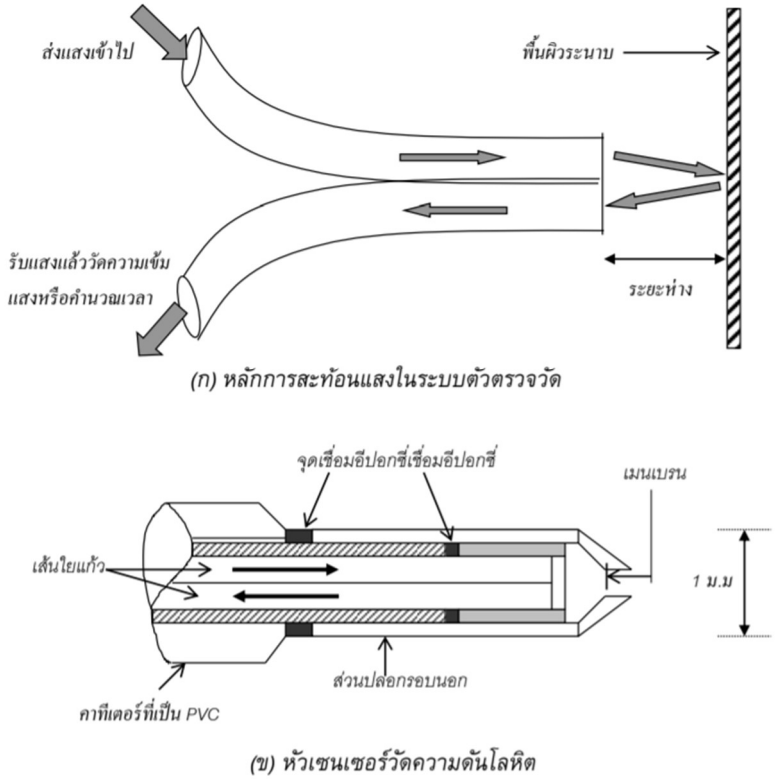
ไฟฟ้า ซึ่งสามารถส่งผลให้เกิดการประมวลผลข้อมูลผิดพลาด รวมทั้งข้อมูลสำคัญของคนไข้อาจคลาดเคลื่อนไป จนทำให้คนไข้ขาดการดูแลอย่างใกล้ชิดในช่วงเวลาเร่งด่วนได้ ซึ่งการใช้เส้นใยแก้วจะช่วยตัดปัญหาการรบกวนทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าลงไปได้โดยสิ้นเชิง เท่าที่เห็นในปัจจุบันมีโรงพยาบาลหลายแห่งภายในประเทศที่ใช้เส้นใยแก้วเป็นตัวกลางสื่อสารข้อมูลในการดังกล่าวนี้ และมีแนวโน้มว่าระบบนี้กำลังเป็นที่นิยมแพร่หลายอย่างมากในปัจจุบัน

1.4.2 การใช้งานเกี่ยวกับเครื่องมือวัดและตัวตรวจวัด



รูปที่ 1.8 การประยุกต์ใช้เส้นใยแก้วในการนับชิ้นงานในระบบอุตสาหกรรม

การนำเส้นใยแก้วมาใช้งานด้านตัวตรวจวัดหรือเซนเซอร์ (sensor) ก็กำลังเป็นที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นในงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ไปจนถึงโครงการที่ลงทุนมหาศาล ตัวอย่างง่ายๆ ได้แก่ การนำเส้นใยแก้วมาประยุกต์ใช้ในการนับชิ้นงานในระบบอุตสาหกรรมดังแสดงในรูปที่ 1.8 ซึ่งมีหลักการโดยการส่งแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วที่ติดตั้งไว้ใกล้กับสายพานลำเลียงชิ้นงาน แสงจากเส้นใยแก้วนี้จะถูกส่งไปยังเส้นใยแก้วอีกเส้นหนึ่งที่อยู่ด้านตรงข้ามกันของสายพาน แสงที่รับได้จะถูกนำโดยเส้นใยแก้วไปยังวงจรอิเล็กทรอนิกส์เมื่อชิ้นงานเคลื่อนที่ตัดผ่านแนวทางเดินของแสง จะทำให้ไม่มีสัญญาณไปยังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านไปอย่างต่อเนื่อง วงจรอิเล็กทรอนิกส์ก็สามารถวัดความแตกต่างของสัญญาณได้เป็นช่วงๆ ตามจำนวนชิ้นงานที่ผ่านไป เมื่อใช้วงจรนับวิเคราะห์ออกมา ก็สามารถแสดงจำนวนชิ้นงานได้บนจอแสดงผล



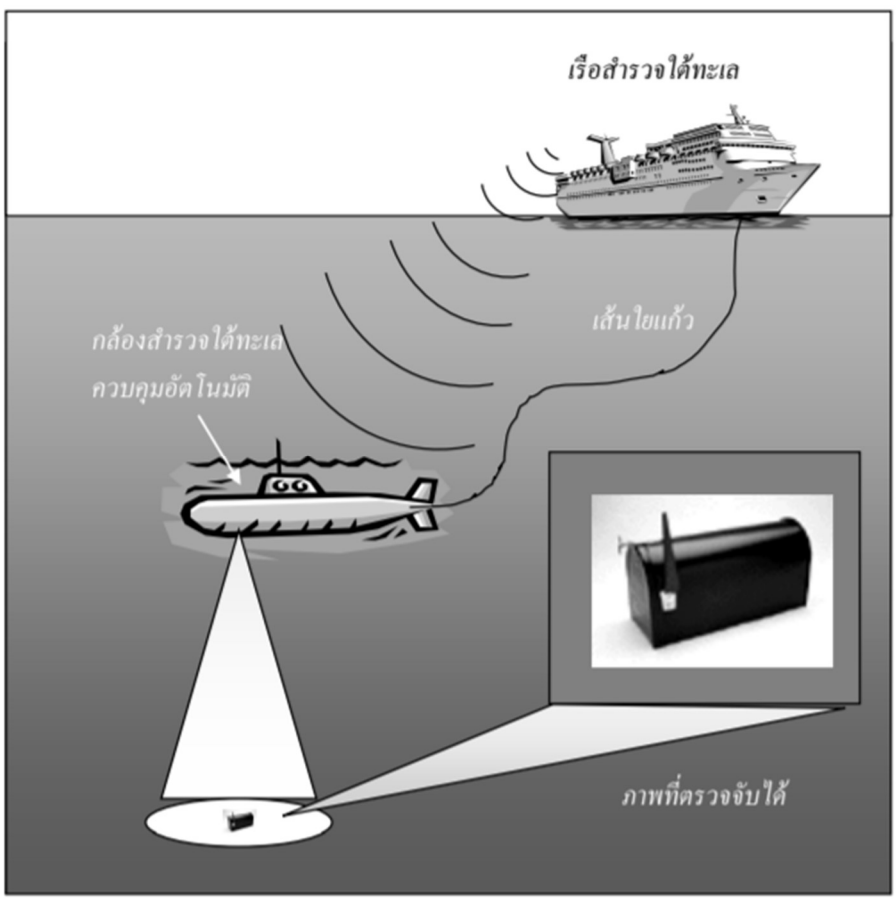
รูปที่ 1.9 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์เส้นใยแก้ว

รูปที่ 1.9 เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของเซ็นเซอร์เส้นใยแก้วที่มีหลักการค่อนข้างง่าย โดยอาศัยการวัดค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา จากรูปที่ 1.9(ก) เส้นใยแก้วสองเส้นจะถูกจัดวางให้ตอนช่วงปลายขนานติดกัน เส้นใยแก้วเส้นหนึ่งจะใช้สำหรับนำสัญญาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงส่งออกไปภายนอกที่ตอนปลายแสงที่ถูกส่งออกไปจะกระทบกับผิวระนาบที่วางอยู่ด้านหน้า แล้วสะท้อนกลับออกมาเข้าเส้นใยแก้วอีกเส้นหนึ่ง เพื่อนำแสงไปยังตัวรับแสงที่สามารถแสดงค่าความเข้มแสงออกมาได้ หากระยะห่างระหว่างปลายเส้นใยแก้วที่ปล่อยและรับแสงกับพื้นผิวระนาบมีระยะใกล้หรือไกลแตกต่างกัน ความเข้มแสงที่รับได้ก็จะมีค่าแตกต่างกันด้วย นั่นก็คือ ความเข้มแสงที่วัดได้สามารถแสดงในเทอมที่เป็นฟังก์ชั่นของระยะห่างนี้ได้ เราก็สามารถนำไปคำนวณตีความเพื่อใช้งานเป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดระยะทางได้ หรืออาจจะนำไปประยุกต์ใช้วัดระดับของของเหลวที่เปลี่ยนแปลงในภาชนะได้เช่นกัน

จากหลักการของเซ็นเซอร์อย่างง่ายที่วัดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง เราอาจนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายด้าน (สุดแท้แต่ใครจะมีความคิดสร้างสรรค์) ดังเช่นใน รูปที่ 1.8(ข) เป็นการใช้งานเซ็นเซอร์เส้นใยแก้วด้านการแพทย์สำหรับการวัดความดันโลหิต โดยแสดงเฉพาะตอนหัวของเซ็นเซอร์ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยแก้วสองเส้นร้อยอยู่ภายในท่อที่มีขนาดเล็กพอที่จะสอดไปในเส้นเลือดของมนุษย์ได้โดยอาจมีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 1 มิลลิเมตร เท่านั้น ที่ตอนปลายของหัวเซ็นเซอร์จะมีแผ่นพลาสติกหรือ ซิลิโคนบางเหนียวทำหน้าที่เป็นแผ่นเมมเบรน ปิดไว้ในระยะที่ห่างจากปลายเส้นใยแก้วเล็กน้อยตามที่ออกแบบ ในขณะใช้งาน เซ็นเซอร์นี้

จะถูกสอดเข้าไปในหลอดเลือด เช่น หลอดเลือดใหญ่ แผ่นเมมเบรนจะมีการเคลื่อนไหวเข้าหาเส้นใยแก้วตามขนาดของ แรงดันโลหิต ทำให้ระยะห่างระหว่างปลายเส้นใยแก้วกับเมมเบรนเปลี่ยนแปลงไปตาม ค่าของแรงดันเลือดในขณะนั้น เมื่อมีการส่งสัญญาณแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วเส้นหนึ่ง แล้ววัดค่าความเข้มแสงที่ได้จากการสะท้อนกลับของแสงบนแผ่นเมมเบรนผ่านเส้นใยแก้วเส้นที่เหลือ ก็สามารถตีความออกมาเป็นค่าแรงดันโลหิตให้ทราบได้

จากหลักการสะท้อนของแสงในทำนองเดียวกันนี้ อาจนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานอุตสาหกรรมที่ต้องการวัดอุณหภูมิของวัตถุ โดยการนำปลายเส้นใยแก้วสำหรับรับส่งแสงไปวางไว้ใกล้กับผิวของวัตถุ เมื่อวัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการขยายตัว ทำให้พื้นผิวเลื่อนเข้าหาเส้นใยแก้ว ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิลดลงจะเกิดการหดตัว ระยะห่างก็จะเพิ่มขึ้นออกไป ส่งผลให้ค่าความเข้มแสงที่วัดได้มีค่าแตกต่างกันตามระยะห่างที่เกิดขึ้น ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิของวัตถุเปลี่ยนแปลงไป ก็จะถูกคำนวณตีความและแสดงผลออกมาในที่สุด



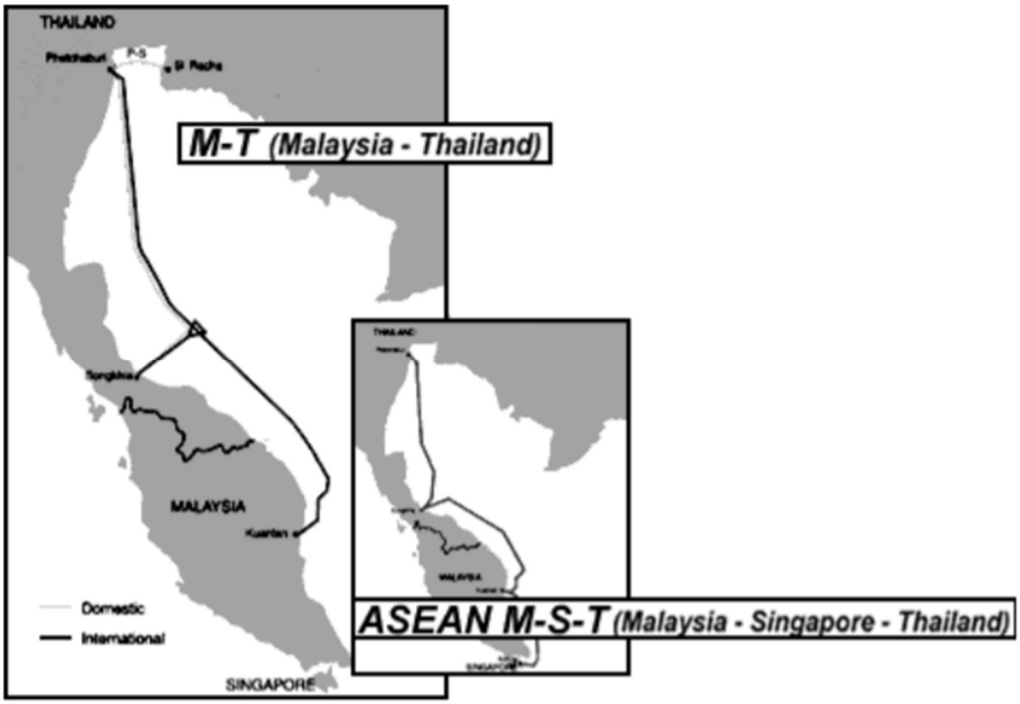
รูปที่ 1.10 การนำเส้นใยแก้วมาประยุกต์ใช้ตรวจหาวัตถุใต้มหาสมุทร

การมองเห็นวัตถุ เกิดจากการที่แสงไปกระทบวัตถุแล้วสะท้อนมาเข้าตาของเรา แสงนี้ถือว่าบรรจุข้อมูลภาพรวมอยู่ด้วย หากเราควบคุมแสงนี้ไปยังทิศทางที่ต้องการ ก็สามารถมองเห็นวัตถุได้แม้จะอยู่ห่างไกลออกไปก็ตาม ซึ่งจากหลักการนี้ ทำให้มีการนำเส้นใยแก้วมาใช้ทำเอ็นโดสโคปในทางการแพทย์ตามที่กล่าวไป

แล้ว จากหลักการเดียวกัน สามารถนำมาใช้แทนกล้องวีดีโอเพื่อตรวจดูภาพใต้ท้องทะเล ดังรูปที่ 1.10 ซึ่งหลักการทำงานพื้นฐานจะประกอบไปด้วยเส้นใยแก้วสองเส้นหรือสองชุด เส้นใยแก้วเส้นหนึ่งทำหน้าที่ส่งแสงในลักษณะกวาดไปมาหรืออาจใช้เส้นใยแก้วหลายเส้นเพื่อส่งแสงออกไปครอบคลุมพื้นที่ในวงกว้าง โดยภาพของสิ่งที่เห็นจะเป็นแสงสะท้อนที่ถูกรวบรวมและนำขึ้นมาบนเรือโดยเส้นใยแก้วอีกเส้นหนึ่งหรืออีกชุดหนึ่ง เพื่อส่งเข้าสู่กล้องโทรทัศน์แล้วแสดงภาพออกมาบนจอมอนิเตอร์ ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้ช่วยให้มนุษย์สามารถทำการสำรวจใต้ท้องมหาสมุทรที่มีความลึกมากๆ เกินกว่าที่นักประดาน้ำจะลงไปถึงได้เป็นอย่างดี

งานวิจัยชั้นสูงที่กำลังได้รับความสนใจในการนำเส้นใยแก้วมาใช้เป็นตัวตรวจวัดงานหนึ่ง ได้แก่งานวิจัยเกี่ยวกับผิวหนังอัจฉริยะ (smart skin) โดยบริษัทผู้สร้างยานอวกาศและเครื่องบินรบประสิทธิภาพสูง ได้นำเอาเส้นใยแก้วมาใช้เป็นตัวตรวจวัด สภาพโดยรอบของเครื่องบินในขณะทำการบินอยู่ในที่สูงจากพื้นผิวโลก เช่น การตรวจวัดอุณหภูมิหรือสภาพความกดดันอากาศในขณะบิน เครื่องบินรบรุ่นปัจจุบันจะ ใช้ตัวเซนเซอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ติดไว้ตามส่วนต่างๆ ของเครื่องบิน เมื่อตัวเซนเซอร์ทำงานก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหล หากเครื่องบินนั้นบินอยู่เหนือน่านฟ้าของศัตรูก็อาจถูก ตรวจสอบได้ด้วยเครื่องตรวจจับ ทำให้ศัตรูทราบตำแหน่งเครื่องบินแล้วดำเนินการโจมตีได้ดังนั้น การที่จะหลบรอดเครื่องมือตรวจจับเหล่านี้ ตัวเครื่องบินรบเองจะต้องมีส่วนการทำงานทางไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ให้น้อยที่สุด ซึ่งสามารถทำได้ในส่วนของตัวเซนเซอร์โดยใช้เส้นใยแก้วมาวางเป็นโครงข่ายที่ต้องการ (คล้ายตาข่ายหรือใยแมงมุม) บนผนังด้านนอกของเครื่องบินโดยเฉพาะในส่วนปีก จากนั้นทำการป้อนแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วให้เดินทางผ่านส่วนของตาข่ายแล้วส่งออกมา แสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนี้ สามารถแสดงคุณสมบัติบางประการที่เปลี่ยนไป (เช่น ความเข้มแสง) เมื่อตกอยู่ในสภาพแวดล้อม (เช่น อุณหภูมิ หรือแรงดัน) ที่แตกต่างกันออกไป ทำให้สามารถตีความหมายของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ นั่นคือสามารถแสดงผลออกมาเป็นอุณหภูมิหรือความดันอากาศเหมือนเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ได้นอกจากนี้ การที่แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่าสัญญาณไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์มากนับล้านเท่า ทำให้สามารถพัฒนาเป็นเซนเซอร์ที่มีความไวสูงได้ดีและการที่สัญญาณแสงไม่ใช่ไฟฟ้า ทำให้หลุดรอดจากการถูกตรวจจับได้ง่ายกว่า ซึ่งส่งผลให้เครื่องบินรบยุคใหม่ สามารถทำจารกรรมบนน่านฟ้าข้าศึกได้อย่างสะดวกโยธินเลยทีเดียว จากโครงงานในทำนองเดียวกันนี้ นักวิจัยหลายคนกำลังพัฒนานำเส้นใยแก้วมาใช้เป็นผิวหนังอัจฉริยะ ที่สามารถรับรู้ความรู้สึกได้เหมือนผิวหนังมนุษย์ก็ไม่แน่ว่า ในอนาคตเราอาจได้เห็นหุ่นยนต์ที่มีความรู้สึกร้อนหนาวเหมือนคนก็ได้

1.4.3 การใช้งานในระบบสื่อสารโทรคมนาคม

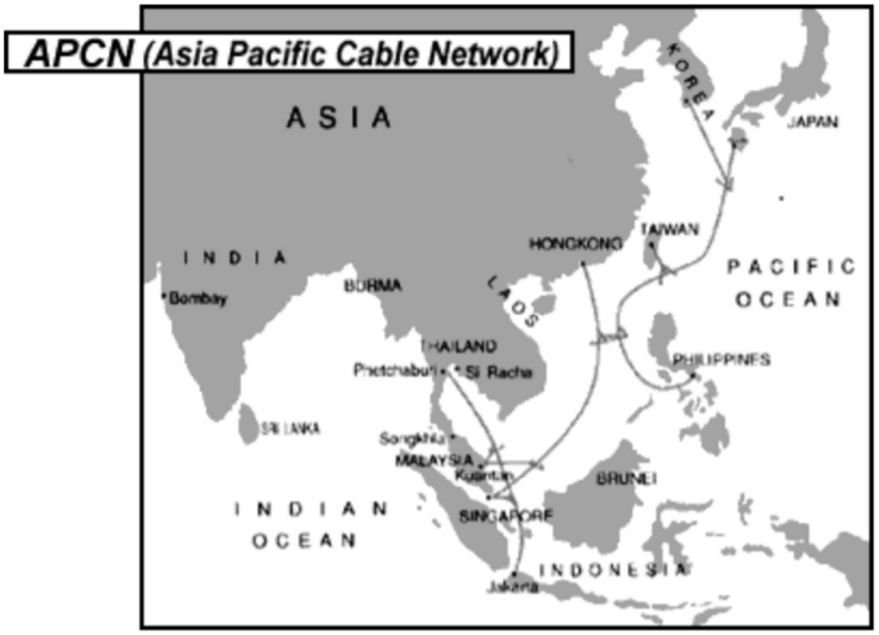


รูปที่ 1.11 โครงข่ายระบบสื่อสารที่เชื่อมต่อด้วยเส้นใยแก้วระหว่างไทยกับประเทศเพื่อนบ้าน

เนื่องจากเส้นใยแก้วมีขนาดของแบนด์วิดท์กว้างมากเมื่อเทียบกับสายเคเบิลทองแดง ทำให้สามารถส่งข้อมูลจำนวนมากจากหลายๆ แหล่งได้ ภายในช่วงเวลาเดียวกัน ลองคิดดูง่ายๆ หากระบบถูกออกแบบให้ใช้คลื่นแสงที่มีขนาดความยาวคลื่น 632 นาโนเมตร (แสงสีแดงมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า) หรือมีค่าความถี่ 4.7 x 1,014 เฮิรตซ์เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อก โดยกำหนดให้ช่วงแบนด์วิดท์ของการส่งข้อมูลมีเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ของค่าความถี่แสงที่ใช้จะได้แบนด์วิดท์ที่มีความกว้างถึง 4,700 กิกะเฮิรตซ์ นั่นหมายความว่า เราสามารถส่งสัญญาณโทรทัศน์ได้เกือบหนึ่งล้านช่องในช่วงเวลาเดียวกันเลยทีเดียว อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างที่ยกมานี้ ยังไม่สามารถเป็นไปได้ในทางปฏิบัติเนื่องจากเทคโนโลยียังไปไม่ถึง ซึ่งในปัจจุบัน หลักการสำคัญที่ใช้ส่งสัญญาณหรือข้อมูลจำนวนมากไปพร้อมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นกับวิธีการเข้ารหัส การมอดูเลต และการมัลติเพล็กส์สัญญาณในวงจรภาคส่ง ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

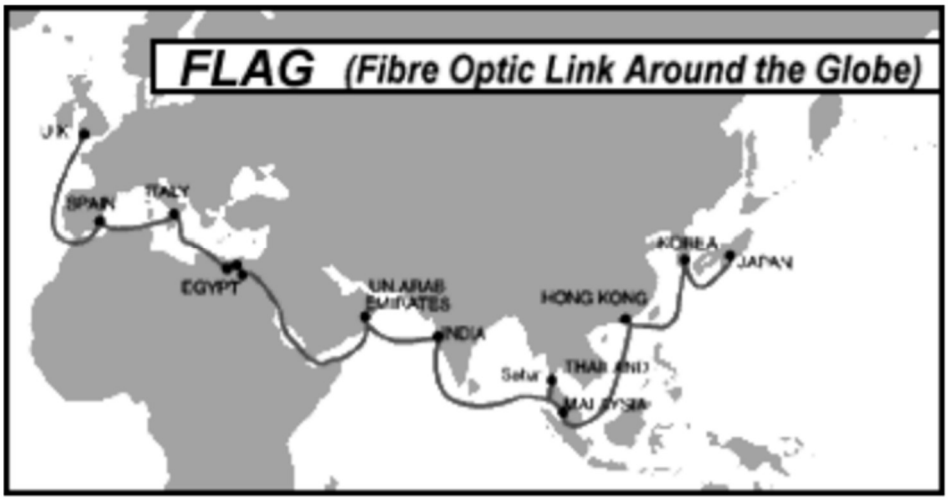
การนำเส้นใยแก้วเข้ามาใช้ในระบบสื่อสารถือเป็นการเปิดโลกกว้างของการสื่อสารได้อย่างโดดเด่น เพราะระบบนี้สามารถส่งข้อมูลที่มีปริมาณมากและหลายรูปแบบได้ในเวลาเดียวกัน ความหมายของการส่งข้อมูลมากๆ ถ้าจะกล่าวกันแบบง่ายๆ ก็คือการส่งข้อมูลได้เร็วมากนั่นเอง ลองพิจารณาดูว่าหากวางเส้นใยแก้วรอบโลก ในแนวเส้นศูนย์สูตร ระยะทางรอบโลกนี้ เมื่อคิดจากค่าของรัศมีโลกที่มีค่าเท่ากับ 6,378.2 กิโลเมตร จะมีระยะทางประมาณเกือบ 40,000 กิโลเมตร เมื่อคำนวณเวลาที่แสงใช้ในการเดินทางจากความเร็วของแสง

ที่มีค่าประมาณ 3 แสนกิโลเมตรต่อวินาที จะพบว่า ภายในเวลาเพียงหนึ่งวินาทีข้อมูลแสงสามารถเดินทางรอบโลกไปแล้วถึง 7 รอบครึ่ง



รูปที่ 1.12 โครงข่ายระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วในแถบภาคพื้นเอเชียแปซิฟิก

การนำเส้นใยแก้วมาใช้เป็นในระบบสื่อสาร จะใช้เฉพาะในส่วนที่เป็นสายส่งสัญญาณ (transmission line) โดยต้องทำการการเปลี่ยนแปลงข้อมูลรูปแบบเดิมที่เป็นสัญญาณไฟฟ้า ให้เป็นสัญญาณแสงเสียก่อน จึงส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วได้ ในขณะที่โครงสร้างของระบบสื่อสารในส่วนอื่นยังคงเป็นไปในทำนองเดิม เพียงแต่จะมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามขีดความสามารถของเส้นใยแก้วเท่านั้น การที่แสงมีค่าความถี่สูงมาก ถึงขนาดพันล้านล้านเฮิรตซ์ ทำให้สามารถส่งข้อมูลที่มีปริมาณมากได้ด้วย ซึ่งตรงนี้ถือเป็นข้อได้เปรียบของระบบเส้นใยแก้วเมื่อเทียบกับระบบอื่นทั้งหลาย และด้วยเหตุนี้ทำให้การใช้งานในระบบเส้นใยแก้วมิได้ถูกจำกัดเพียงการให้บริการเฉพาะด้านใดด้านหนึ่ง แต่จะสามารถเพิ่มบริการต่างๆ เข้าไปได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน ลักษณะงานบริการต่างๆ อาจจำแนกตามชนิดของข้อมูล ซึ่งในบ้านเราเริ่มมีให้เห็นบ้างแล้ว เช่น สัญญาณโทรศัพท์ โทรภาพ แฟกซ์ เคเบิลทีวี การสื่อข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ รวมไปถึงระบบมัลติมีเดีย อินเตอร์เนต การประชุมระยะไกล เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้สามารถส่งผ่านไปมาได้ในเวลาเดียวกัน ด้วยเส้นใยแก้วเพียงเส้นเดียวหรือคู่เดียวเท่านั้น ตัวอย่างของระบบสื่อสารปัจจุบันที่ใช้เส้นใยแก้ว ได้แก่ ระบบโครงข่ายสื่อสารร่วมดิจิตอล หรือ ISDN (Integrated Services Digital Network) และระบบสื่อสารความเร็วสูงหรือ SDH/SONET (Synchronous Digital Hierarchy / Synchronous Optical Network) เป็นต้น



รูปที่ 1.13 โครงข่ายระบบสื่อสารระหว่างประเทศใช้เส้นใยแก้วมากกว่า 30,000 กิโลเมตร

นอกจากนี้ยังมีความพยายามที่จะเชื่อมโครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคมภาคพื้นดิน บนโลกเข้าด้วยกัน โดยใช้ระบบสายสัญญาณที่เป็นเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยโครงการ FLAG (Fiber Optic Link Around the Globe) (รูปที่ 1.13) เป็นโครงการแรกที่ตอบสนองแนวความคิดนี้ ปัจจุบันมีโครงการ OXYGEN ซึ่งถือเป็นโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงที่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก โครงการนี้ใช้เทคโนโลยี SDH/SONET ร่วมกับ DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) โดยแต่ละความยาวคลื่นจะส่งข้อมูลได้เร็ว 10 Gb/s (STM-64) ได้อย่างสบาย และในเส้นใยแก้วหนึ่งเส้นสามารถส่งข้อมูลด้วยแสงได้มากถึง 32 ความยาวคลื่น ทำให้ระบบนี้สามารถรองรับปริมาณข้อมูลที่ มากถึง 2,560 Gb/s หรือ 2.56 Tb/s ได้ ความยาวของเคเบิลเส้นใยแก้วของทั้งโครงการคาดว่าประมาณ 300,000 กิโลเมตร เนื่องจากเป็นโครงการขนาดใหญ่ จึงต้องมีการวางแผนการทำงานเป็นเฟส ตัวอย่างเช่น เฟสแรกมีระยะทางประมาณ 168,000 กิโลเมตร (เป็นส่วนที่อยู่ใต้ทะเลประมาณ 154,000 กิโลเมตร) มีจุดขึ้นลงฝั่งทั้งหมด 96 จุด ใน 75 ประเทศ โครงการในเฟสนี้แล้วเสร็จในปลายปี ค.ศ. 2003 หลังจากนั้น จะดำเนินการติดตั้งเฟสต่อๆ ไป ซึ่งปัจจุบันได้ดำเนินการเสร็จสิ้นทั้งโครงการแล้ว

1.5 โครงข่ายเส้นใยแก้วและระบบสื่อสารดาวเทียม

ในขณะที่ในบ้านเราเริ่มมีการใช้งานดาวเทียมสื่อสารอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารข้อมูลโดยตรงระหว่างสถานีการแพร่กระจายสัญญาณภาพและเสียงไปยังผู้รับที่เป็นสมาชิก และการเชื่อมโยงสัญญาณข้อมูลในระบบโทรศัพท์มือถือ เหล่านี้ล้วนทำให้บางคนเกิดข้อสงสัยถึงความจำเป็นในการนำเส้นใยแก้วเข้ามาใช้ในระบบสื่อสาร ในการเปรียบเทียบระหว่างระบบดาวเทียมกับระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้ว พอจะสรุปโดยสังเขปได้ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 การเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยแก้วและดาวเทียมในระบบสื่อสาร

	ดาวเทียม	เส้นใยแก้ว
1. อายุการใช้งาน	10-20 ปี (หมดอายุตามเชื้อเพลิง)	มากกว่า 50 ปี (หมดอายุเพราะล้าสมัย)
2. ความเร็วในการส่งข้อมูล	เร็ว (ความเร็วตามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า)	เร็วกว่า (เพราะระยะทางอยู่บนผิวโลก จึงสั้นกว่า)
3. ปริมาณข้อมูล	ปานกลาง-มาก	มากมหาศาล
4. ต้นทุนต่อปริมาณข้อมูล	ปานกลาง	ถูกกว่า
5. เวลาในการติดตั้งระบบ	ประมาณ 2 ปี	ขึ้นอยู่กับขนาดของระบบ
6. การดูแลรักษา	ที่ตัวดาวเทียมไม่มี	กระทำเป็นช่วงเวลา
7. การพัฒนาจากระบบเดิม	ไม่มี	ทำได้ตลอดเวลา

การนำดาวเทียมมาใช้ในกิจการสื่อสารในบ้านเรามีมานานแล้ว ภายใต้การดำเนินงานของ บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) หรือชื่อเดิมคือการสื่อสารแห่งประทศไทย (กสท.) ซึ่งทำหน้าที่ติดตั้งสถานีรับส่งสัญญาณดาวเทียมโดยการเช่าเวลา เนื่องจากไม่มีดาวเทียมเป็นของตนเอง เพื่อติดต่อสื่อสารกับสถานีแม่ข่าย ศรีราชา โดยมีสถานีลูกข่ายทั่วประเทศไม่ต่ำกว่า 25 สถานีช่วยให้งานบริการสื่อสารสามารถครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศได้เป็นอย่างดี ต่อมาได้มีการขยายงาน โดยการเปิดสัมปทานให้กับบริษัทเอกชนในเครือของชินวัตร ที่ลงทุนส่งดาวเทียมของตนเองขึ้นสู่อวกาศ ในชื่อของ **“ไทยคม”** ซึ่งเป็นนามพระราชทาน

ในปัจจุบัน การสื่อสารข้อมูลระยะไกล ไม่จำเป็นต้องใช้ดาวเทียมเสมอไปอีกต่อไปแล้ว เพราะระบบสื่อสารข้อมูลด้วยโครงข่ายสายเคเบิลได้รับการพัฒนาจนครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้อย่างกว้างขวางทั่วโลก ยิ่งไปกว่านั้น สายเคเบิลทองแดงที่ใช้อยู่เดิมกำลังถูกแทนที่ด้วยเส้นใยแก้ว อย่างไรก็ตาม พัฒนาการเหล่านี้มิได้หมายความว่าระบบสื่อสารดาวเทียมกำลังจะหมดความสำคัญลงไป ในทางกลับกันระบบสื่อสารร่วมที่ใช้ทั้งโครงข่ายเส้นใยแก้วและดาวเทียมร่วมกัน จะทำให้เกิดระบบที่มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงกว่าเดิมมาก โดยโครงข่ายเส้นใยแก้วจะใช้รับส่งข้อมูลที่มีปริมาณมากๆ ระหว่างสถานีที่อยู่ในเมืองใหญ่ ในขณะที่ระบบสื่อสารดาวเทียมจะใช้ร่วมกับระบบไมโครเวฟ เพื่อสื่อสารข้อมูลในเขตพื้นที่กันดาล หรือเขตภูมิประเทศที่การเดินสายเคเบิลทำได้ไม่สะดวกและไม่คุ้มทุน เช่น ภายในหุบเขาลึก และแถบขั้วโลก เป็นต้น

อย่างไรก็ตามดาวเทียมยังมีประโยชน์อื่นนอกเหนือไปจากการใช้งานสื่อสาร เช่น การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ กิจการวิทยุสมัครเล่น และการตรวจสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น ซึ่งการใช้งานแบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ดาวเทียมขนาดใหญ่ แต่อาจใช้ดาวเทียมขนาดเล็กที่มีน้ำหนักเพียงไม่กี่สิบกิโลกรัมเท่านั้น ซึ่งเมืองไทยก็มีดาวเทียมประเภทนี้ ใช้งานอยู่ด้วยเช่นกันคือดาวเทียม “ไทพัฒ” (นามพระราชทาน) ซึ่งลงทุนและ

ดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และได้ส่งออกสู่วงโคจรสำเร็จเมื่อประมาณเดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2541 และยังคงใช้งานอยู่จนถึงปัจจุบัน

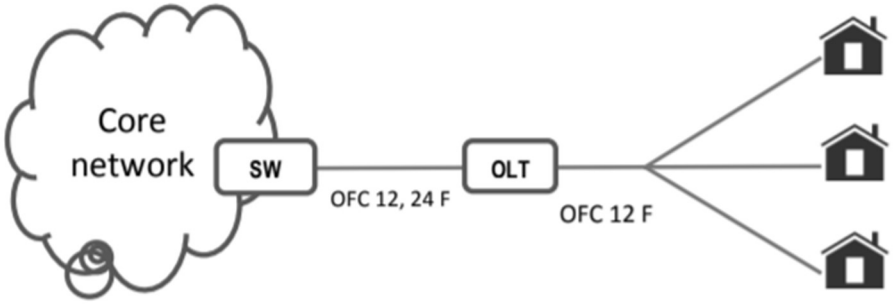
อนึ่ง ในการพิจารณาออกแบบสร้างโครงข่ายระบบสื่อสารโทรคมนาคมที่มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีหลายชนิดเข้าด้วยกัน ตัวอย่างเช่นในเรื่องของระบบสายส่ง ทั้งสายไฟทองแดง ระบบสื่อสารดาวเทียม ไมโครเวฟ และเส้นใยแก้ว ล้วนมีความจำเป็นอยู่ในโครงข่ายทั้งสิ้น เนื่องจากระบบสายส่งแต่ละชนิดล้วนมีข้อด้อยและข้อดีต่างกันในบางส่วนของโครงข่าย การเลือกใช้สายส่งอย่างหนึ่ง อาจให้ผลดีกว่าอีกอย่างหนึ่งก็ได้ โดยเฉพาะเมื่อต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าในการใช้งาน ราคาในการติดตั้ง และค่าใช้จ่ายดูแลรักษาตลอดอายุการใช้งาน เป็นต้น

1.6 ปัจจุบัน และอนาคตของเส้นใยแก้ว

เป็นที่ทราบกันดีว่า ระบบสื่อสารข้อมูลพื้นฐานแรกเริ่ม ก็คือระบบโทรศัพท์ที่จัดวางเป็นโครงข่ายขึ้นในพื้นที่ที่ให้บริการในการติดต่อสื่อสาร การนำระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วเข้ามาแทนที่ระบบสายโทรศัพท์เดิมไม่สามารถกระทำได้ในทันทีเพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียไปกับระบบเดิมซึ่งยังคงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ การนำระบบเส้นใยแก้วเข้ามา จึงต้องรอจังหวะแล้วนำเข้ามาแทรกเสริมกับระบบเดิม โดยต้องสามารถทำงานร่วมกันได้ซึ่งพอจะสังเกตเห็นได้จากการพัฒนาระบบสื่อสารในบ้านเรา ในช่วงเวลาสิบกว่าปีที่ผ่านมา ไม่ว่าจะเป็นการเดินสายเคเบิลเลียบทางรถไฟเพื่อเชื่อมโครงข่ายการสื่อสารระหว่างเมืองใหญ่ ระบบเคเบิลใต้น้ำทั้งภายในและระหว่างประเทศ เรื่อยไปจนถึงระบบ ISDN (Integrated Services Digital Network) ที่เริ่มเปิดให้บริการในเขตชุมสายใหญ่ๆ เป็นต้น ในปัจจุบันระบบสื่อสารข้อมูลด้วยเส้นใยแก้วสามารถส่งข้อมูลดิจิตอลที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูงๆ ได้มาก ตัวอย่างเช่น ระบบสื่อสาร ดิจิตอลของบริษัท AT&T ที่ร่วมกับ KDD ที่ทำการทดสอบตอนช่วงต้นทศวรรษ 1990 สามารถส่งข้อมูลขนาด 5 Gb/s (5 พันล้านบิตต่อวินาที) ไปได้ไกลถึง 7,000 กิโลเมตร โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Optical Fiber Amplifier ทำหน้าที่แทนสถานีทวนสัญญาณ โดยการจัดการกับข้อมูลในรูปของสัญญาณแสงโดยเฉพาะ จำนวน 274 ตำแหน่ง เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม เมื่อหันกลับมามองระบบสื่อสารปัจจุบันในบ้านเรา การเชื่อมโยงระหว่างโหนดสื่อสารขนาดใหญ่ใหญ่กับโหนดย่อย ระหว่างโหนดย่อยด้วยกันเอง รวมไปถึงการกระจายสายสัญญาณจากโหนดย่อยหรือตู้สาขาเข้าสู่บ้านพักอาศัย หรือที่เรียกว่า FTTH (Fiber To The Home) ได้มีการติดตั้งดำเนินการไปไม่น้อยแล้ว ซึ่งก็ถือว่าระบบสื่อสารโทรคมนาคมของเรามีทิศทางการพัฒนาในอัตราก้าวหน้าที่ดี ระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น SDH/SONET หรือระบบสื่อสัญญาณความเร็วสูง เป็นระบบที่มีหน่วยงานหลายแห่งใช้อยู่ในปัจจุบัน รวมไปถึงโครงข่ายบางส่วนของระบบโทรศัพท์ในประเทศด้วย นอกจากนี้ระบบสื่อสารที่ใช้เส้นใยแก้วทั้งระบบเชื่อมโยงไปยังผู้ใช้โดยตรงอย่าง FTTH ก็ได้มีการนำมาใช้ในบ้านเราบ้างแล้วเริ่มจากในเมืองใหญ่ๆ รวมไปถึงในเขตชนบท เช่นโครงการเน็ตประชารัฐของรัฐบาลที่ได้ดำเนินการเสร็จสิ้นในช่วงปี พ.ศ. 2560 ทำให้โครงสร้างพื้นฐานด้านการสื่อสารของประเทศมีความทัดเทียมกับอารยะประเทศเลยทีเดียว

โครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคมถือเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้ายิ่งขึ้น ในปี พ.ศ. 2560 รัฐบาลโดยกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ได้เร่งรัดดำเนินโครงการเน็ตประชารัฐ ซึ่งถือเป็นโครงการหนึ่งที่ นำพาประเทศไทยก้าวสู่ “ไทยแลนด์ 4.0” โดยการขยายโครงข่ายอินเตอร์เน็ตความเร็วสูงทั่วทุกภูมิภาคของประเทศให้มีความเร็วเริ่มต้นที่ 30 Mbps/10 Mbps สำหรับการสื่อสัญญาณแบบดาวน์โหลดและอัปโหลด (download/upload) โครงการเน็ตประชารัฐเป็นการติดตั้งระบบโครงข่ายเคเบิลเส้นใยนำแสงไปยังผู้ใช้ (user) ในพื้นที่หมู่บ้านทั่วประเทศที่ยังไม่มีบริการอินเตอเน็ตความเร็วสูงหรือหมู่บ้านที่เพิ่งเริ่มมีศักยภาพในเชิงพาณิชย์ (พื้นที่โซน C และ C+ ตามนิยามที่กำหนดโดย กสทช.) [13] จำนวน 24,700 หมู่บ้าน (สำหรับเฟสแรกนี้) เพื่อให้บริการอินเตอร์เน็ตไร้สายหรือไวฟาย (wifi) แบบไม่คิดค่าใช้จ่ายในพื้นที่สาธารณะของหมู่บ้าน ๆ ละ 1 จุด ทั้งนี้ เพื่อลดความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงเทคโนโลยี อีกทั้งเพิ่มโอกาสการในการเรียนรู้ และการใช้ประโยชน์จากอินเตอร์เน็ตแก่ประชาชนในพื้นที่ห่างชุมชนเมือง โครงการนี้ มีงบประมาณร่วม 13,000 ล้านบาท



รูปที่ 1.14 สถาปัตยกรรมโครงข่ายการเข้าถึงแบบ FTTH ที่ ใช้เส้นใยนำแสง

ส่วนประกอบพื้นฐานของโครงข่าย FTTx ที่ใช้ในโครงการเน็ตประชารัฐ เป็นการต่อเชื่อมเคเบิลเส้นใยนำแสงขนาด 24 แกน (core) หรือ 12 แกน (core) (ขึ้นกับจำนวนผู้ให้บริการ) เข้ากับโครงข่ายหลักด้วยอุปกรณ์สวิตช์ (SW) ของผู้ให้บริการหรือโอเปอเรเตอร์ไปยัง OLT (Optical Line Terminal) เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างต้นทางกับปลายทาง จากนั้นจะใช้เคเบิลเส้นใยนำแสงขนาด 12 แกน (core) พาดบนเสาไฟฟ้าไปยังหมู่บ้านเป้าหมายสิ้นสุดที่ ONU (optical Network unit) หรือ ONT (optical network terminal) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ปลายทางแปลงสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์กระจายสัญญาณแบบไร้สาย (wireless access point) เพื่อให้บริการไวฟาย (wifi) ไปยังอุปกรณ์ปลายทางของผู้ใช้งาน เช่น โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟน แทบเล็ตคอมพิวเตอร์ (tablet computer) และเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา (notebook computer) เป็นต้น

จากตัวอย่างโครงข่ายเคเบิลเส้นใยนำแสงข้างต้นจะเห็นว่า ปัจจุบันมีการใช้งานเคเบิลเส้นใยนำแสงเป็นจำนวนมากภายในประเทศโดยเฉพาะเคเบิลเส้นใยนำแสงชนิดแขวนอากาศที่ใช้พาดเสาไฟฟ้า ดังนั้น การควบคุมให้มีการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้เกิดความมั่นใจว่าได้โครงข่าย

ที่มีคุณภาพ การสื่อสัญญาณมีเสถียรภาพไม่ล่าช้าหรือหลุดบ่อยเกินความจำเป็นในขณะระบบทำงานและให้บริการ รวมถึงการมีอายุการใช้งานที่ยืนยาวอีกด้วย การกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมที่เน้นคุณสมบัติทางเทคนิคของเคเบิลเส้นใยนำแสงที่ใช้ในประเทศไทยจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้เกิดความมั่นใจต่อผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นการยกระดับตามมาตรฐานสู่สากลอีกด้วย วิศวกรที่ทำงานเกี่ยวกับระบบสื่อสารไม่เพียงแต่เข้าใจหลักการทำงานทางเทคนิคที่สำคัญ แต่ควรที่จะให้ความสนใจเกี่ยวกับมาตรฐานทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องอีกด้วย

กล่าวโดยสรุป บทบาทของเส้นใยแก้วในวงการสื่อสารยังมีอีกมากมาย ไม่ว่าจะเป็นระบบโครงข่ายหลักอย่าง SDH/SONET โครงข่ายการเข้าถึงอย่าง FTTX ระบบเครือข่ายท้องถิ่นหรือแลน (LAN: Local Area Network) ความเร็วสูง เรื่อยมาจนถึงอุปกรณ์เฉพาะงานที่มีขนาดเล็กเหล่านี้ ล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ยืนยันได้ว่า บทบาทของเส้นใยแก้วและเทคโนโลยีทางแสง ยังมีทิศทางและรูปแบบในการพัฒนาไปอีกได้ไกลเลยทีเดียว

2. แสงกับเส้นใยแก้ว

2.1 เส้นใยแก้วและพารามิเตอร์เบื้องต้นที่สำคัญ

ในตอนนี้จะขอทบทวนนิยามของเส้นใยแก้วที่ได้กล่าวไว้บ้างแล้วบทที่ 1 โดยจะเพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่สำคัญลงไป นิยามของเส้นใยแก้ว หมายถึง ท่อนำสัญญาณแสงที่มีขนาดเล็กตันทรงกระบอกคล้ายเส้นเอ็น ทำจากวัสดุโปร่งแสง (เช่น แก้วหรือพลาสติกใส) เส้นใยแก้วมีคุณสมบัติที่สำคัญคือมีค่าการลดทอนสัญญาณต่ำ (low attenuation) จึงมีความสามารถในการนำสัญญาณแสงได้ดีมาก การที่เส้นใยแก้วมีค่าการลดทอนสัญญาณต่ำเกิดจากสาเหตุหลักสองประการคือ

- เส้นใยแก้วทำจากวัสดุโปร่งแสงที่มีความบริสุทธิ์ของเนื้อสารสูง และ
- โครงสร้างหลักของเส้นใยแก้วที่ประกอบด้วยส่วนของแกนหรือคอร์ (core) เป็น แท่งกลมอยู่ในแนวกึ่งกลางของเส้นใย และถูกล้อมรอบด้วยส่วนของ**เปลือกหุ้มแกน หรือแคลดดิ้ง (Cladding)** โดยที่ค่าดรรชนีหักเหของคอร์ (ต่อไปนี้สมมุติให้มีค่า เท่ากับ n_1 เว้นแต่มีการระบุเป็นอื่น) มักมีค่าสูงกว่าของแคลดดิ้ง (ต่อไปนี้สมมุติให้ มีค่าเท่ากับ n_2 เว้นแต่มีการระบุเป็นอื่น) เล็กน้อย ซึ่งการที่ $n_1 > n_2$ ถือเป็นเทคนิคสำคัญที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด หรือ TIR ทำให้แสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วถูกจำกัดให้อยู่เฉพาะในส่วนที่เป็นคอร์เท่านั้น พลังงานแสงจึงไม่มีการสูญเสียออกไปในแคลดดิ้งหรือออกนอกเส้นใยแก้ว

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์จะมีค่าประมาณอยู่ระหว่าง 3-62.5 ไมครอน (ไมโครเมตร) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้ง ที่มักใช้เป็นตัวกำหนดขนาด ของเส้นใยแก้วทั้งเส้นมีค่าประมาณ 80-400 ไมครอน ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยแก้ว โดยทั่วไปเส้นใยแก้วที่ใช้กันในระบบสื่อสารส่วนใหญ่มักจะมีขนาดมาตรฐานคือ 125 ไมครอน (0.125 มิลลิเมตร) ในการแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วจะแสดง

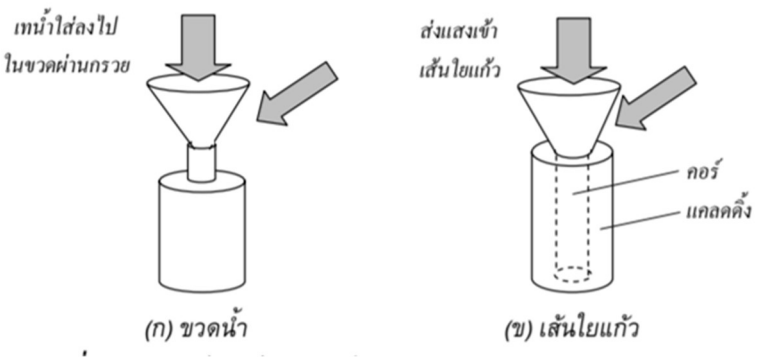
ขนาดของคอร์และของแคลดดิ้งไปพร้อมกันเลย เช่น 10/125 จะหมายถึงเส้นใยแก้วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์เท่ากับ 10 ไมครอน (ระบุโดยตัวเลขด้านหน้า) และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้งเท่ากับ 125 ไมครอน (ระบุโดยตัวเลขด้านหลัง) โดยปกติมักมีการระบุหน่วยลงไปหลังตัวเลข แต่การที่ไม่ได้ระบุหน่วยลงไปดังตัวอย่างนี้ถือเป็นที่เข้าใจกันว่าหมายถึงหน่วยของไมครอน ข้อสังเกตก็คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์มักมีส่วนช่วยในการพิจารณาชนิดของเส้นใยแก้วได้ด้วย ยกตัวอย่างเช่น เส้นใยแก้วชนิดโหมดเดี่ยว (single-mode fiber) จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์เล็กกว่า ประมาณ 3-10 ไมครอน ในขณะที่เส้นใยแก้วชนิดโหมดร่วม (multimode fiber) จะมีขนาดของคอร์ใหญ่กว่า ประมาณ 15-65 ไมครอน เป็นต้น (รายละเอียดเกี่ยวกับชนิดของเส้นใยแก้ว อยู่ในบทที่ 3)

ในการศึกษาเกี่ยวกับเส้นใยแก้วและการประยุกต์ใช้งาน จำเป็นที่จะต้องทราบถึงพารามิเตอร์พื้นฐานของเส้นใยแก้ว เพื่อประโยชน์ในการออกแบบเส้นใยแก้วและระบบสื่อสารเชิงแสงที่ใช้เส้นใยแก้วเป็นสายส่งสัญญาณ ซึ่งพารามิเตอร์เบื้องต้นที่สำคัญของเส้นใยแก้ว พอสรุปได้ดังนี้

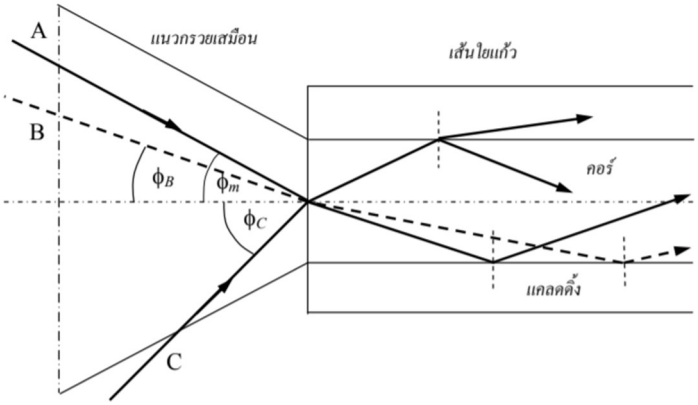
(1) ค่าดรรชนีหักเหของสารที่ใช้ทำเส้นใยแก้ว

ในกรณีของเส้นใยแก้วโดยทั่วไป ค่าดรรชนีหักเหของคอร์ n_1 จะมีค่าประมาณ 1.479 ซึ่งถือเป็นค่าดรรชนีหักเหของแก้วบริสุทธิ์หรือซิลิกา (SiO_2) ในขณะที่ค่าดรรชนีหักเหของแคลดดิ้ง n_2 มักจะมีค่าต่ำกว่าอยู่เล็กน้อยคือมีค่าประมาณ 1.457 อันเป็นผลมาจากการเจือหรือโด๊ป (doped) สารอื่นปนเข้าไปในเนื้อแก้วบริสุทธิ์ ในขณะที่เส้นใยแก้วบางชนิด อาจใช้เนื้อแก้วบริสุทธิ์เป็นแคลดดิ้ง แล้วทำการเติมสารเจือ (doped) เข้าไปในส่วนของแก้วที่เป็นคอร์เพื่อทำให้ได้วัสดุที่มีค่าดรรชนีหักเหเพิ่มขึ้น การที่ค่าดรรชนีหักเหของคอร์และแคลดดิ้งเป็นไปในลักษณะเช่นนี้ก็เพื่อต้องการให้เกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมด (TIR) ของแสงในเส้นใยแก้ว นอกจากนี้ยังช่วยกำหนดมุมในการรับแสงเข้าสู่เส้นใยแก้วซึ่งมีรายละเอียดในข้อถัดไปอีกด้วย

(2) Numerical Aperture (NA)



รูปที่ 2.9 ภาพเปรียบเทียบแสดงลักษณะความหมายของ Numerical Aperture



รูปที่ 2.10 ภาพมุมสูงสุด $\emptyset_m$ ที่รองรับแสงสำหรับการเดินทางตลอดความยาวเส้นใยแก้ว

ค่าของนิวเมอริคอลอะเพอเจอร์ (Numerical Aperture) หรือ NA เป็นพารามิเตอร์ที่บอกขอบเขตหรืออาณาบริเวณที่ปลายเส้นใยแก้วสำหรับรับแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วหรือปล่อยแสงออกมาจากเส้นใยแก้ว ทั้งนี้ให้ลองจินตนาการเปรียบเทียบตอนปลายเส้นใยแก้วเสมือนเป็นปากขวดใส่น้ำที่มีกรวยสอดอยู่ดังรูปที่ 2.9 เมื่อต้องการกรอกน้ำใส่ขวด จะต้องควบคุมให้น้ำเข้าไปในกรวยเท่านั้น หากน้ำที่เทลงไปอยู่ในทิศทางหรือมุมที่กรวยรับไม่ได้น้ำนั้นก็ไม่สามารถจะไหลเข้าขวดได้ ในทำนองเดียวกันลำแสงที่ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วแล้วสามารถเดินทางอยู่ในคอร์ตลอดระยะทาง จะต้องทำมุมกับปลายเส้นใยแก้วให้อยู่ภายในขอบเขตของกรวยเสมือนดังรูปที่ 2.9(ข) หากแสงที่ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วทำมุมมากกว่าความกว้างของปากกรวย ดังเช่นแสงในแนว C ในรูปที่ 2.10 แสงอาจเดินทางเข้าไปในส่วนของคอร์ของเส้นใยแก้วได้ แต่เมื่อแสงไปกระทบรอยต่อระหว่างคอร์กับแคลดดิ้ง แสงบางส่วนจะทะลุออกไปในส่วนของแคลดดิ้ง และเมื่อแสงกระทบรอยต่อระหว่างคอร์และแคลดดิ้งไปเรื่อยๆ พลังงานก็จะสูญเสียเพิ่มขึ้นและหมดไปในที่สุดเพียงช่วงระยะทางสั้นๆ ของการเดินทางในเส้นใยแก้วเท่านั้น ขนาดความกว้างของปากกรวยสมมติกำหนดด้วยค่าของมุม $\emptyset_m$ ที่ทำกับแกนกลางของเส้นใยแก้ว ซึ่งถือเป็นค่ามุมสูงสุดในการรับแสง (acceptance angle) เพื่อทำให้แสงเดินทางอยู่ภายในคอร์ได้ตลอดการเดินทางจากปลายด้านหนึ่งสู่ปลายอีกด้านหนึ่งของเส้นใยแก้ว โดยไม่มีการสูญเสียกำลังงานแสงเข้าสู่แคลดดิ้ง (ซึ่งสัมพันธ์กับค่าของ NA ตามสมการ NA = $\sin\emptyset_m$) เมื่อ $\emptyset_m$ เป็นค่ามุมสูงสุดของการรับแสง และเมื่อพิจารณาปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงในเส้นใยแก้วจากรูปที่ 2.10 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NA กับค่าดรรชนีหักเหของคอร์และแคลดดิ้ง (รายละเอียดทางคณิตศาสตร์แสดงในหัวข้อ 4.3) ดังนี้

$$NA = \sin(\phi_m) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \qquad (2.8)$$

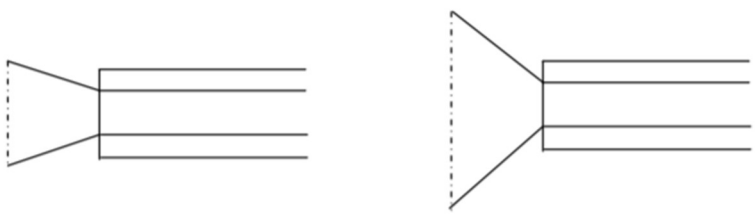
นอกจากนี้ค่าของ NA ยังสามารถแสดงได้ในเทอมของค่าความแตกต่างระหว่างค่าดรรชนีหักเหของคอร์กับแคลดดิ้ง (refractive index difference) ซึ่งค่าความแตกต่างนี้แทนด้วยสัญลักษณ์ Δ และนิยามให้มีค่าเป็นดังสมการ [7]

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \qquad (2.9)$$

โดยเมื่อทำการจัดรูปสมการที่ (2.8) ให้ประกอบด้วยเทอมของสมการที่ (2.9) จะได้

$$NA = n_1\sqrt{2\Delta} \qquad (2.10)$$

เส้นใยแก้วที่มีค่าของ NA มาก จะมีมุมรองรับแสง ($\emptyset_m$) กว้าง หรือเสมือนกับมีปากกรวยรับแสงกว้าง ในขณะที่เมื่อ NA มีค่าน้อย มุมรองรับแสง ($\emptyset_m$) ของเส้นใยแก้วก็จะเล็ก หรือมีปากกรวยรับแสงเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.11



(ก) เส้นใยแก้วที่มีค่า NA น้อย *(ข) เส้นใยแก้วที่มีค่า NA มาก*

รูปที่ 2.11 เส้นใยแก้วมีมุมรองรับแสงที่ต่างกันขึ้นอยู่กับค่าของ NA

ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งก็คือ การที่เส้นใยแก้วมีมุมรองรับแสงได้มาก (NA มีค่ามาก) ทำให้สามารถส่งแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วได้มากกว่าเส้นใยแก้วที่มีค่า NA น้อยๆ ในทำนองเดียวกัน จำนวนโหมดของแสง (ดูบทที่ 3) ที่เดินทางอยู่ภายในเส้นใยแก้วก็จะมีจำนวนมากกว่าด้วย ดังนั้น ในบางครั้งเราอาจบอกได้ทันทีว่า เส้นใยแก้วมีค่า NA มากมักจะเป็นชนิดโหมดร่วม (multimode fiber) ในขณะที่เส้นใยแก้วที่มีค่า NA น้อยๆ มักจะเป็นชนิดโหมดเดี่ยว (single-mode fiber)

ตัวอย่างที่ 2.4

จงหาค่าของความแตกต่างของดรรชนีหักเหระหว่างคอร์และแคลดดิ้ง ในตัวอย่างที่ 2.3

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

แทนค่า $n_1 = 1.479$ และ $n_2 = 1.357$

จะได้ $\Delta = \frac{1.479^2 - 1.357^2}{2 \times 1.479^2} = 0.079$ ตอบ

หรือในบางครั้งมักจะแสดงค่าในเทอมของเปอร์เซ็นต์ คือ Δ = 7.9% ตอบ

---

(3) ค่าการลดทอนสัญญาณ (attenuation หรือ loss)

ค่าการลดทอนสัญญาณของแสงในเส้นใยแก้ว (fiber attenuation หรือ fiber loss) หรือเรียกสั้นๆ ว่า การลดทอนสัญญาณ เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ ที่ทำให้แสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วสูญเสียกำลังงาน ส่งผลให้มีค่าความเข้มแสงลดลงไปตามระยะทาง การที่เส้นใยแก้วมีค่าการลดทอนสัญญาณต่ำทำให้แสงสามารถเดินทางไปได้ไกล โดยปกติเส้นใยแก้วแต่ละชนิดจะมีค่าการลดทอนสัญญาณไม่เท่ากัน อีกทั้งเส้นใยแก้วเส้นเดียวกัน ก็ยังมีค่าการลดทอนสัญญาณที่ไม่เท่ากัน เมื่อแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนั้นมีค่าความยาวคลื่นแตกต่างกัน สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับการลดทอนสัญญาณในเส้นใยแก้ว จะกล่าวถึงอย่างละเอียดในบทที่ 4

(4) ผลคูณระหว่างแบนด์วิดท์กับระยะทาง (Bandwidth-Distance Product) ผลคูณระหว่างแบนด์วิดท์กับระยะทางหรือ Bandwidth-Distance Product เป็นพารามิเตอร์ที่บอกให้ทราบค่าแบนด์วิดท์สูงสุดหรือปริมาณข้อมูลมากสุด ที่สามารถส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วเส้นนั้นได้โดยข้อมูลไม่มีการบกพร่องสูญหาย โดยปกติเส้นใยแก้วที่มีระยะทางใกล้ จะรับส่งข้อมูลที่มีปริมาณได้มากกว่าเส้นใยแก้วชนิดเดียวกันแต่มีระยะทางไกลออกไป ดังนั้น เพื่อมิต้องมากังวลเกี่ยวกับระยะทางในแต่ละกรณีที่มีการใช้งานเส้นใยแก้ว จึงได้มีการกำหนดพารามิเตอร์นี้ขึ้นมา เพื่อใช้แสดงค่าของแบนด์วิดท์ต่อหน่วยความยาว ตัวอย่างเช่น เส้นใยแก้วเส้นหนึ่งมีค่า Bandwidth Distance Product เท่ากับ 100 MHz-km หมายความว่า หากใช้เส้นใยแก้วชนิดนี้เชื่อมต่อระหว่างสถานีเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร (km) จะรับส่งข้อมูลที่มีปริมาณได้สูงสุดไม่เกิน 100 MHz แต่ถ้าระยะห่างระหว่างสถานีเป็น 10 กิโลเมตร จะรับส่งข้อมูลที่มีปริมาณลดลงโดยสูงสุดไม่เกิน 10 MHz เป็นต้น จากตัวอย่างนี้สามารถสร้างสมการเพื่อคำนวณหาค่าของแบนด์วิดท์สูงสุด (B) ได้ดังนี้

$$B = B_L/L$$

เมื่อ B_L เป็นค่า Bandwidth-Distance Product และ L เป็นระยะทางที่ใช้ข้อมูล ซึ่งจากสมการนี้จะเห็นว่าหน่วยของระยะทางจะถูกตัดออกไป เหลือเพียงแต่หน่วยของแบนด์วิดท์เท่านั้น สำหรับหน่วยของ Bandwidth-Distance Product มักมีหน่วยเป็น ความถี่-ระยะทาง เมื่อคำนึงถึงระบบแอนะล็อก (analog) หรือ อัตราการส่งข้อมูล (bit rate) – ระยะทาง เมื่อคิดในเทอมของระบบดิจิตอล

2.2 ชนิดของเส้นใยแก้ว

การจำแนกเส้นใยแก้วเป็นประเภทต่างๆ สามารถกำหนดได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับว่าจะใช้สิ่งใดในการพิจารณา โดยทั่วไปที่นิยมกันมักจะพิจารณาถึงสองสิ่งคือ

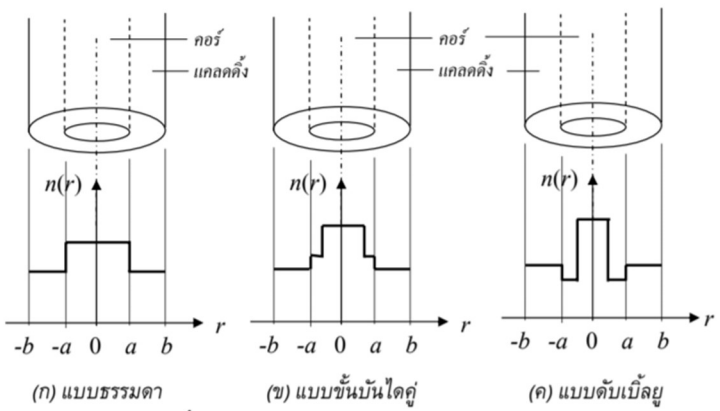
- โครงสร้างของเส้นใยแก้ว
- โหมดการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้ว

สำหรับการแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วตามโหมดการเดินทางจะกล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อที่ 2.7 ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการจำแนกเส้นใยแก้วโดยคำนึงถึงโครงสร้างของเส้นใยแก้วเป็นสำคัญ ซึ่งจะรวมไปถึงการ

กำหนดค่าดรรชนีหักเหของคอร์และแคลดดิ้งใน ลักษณะต่างๆ ที่มีผลทำให้เส้นใยแก้วมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 เส้นใยแก้วชนิดแกนสมมาตร (Axisymmetrical Optical Fiber)

เส้นใยแก้วที่มักเห็นใช้งานกันอยู่ทั่วไป มักมีโครงสร้างเป็นแบบแกนสมมาตร (axisymmetry) กล่าวคือ รูปร่างของกราฟที่แสดงค่าดรรชนี (refractive index profile) ในทิศทางที่ออกจากแกนกลางของเส้นใยแก้ว (fiber axis) หรือจุดศูนย์กลางของเส้นใยแก้วในแนวรัศมี (r) จะมีลักษณะที่สมมาตรกัน ซึ่งสามารถจำแนกย่อยออกไปได้อีก คือ



รูปที่ 2.12 เส้นใยแก้วชนิดสเต็ปอินเด็กซ์แบบต่างๆ

เส้นใยแก้วชนิดสเต็ปอินเด็กซ์ (มักใช้สัญลักษณ์ย่อว่า SI) หมายถึงเส้นใยแก้วที่ค่าดรรชนีหักเหของคอร์และของแคลดดิ้งมีค่าคงที่ในการแสดงค่าดรรชนีหักเหของเส้นใยแก้ว มักแสดงด้วยลักษณะของกราฟที่แสดงค่าดรรชนีหักเหในแนวภาคตัดขวาง หรือแนวหน้าตัดของเส้นใยแก้ว เรียกว่า refractive index profile โดยค่าดรรชนีหักเหจะเป็นฟังก์ชันของรัศมี (r) เส้นใยแก้วชนิดสเต็ปอินเด็กซ์นี้ จะมีกราฟเป็นลักษณะของขั้นบันได ซึ่งแสดงให้เห็นถึงค่าดรรชนีหักเหที่มีค่าคงที่แน่นอนในช่วงระยะหนึ่งของแนวรัศมีดังรูปที่ 2.12 ดังนั้น ตำราภาษาไทยบางฉบับจึงเรียกชื่อเส้นใยแก้วชนิดนี้ว่า เป็นแบบดรรชนีขั้นบันได (ซึ่งความจริงมาจากคำว่า step ที่แปลว่าขั้น) ค่าของดรรชนีหักเหจากกราฟในแนวแกนตั้ง แทนด้วยสัญลักษณ์ n(r) เนื่องจากเป็นค่าที่เป็นฟังก์ชันของรัศมี r ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้

รูปที่ 2.12(ก) เป็นตัวอย่างของเส้นใยแก้วชนิดสเต็ปอินเด็กซ์แบบธรรมดา โดยที่คอร์จะมีค่าดรรชนีหักเหคงที่ตลอดเนื้อสาร (uniform-core optical fiber) ซึ่ง สามารถแสดงสมการของ n(r) ได้เป็น

$$n(r)=\begin{cases} n_1, & 0\le r\le a \\ n_2=n_1\sqrt{1-2\Delta}, & a\le r\le b \end{cases} \qquad (2.12)$$

เมื่อ r เป็นระยะในแนวรัศมีที่พุ่งออกจากแกนกลาง (หรือจุดศูนย์กลาง) ของเส้นใยแก้ว

a เป็นรัศมีของคอร์

b เป็นรัศมีของแคลดดิ้ง (หรือก็คือรัศมีของเส้นใยแก้วนั่นเอง)

Δ เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงค่าความแตกต่างของดรรชนีหักเห (refractive index difference) ระหว่างคอร์และแคลดดิ้งของเส้นใยแก้ว มีค่าตามสมการที่ (2.9)

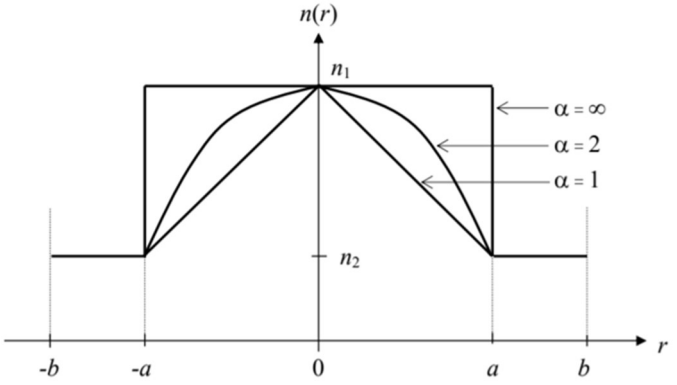
สำหรับรูปที่ 2.12(ข) เป็นตัวอย่างของเส้นใยแก้วแบบขั้นบันไดคู่ที่มีค่าดรรชนีหักเหของคอร์คงที่อยู่สองค่า (dual-shape-core optical fiber) และรูปที่ 2.12(ค) เป็นตัวอย่างของเส้นใยแก้วที่มีค่าดรรชนีหักเหของคอร์คงที่อยู่สองค่าเช่นกัน แต่รูปร่างของกราฟมีลักษณะคล้ายตัวดับเบิ้ลยูในภาษาอังกฤษ (W-type optical fiber)

2.2.2 เส้นใยแก้วชนิดเกรดเด้ดอินเด็กซ์ (Graded-Index Fiber)

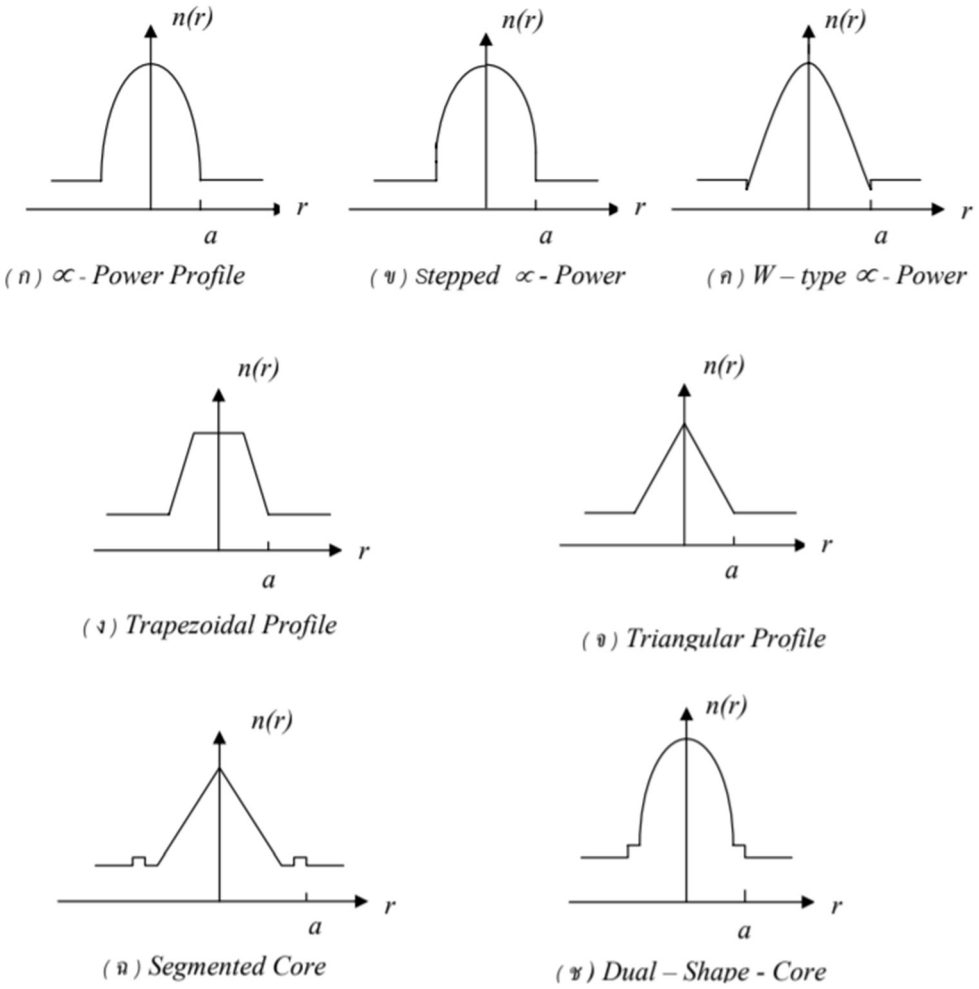
เส้นใยแก้วชนิดเกรดเด้ดอินเด็กซ์ (ใช้สัญลักษณ์ย่อเป็น GRIN หรือ GI) หรือ บางคนจะเรียกว่าเป็นชนิดดรรชนีลาด หมายถึงเส้นใยแก้วที่มีค่าดรรชนีหักเหของคอร์ เปลี่ยนแปลงไปตามแนวรัศมีที่พุ่งออกจากแกนกลางของเส้นใยแก้ว โดยทั่วไปที่ตำแหน่งในแนวศูนย์กลางของเส้นใยแก้วมักมีค่าดรรชนีหักเหสูงสุด จากนั้นค่าดรรชนีหักเหจะค่อยๆ ลดลงไปตามระยะทางที่ห่างออกจากแนวศูนย์กลางตามลำดับ จนมีค่าเท่ากับค่าดรรชนีหักเหของแคลดดิ้งในตำแหน่งที่คอร์ต่อกับแคลดดิ้งพอดี ในขณะที่ค่าดรรชนีหักเหของแคลดดิ้งจะมีค่าคงที่ตลอดเนื้อสาร ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดรรชนีหักเหของเส้นใยแก้วชนิดเกรดเด้ดอินเด็กซ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าดรรชนีหักเหของคอร์อย่างต่อเนื่อง สามารถแสดงได้ด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ขึ้นกับค่ารัศมี หรือ n(r) ดังนี้

$$n^2(r)=\begin{cases} n_1^2\left[1-2\Delta\left(\dfrac{r}{a}\right)^{\alpha}\right], & 0\le r\le a \\ n_1^2(1-2\Delta)=n_2^2, & a\le r\le b \end{cases} \qquad (2.13)$$

เมื่อ r, a, b, และ Δ เป็นตัวแปรที่ได้แสดงนิยามไว้แล้วในตอนต้น ส่วน α หรือ ตัวเลขยกกำลัง (power-law) เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดรูปร่างของกราฟที่แสดงค่าดรรชนีหักเห (refractive index profile) ตัวอย่างเช่น ถ้า α = 1 รูปร่างของกราฟที่แสดงค่าดรรชนีหักเหของคอร์หรือค่าของ n(r) ในช่วงของ $0 \le r < a$ จะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม (triangular profile) ในขณะที่ ถ้า α = 2 เส้นใยแก้วชนิดเกรดเด้ดอินเด็กซ์จะมีรูปร่างของกราฟในช่วงเดียวกันนี้เป็นรูปพาราโบลาเรียกว่า parabolic profile fiber และถ้า α มีค่ามากขึ้นไปเรื่อยๆ รูปกราฟจะมีลักษณะโค้งออกมากขึ้น ตามค่าของ α จนในที่สุดเมื่อ α มีค่าเป็นอนันต์หรือ $\alpha = \infty$ (infinity) สมการที่แสดง ค่าของ n(r) จะมีรูปแบบเดียวกับสมการที่ (2.12) และเส้นใยแก้วจะจัดอยู่ในประเภท ของสเต็ปอินเด็กซ์แบบธรรมดา ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 รูปร่างของกราฟที่แสดงค่าดรรชนีหักเหของเส้นใยแก้วที่มีค่าของ α ต่าง ๆ



รูปที่ 2.14 เส้นใยแก้วชนิดเกรดเด้ดอินเด็กซ์ในรูปแบบต่างๆ

รูปร่างของกราฟที่แสดงค่าดรรชนีหักเหของเส้นใยแก้วชนิดเกรดเด้ดอินเด็กซ์ สามารถถูกดัดแปลงให้มีรูปร่างแตกต่างจากของเดิมได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานให้ดีขึ้น [8] ลักษณะของเส้นใยแก้วชนิดเกรดเด้ดอินเด็กซ์ในรูปแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.14 โดยที่รูป 2.14(ก), (ข) และ (ค) ถูกออกแบบเพื่อลดการกระเจิงของสัญญาณแสงที่เป็นโหมดร่วม (multimode dispersion) เส้นใยแก้วในรูปที่ 2.14 (ง), (จ), (ฉ) และ

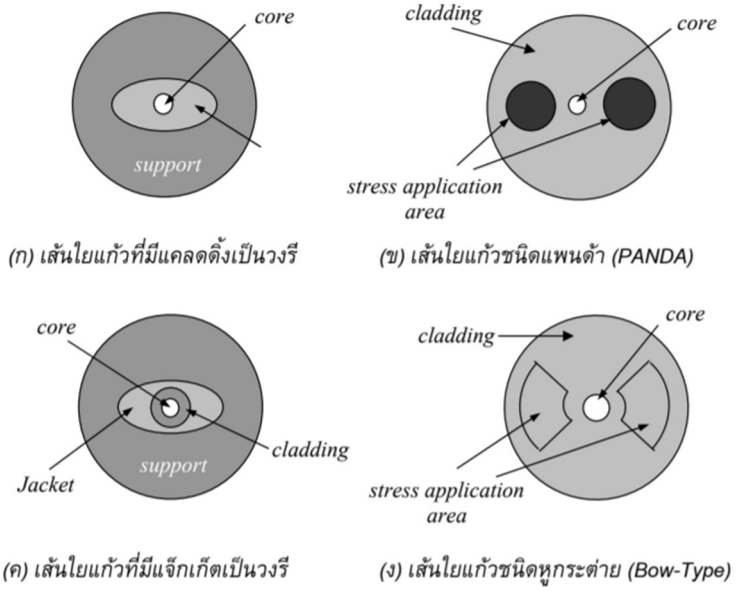
(ช) เป็นเส้นใยแก้วชนิดดิสเพอร์ชั่นชิฟเต็ด (DSF: dispersion shifted fiber) แต่เส้นใยแก้วชนิดเซ็กเมนต์เต็ดคอร์ในรูป (ฉ) และชนิดดูอัลเชบคอร์ในรูป (ช) จะมีคุณสมบัติในการใช้งานที่ดีกว่า โดยเฉพาะเมื่อต้องมีการต่อเชื่อมเส้นใยแก้ว หรือทำการโค้งงอในขณะเดินสายติดตั้ง

2.2.3 เส้นใยแก้วชนิดแกนไม่สมมาตร (Non-Axisymmetrical Optical Fiber)

เส้นใยแก้วชนิดแกนไม่สมมาตร (non-axisymmetry) มักถูกออกแบบเพื่อการใช้งานแบบโหมดเดี่ยวที่มีความสามารถในการรักษาทิศทางของโพราไรเซชันให้คงเดิม ได้ตลอดระยะทางที่แสงเดินทางในเส้นใยแก้ว [9] ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสมมาก กับระบบสื่อสารด้วยแสงชนิดโคฮีเรนต์ (coherent optical communication) เส้นใยแก้วที่มีคุณสมบัติเช่นนี้เรียกว่าแบบ PMF (Polarization Maintaining Fiber) ซึ่งสามารถจำแนกย่อยออกได้ดังนี้

(1) ชนิด Stress-Induced Birefringence

เส้นใยแก้วชนิดนี้ถูกออกแบบให้แคลดดิ้งเกิดมีความเค้น (stress) มากระทำในลักษณะใดลักษณะหนึ่งอันจะส่งผลให้เกิดความเค้นต่อไปยังคอร์อีกต่อหนึ่ง ผลของการเกิดความเค้นในตำแหน่งที่เหมาะสม จะทำให้ค่าดรรชนีหักเหของคอร์ในแต่ละแนวมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติของไบรีฟรินเจนต์ (birefringent) เส้นใยแก้วที่มีคุณสมบัติในทำนองนี้สามารถแสดงด้วยภาพในแนวตัดขวางดังรูปที่ 2.15 ซึ่งในรูปที่ 2.15(ก) แคลดดิ้งจะถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นวงรี ส่วนรูปที่ 2.15(ข) บางส่วนของแคลดดิ้งถูกกำหนดให้มีค่าความเค้น (ที่มีลักษณะวงกลม 2 ข้าง ขนาบอยู่ข้างคอร์) แตกต่างออกไปจากส่วนอื่น ซึ่งเมื่อมองจากรูปจะเห็นว่ามีรูปร่างคล้ายกับหน้าตาของหมีแพนด้า จึงเรียกเส้นใยแก้วแบบนี้ว่าชนิดแพนด้า (PANDA) สำหรับรูปที่ 2.15(ค) แคลดดิ้งยังคงมีลักษณะเดียวกับเส้นใยแก้วทั่วไป แต่เปลือกหุ้มเส้นใยแก้ว หรือโค้ดติ้ง (coating) มีลักษณะเป็นวงรี ส่วนรูปที่ 2.15(ง) มีหลักการในทำนองเดียวกันกับรูปที่ 2.15(ข) เพียงแต่พื้นที่ที่เกิดความเค้นมีรูปร่างแตกต่างกัน โดยมีลักษณะเป็นรูรูปหูกระต่าย เส้นใยแก้วชนิดนี้จึงถูกเรียกว่า แบบหูกระต่าย (Bow-Tie)



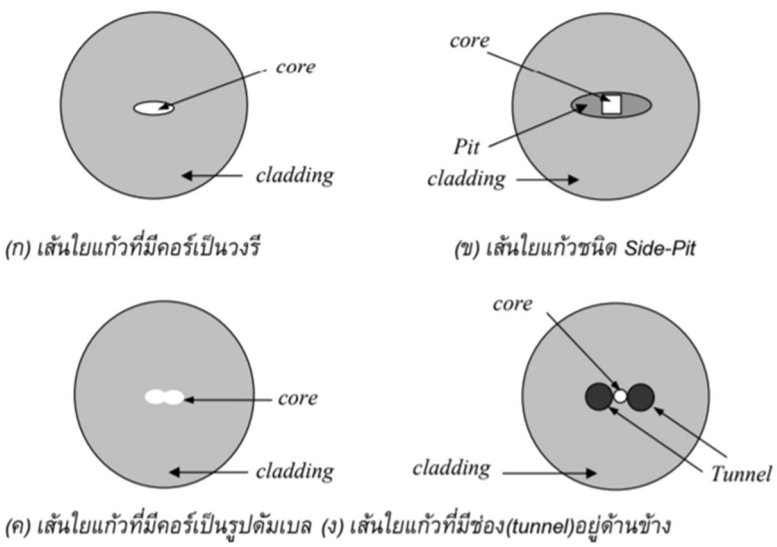
(ก) เส้นใยแก้วที่มีแคลดดิ้งเป็นวงรี (ข) เส้นใยแก้วชนิดแพนด้า (PANDA)

(ค) เส้นใยแก้วที่มีแจ็กเก็ตเป็นวงรี (ง) เส้นใยแก้วชนิดหูกระต่าย (Bow-Type)

รูปที่ 2.15 เส้นใยแก้วที่ถูกออกแบบให้มีความเค้นเพื่อสร้างคุณสมบัติไบรีฟรินเจนต์

(2) ชนิด Geometrically Birefringent

เส้นใยแก้วชนิด Geometrically Birefringent เป็นเส้นใยแก้วที่ถูกออกแบบให้ มีความเค้น (stress) หรือเกิดแรงกระทำกับส่วนของคอร์โดยตรง โดยการออกแบบรูปร่างของคอร์ให้มีลักษณะโครงสร้างที่ไม่สมมาตร เช่น ทำให้คอร์มีรูปร่างเป็นวงรีดัง แสดงในรูปที่ 2.16(ก) หรืออาจทำให้เป็นรูปดัมเบลดังรูปที่ 2.16(ค) หรืออาจทำการปรับปรุงโครงสร้างในส่วนของแคลดดิ้งที่อยู่ติดกับคอร์ให้มีลักษณะแตกต่างออกไปโดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของคอร์มากนัก ดังเช่นรูปที่ 2.16(ข) และ (ง) เหตุผลของการออกแบบเส้นใยแก้วดังกล่าว ก็เพื่อสร้างคุณสมบัติการเป็นไบรีฟรินเจนต์ (birefringent) ให้กับเส้นใยแก้ว เพื่อเหตุผลเช่นเดียวกับเส้นใยแก้วในหัวข้อก่อนหน้านี้



(ก) เส้นใยแก้วที่มีคอร์เป็นวงรี (ข) เส้นใยแก้วชนิด Side-Pit

(ค) เส้นใยแก้วที่มีคอร์เป็นรูปดัมเบล (ง) เส้นใยแก้วที่มีช่อง(tunnel)อยู่ด้านข้าง

รูปที่ 2.16 เส้นใยแก้วชนิด Geometrically Birefringent

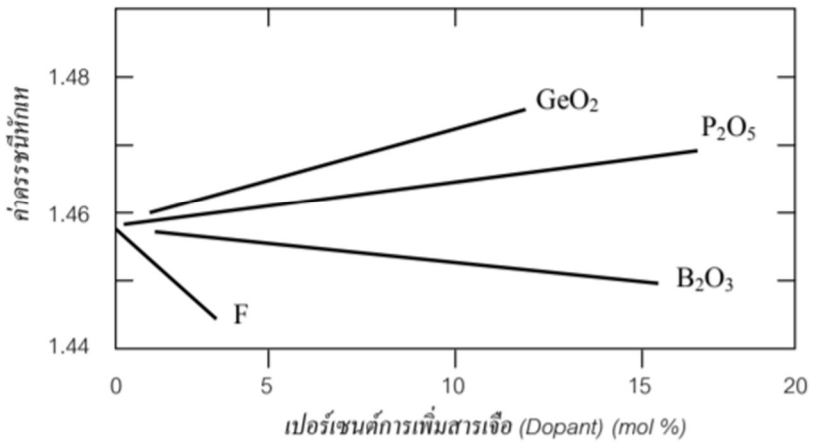
2.3 วัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้ว

เนื่องจากเส้นใยแก้วมีคุณสมบัติในการนำสัญญาณแสงได้ดีวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้ว จึงต้องเป็นวัสดุโปร่งแสงที่มีความบริสุทธิ์ของเนื้อสาร การเลือกใช้วัสดุที่แตกต่างกันย่อมมีผลต่อคุณสมบัติการนำแสงของเส้นใยแก้วด้วย สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม นอกเหนือจากการเป็นวัสดุโปร่งแสงแล้ว ต้องมีผลทำให้เส้นใยแก้วมีความแข็งแรงพอที่จะทำให้เป็นเส้นกลมเล็กๆ ที่มีความยาวมากๆ ได้โดยไม่แตกหักง่าย ตัววัสดุต้องมีส่วนทำให้ค่าการลดทอนสัญญาณ (attenuation) แสงมีค่าน้อย และต้องสามารถผสมสารอื่นหรือโด๊ปสารอื่นเพิ่มเติม เพื่อทำให้ค่าดรรชนีหักเหของแสงมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ก็เพื่อต้องการให้เส้นใยแก้วมีคุณสมบัติในการนำสัญญาณแสงได้ดีที่สุด ในบางครั้งวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้วยังใช้ในการกำหนดชนิดของเส้นใยแก้วอีกด้วย ดังต่อไปนี้

2.3.1 เส้นใยแก้วชนิดแก้ว

เส้นใยแก้วที่ใช้กันทั่วไปมักทำมาจากแก้วใสโปร่งแสงที่ประกอบด้วยวัสดุประเภทซิลิกา (SiO_2) เป็นสำคัญ ค่าดรรชนีหักเหของแก้วมักมีค่าประมาณ 1.458 ที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร การเปลี่ยนแปลงค่าดรรชนีหักเหของแก้ว ทำได้โดยการเจือปนสารอื่นหรือโด๊ป (doping) สารอื่นเพิ่มเติม เช่น หากทำการเจือสารประกอบประเภทเจอมันเนียม GeO_2 หรือฟอสฟอรัส P_2O_5 เข้าไป จะช่วยเพิ่มค่าดรรชนีหักเหของแก้วให้สูงขึ้น ในกรณีที่ต้องการทำให้ค่าดรรชนีหักเหของแก้วลดลง จะเจือด้วยสารประกอบประเภทฟลูออไรต์หรือ โบรอน B_2O_3 เข้าไป ค่าดรรชนีหักเหของแก้วที่เปลี่ยนไปเนื่องจากสารเจือจะมีค่าแปรผันตรงกับปริมาณของสารเจือที่เพิ่มเข้าไป ดังแสดงในรูปที่ 2.17 จากเหตุผลดังกล่าว วัสดุที่เป็นส่วนประกอบของคอร์อาจประกอบด้วยสารเจือ GeO_2 หรือ P_2O_5 เพื่อทำให้ค่าดรรชนีหักเหของคอร์มีค่าสูงกว่าดรรชนีหักเหของแคลดดิ้ง ที่อาจเป็นซิลิกาเพียงอย่างเดียวหรือถูกเจือด้วย B_2O_3 ใน ทำนองเดียวกัน วัสดุที่ใช้เป็นส่วนของคอร์อาจเป็นวัสดุประเภทซิลิกาธรรมดา ในขณะที่ส่วนของแคลดดิ้งอาจถูกเจือด้วยสาร B_2O_3 เป็นต้น

โครงสร้างทางโมเลกุลของแก้วมีผลทำให้จุดหลอมเหลวมีค่าสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ซึ่งถือเป็นข้อดีของการทนทานต่ออุณหภูมิสูง แต่ก็ถือเป็นข้อเสียในการผลิต อย่างไรก็ตาม ปัญหาดังกล่าวสามารถหลีกเลี่ยงได้เมื่อใช้เทคนิคการผลิตชนิดเคลือบไอระเหย (vapour deposition) นอกจากนี้แก้วยังมีคุณสมบัติทนทานต่อสารเคมีอีกทั้งสามารถนำแสงได้ดีตลอดย่านที่ตามองเห็น ไปจนถึงย่านแสงอินฟราเรดที่ตามองไม่เห็น



รูปที่ 2.17 ผลของสารเจือกับค่าดรรชนีหักเหของแก้วที่เปลี่ยนไป [10]

2.3.2 เส้นใยแก้วชนิดพลาสติก

การใช้พลาสติกโปร่งใสเป็นวัสดุในการทำเส้นใยแก้ว ช่วยลดต้นทุนการผลิต ทำให้เส้นใยแก้วมีราคาถูกลง แต่ก็มีข้อเสียตรงที่มีค่าการลดทอนสัญญาณแสงมีค่าสูง โดยทั่วไปพลาสติกจะมีความยืดหยุ่นสูงกว่าแก้ว ทำให้ไม่สามารถสร้างคอร์ให้มีขนาดเล็กมากๆ เหมือนกับแก้วได้ ประกอบกับการกำหนดค่าความแตกต่างของดรรชนีหักเห ระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งมักจะมีค่ามากกว่าวัสดุประเภทแก้ว ค่าของ NA ของเส้นใยแก้วชนิดพลาสติกจึงมีค่าสูง นั่นหมายถึง มุมในการรับแสงของเส้นใยแก้วชนิดพลาสติกจะเปิดกว้าง ช่วยให้สามารถใช้ร่วมกับตัวส่งสัญญาณแสงราคาถูกที่มีพื้นที่เปล่งแสงกว้างได้ดี ดังนั้น เส้นใยแก้วชนิดพลาสติกจึงมักเป็นชนิดสเต็ปอินเด็กซ์แบบโหมดร่วม ตัวอย่างวัสดุของเส้นใยแก้วชนิดพลาสติก อาจประกอบด้วย

1) โพลีสเตอรีน (Polysterene) เป็นส่วนของคอร์ (n_1 = 1.6) โดยมีเมตทาครีเลต (Methacrylate) เป็นส่วนของแคลดดิ้ง (n_2 = 1.49) และ

2) โพลีเมทธิล (Polymethy) เป็นส่วนของคอร์ (n_1 = 1.49) ร่วมกับโคโพลีเมอร์ (copolymer) ที่ใช้เป็นส่วนของแคลดดิ้ง (n_2= 1.40) เป็นต้น

แม้ว่าเส้นใยแก้วชนิดพลาสติกจะมีคุณสมบัติการนำสัญญาณแสงได้ไม่ดีนัก แต่ก็เหมาะสำหรับงานสื่อสารในระยะทางสั้นๆ ไม่กี่สิบเมตรถึงไม่กี่ร้อยเมตร เพราะมีต้นทุนต่ำและค่าการลดทอนสัญญาณยังไม่มีผลต่อระบบมากนัก การเพิ่มประสิทธิภาพของเส้นใยแก้วชนิดนี้ให้สูงขึ้น อาจทำได้โดยการออกแบบใช้โครงสร้างร่วมกันระหว่างแก้วกับพลาสติก กล่าวคือ ใช้แก้วเป็นส่วนของคอร์และใช้พลาสติกพวกสารโพลีเมอร์ (Polymer) เป็นส่วนของแคลดดิ้ง ซึ่งเส้นใยแก้วประเภทนี้มีชื่อเรียกว่า Plastic-Clad-Silica หรือเรียกโดยย่อว่า PCS

ในอดีตที่ผ่านมาเส้นใยแก้วชนิดพลาสติกมิได้มีบทบาทในการนำมาใช้งานที่เป็นสายส่งสัญญาณในระบบสื่อสารมากนัก เนื่องจากมีค่าการลดทอนสัญญาณสูงตามที่กล่าวมาแล้ว แต่ในปัจจุบัน เส้นใยแก้วชนิด

โพลีเมอร์ซึ่งเป็นสารประกอบของพลาสติกกลับได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น และกำลังอยู่ในระหว่างการวิจัยและพัฒนา เพื่อนำมาใช้เป็นอุปกรณ์เฉพาะทางในงานด้านระบบสวิตช์และสื่อข้อมูลแสง แม้ว่าเส้นใยแก้วชนิดโพลีเมอร์จะแสดงคุณสมบัติเด่นบางประการ แต่ก็ยังมีข้อเสียอยู่พอสมควร โดยเฉพาะการนำวัสดุประเภทโพลีเมอร์มาร่วมขบวนการผลิต ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ประกอบการและสภาพแวดล้อมอย่างมาก เพราะในระหว่างขั้นตอนดังกล่าว จะทำให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายขึ้นมาได้ง่าย

2.3.3 เส้นใยแก้วชนิดอื่นๆ

นอกเหนือจากแก้วและพลาสติกที่มักนิยมใช้เป็นวัสดุหลักสำหรับทำเส้นใยแก้วแล้ว การนำสารประกอบอื่นของแก้วเข้ามาใช้ก็กำลังเริ่มมีบทบาทในวงการเส้นใยแก้วมากขึ้น [11] เส้นใยแก้วที่ทำมาจากวัสดุประเภทแก้วฟลูออไรด์ (fluoride glass) ที่มีฟลูออไรด์เป็นสารประกอบหลัก เช่น ZrF_4, BaF_2, LaF_3, AlF_3 และ NaF ต่างก็ช่วยให้เส้นใยแก้วชนิดฟลูออไรด์มีคุณสมบัติที่มีค่าการลดทอนสัญญาณต่ำ คือประมาณ 0.001-0.01 ดีบีต่อกิโลเมตร (dB/km) (0.01dB/km ที่ความยาวคลื่น 2.5 ไมครอน) แต่ก็มีข้อเสียตรงที่ขั้นตอนการผลิตเส้นใยแก้วที่มีความยาวมากๆ ไม่สามารถกระทำได้โดยง่ายนักเหมือนเส้นใยแก้วทั่วไป เส้นใยแก้วชนิดนี้จึงมักถูกใช้งานในงานวิจัยที่ต้องการใช้งานเส้นใยแก้วในช่วงความยาวสั้นๆ เท่านั้น

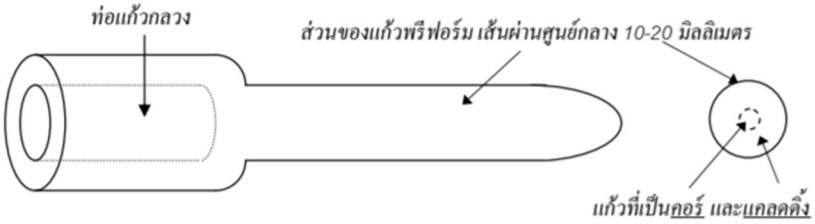
เส้นใยแก้วชนิดที่ทำมาจากหมู่ธาตุหายาก (rare-earth elements) สองชนิดคือ เออร์เบียม (erbium) และนีโอดีเมียม (Neodemium) โดยการโด๊ปสารแต่ละชนิดเข้าไปกับแก้วบริสุทธิ์มีประโยชน์มากในการใช้งานเส้นใยแก้วที่เกี่ยวกับการขยายสัญญาณแสงภายในเส้นใยแก้วในรูปของสัญญาณแสงโดยตรง โดยไม่ต้องแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเสียก่อน ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่กำลังถูกวิจัยและพัฒนาขึ้นมาจากเส้นใยแก้วชนิดนี้ได้แก่ เส้นใยแก้วเลเซอร์ (Fiber Laser) และอุปกรณ์ขยายสัญญาณ แสงหรือออปติคอลแอมปลิฟลายเออร์ (Optical Amplifier) เป็นต้น

2.4 การผลิตเส้นใยแก้ว

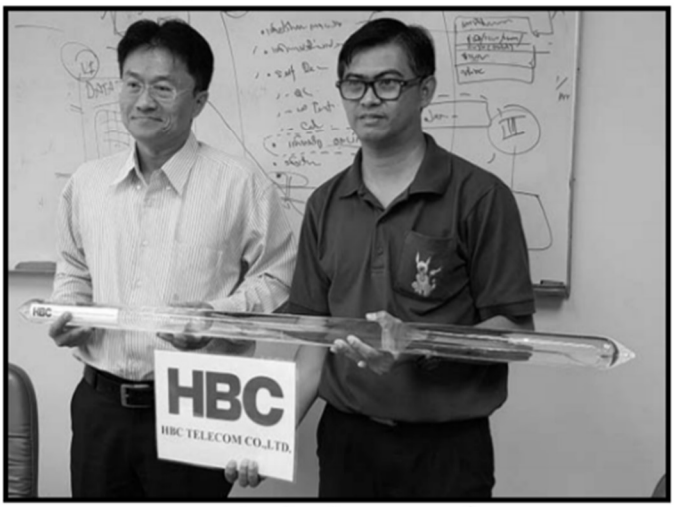
กระบวนการผลิตเส้นใยแก้วทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนหลักคือ

- ขั้นตอนการเตรียมแท่งแก้วพรีฟอร์ม (preform) และ
- ขั้นตอนการดึงเส้นใยแก้ว

ขั้นตอนแรกคือการเตรียมแท่งแก้ว **พรีฟอร์ม** (preform) เป็นการเตรียมแท่งแก้วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-25 มิลลิเมตร และยาวประมาณ 10-120 เซ็นติเมตร โดยแท่งพรีฟอร์มนี้ ต้องมีโครงสรางภายในเช่นเดียวกับเส้นใยแก้วที่ต้องการผลิตทุกประการ กล่าวคือ มีส่วนของแก้วที่เป็นคอร์อยู่ในแนวแกนกลาง และ ส่วนของแก้วที่เป็นแคลดดิ้งอยู่รอบนอก โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนที่เป็นคอร์ (2A) และส่วนที่เป็นแคลดดิ้ง (2B) (เส้นผ่านศูนย์กลางรวมทั้งแท่ง) ต้องมีสัดส่วนเดียวกันกับเส้นใยแก้วที่ต้องการผลิตดังนี้ (2A/2B) = (2a/2b) เมื่อ 2a เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์และ 2b เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้ง ลองพิจารณาตัวอย่างที่ 2.5



(ก) โครงสร้างของแท่งแก้วพรีฟอร์ม



(ข) ภาพถ่ายของแท่งแก้วพรีฟอร์ม (อนุเคราะห์โดย HBC Telecom)

รูปที่ 2.18 ลักกษณะของแท่งพรีฟอร์ม

ตัวอย่างที่ 2.5 ในการผลิตเส้นใยแก้วต้องการออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50/125 ไมครอน โดยการเตรียมแท่งพรีฟอร์มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ส่วนของวัสดุที่เป็นคอร์ในแท่งพรีฟอร์มควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าไร

วิธีทำ จากสเป็กของเส้นใยแก้วที่ต้องการคือ 50/125 ไมครอน หมายความว่า เส้นใยแก้วที่ผลิตได้จะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ 2a = 50 ไมครอน และเส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้งหรือ ทั้งเส้น 2b = 125 ไมครอน

เมื่อพิจารณาในส่วนของเส้นใยแก้ว จะได้ $\left(\frac{2a}{2b}\right)=\frac{50}{125}$

แต่เนื่องจากขนาดของเส้นใยแก้วมีความสัมพันธ์กับขนาดแท่งพรีฟอร์ม

นั่นคือ $$\left(\frac{2A}{2B}\right)=\left(\frac{2a}{2b}\right)=\frac{50}{125}$$

ดังนั้น $$(2A)=\frac{50}{125}\times(2B)=\frac{50}{125}\times 10=4$$

∴ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ในแท่งพรีฟอร์มมีค่าเท่ากับ 4 มิลลิเมตร ตอบ

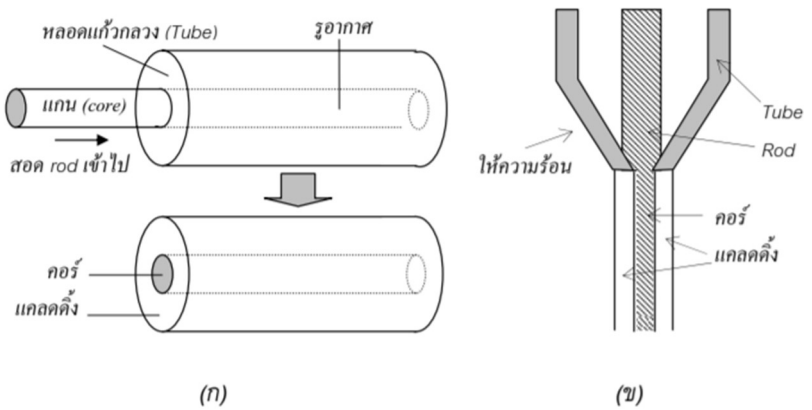
ขั้นตอนที่สองของการผลิตเส้นใยแก้ว เรียกว่าขั้นตอนดึงเส้นใยแก้ว (drawing fiber) เป็นการนำแท่งพรีฟอร์มที่เตรียมไว้แล้ว มาเผาให้หลอมละลายแล้วดึงออกมาเป็นเส้นใยแก้วที่ต้องการ ซึ่งรายละเอียดในการผลิตเส้นใยแก้วทั้งสองขั้นตอน มีดังต่อไปนี้

2.4.1 การเตรียมแท่งพรีฟอร์ม

ขั้นตอนการเตรียมแท่งพรีฟอร์ม (preform) สามารถกระทำได้หลายวิธี ดังนี้

***2.4.1.1* วิธีสอดแกนในแท่งแก้ว หรือ Rod-in-Tube Method**

วิธีสอดแกนในแท่งแก้ว เป็นวิธีพื้นฐานที่ใช้ครั้งแรกประมาณปีพ.ศ. 2493 ในวิธีนี้แท่งแก้วของส่วนที่เป็นคอร์และแคลดดิ้งจะถูกแยกเตรียมมาก่อน ส่วนของแท่งแก้วที่เป็นคอร์จะมีค่าดรรชนีหักเหสูงกว่าส่วนของแคลดดิ้งโดยการโด๊ปสารให้ได้แก้วที่มีค่าดรรชนีหักเหตามต้องการ จากนั้นจะนำแท่งแก้วในส่วนที่เป็นแคลดดิ้งมาเจาะรูในแนวกึ่งกลางให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพอที่จะใส่แท่งแก้วที่ใช้เป็นคอร์ลงไปได้พอดี ดังรูปที่ 2.19(ก) แม้ว่ารอยต่อระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งของแท่งพรีฟอร์มจะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ก็ไม่ถือเป็นปัญหามากนัก เพราะเวลานำไปดึงเส้นใยเนื้อแก้วทั้งสองจะถูกเผาให้หลอมละลายเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกันในที่สุด ในรูปที่ 2.19(ข) เป็นวิธีเดียวกับรูป (ก) แต่พัฒนาให้ดีขึ้น โดยการใช้ความร้อนเผาแท่งแก้วให้ส่วนที่เป็นแคลดดิ้งยุบตัวลง (collapse) จะได้สัมผัสกับพื้นผิวของคอร์ได้ดีขึ้น เป็นการลดช่องว่างที่อาจเกิดขึ้นระหว่างคอร์และแคลดดิ้งในรูป (ก) ได้



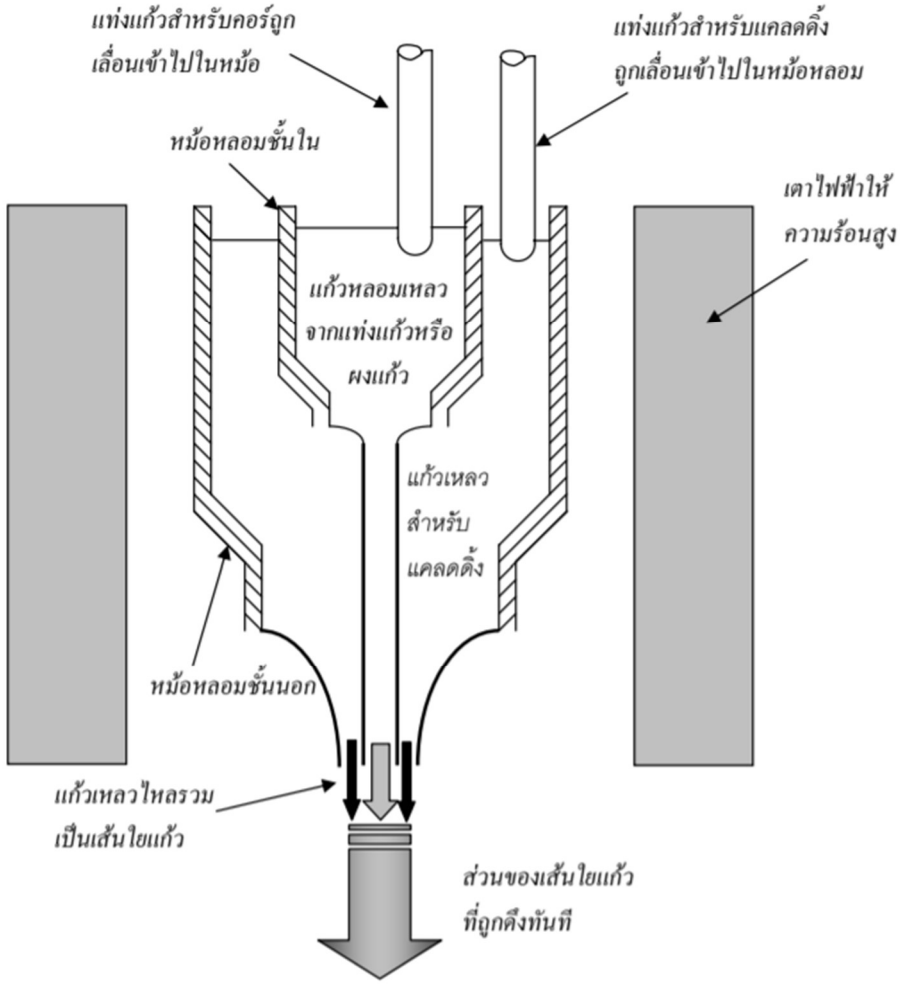
รูปที่ 2.19 การเตรียมแท่งแก้วพรีฟอร์มด้วยวิธีสอดแกนในแท่งแก้ว

***2.4.1.2* วิธีหล่อในเตาหลอมสองชั้น หรือ Double Crucible Method**

วิธีหล่อในเตาหลอมสองชั้นเป็นวิธีที่ถูกคิดค้นโดยทีมวิจัยของบริษัท British Telecom [12] วิธีหล่อในเตาหลอมเป็นการรวมขั้นตอนการเตรียมแท่งพรีฟอร์ม และขั้นตอนการดึงเส้นใยเข้าไว้ในคราวเดียวกัน โดยมีหลักการดังรูปที่ 2.20

จากรูปที่ 2.20 ภาชนะหรือหม้อใส่วัสดุของเตาหลอมจะแบ่งออกเป็นสองชั้น ชั้นในที่อยู่ในแนวกึ่งกลางใช้สำหรับบรรจุวัสดุสำหรับคอร์ซึ่งอาจเป็นแท่งแก้วของคอร์ที่เตรียมไว้ก่อนแล้ว หรือผงแก้ว (glass powder) กับสารเคมีที่ใช้สำหรับโด๊ปแก้วให้มีค่าดรรชนีหักเหตามที่ต้องการ ภาชนะชั้นนอกใช้สำหรับใส่วัสดุสำหรับส่วนของแคลดดิ้งในทำนองเดียวกับภาชนะชั้นใน เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับภาชนะทั้งสองพร้อมกัน วัสดุในแต่ละชั้นจะถูกหลอมละลายกลายเป็นแก้วเหลวไหลลงมาทางด้านล่าง โดยมีส่วนของคอร์อยู่ในแนวแกน

กลางและส่วนของแคลดดิ้งล้อมหุ้มอยู่ แก้วเหลวที่ได้นี้ เปรียบเสมือนเป็นแท่งพรีฟอร์ม (เหลว) ที่มีขนาดเท่าเส้นใยแก้ว (เพราะถูกบังคับให้ไหลผ่านรูที่มีขนาดเล็ก) และพร้อมที่จะผ่านขั้นตอนการดึงให้เป็นเส้นใยแก้วได้ทันที ข้อดีของการผลิตเส้นใยแก้วด้วยวิธีหล่อในเตาหลอม คือ มีความสะดวกรวดเร็วในการผลิตเส้นใยแก้ว แต่ก็มีข้อเสียตรงที่ต้องใช้ความระมัดระวังในการทำงานทุกขั้นตอน เพื่อมิให้มีสิ่งแปลกปลอมผสมเข้าไปกับสารที่กำลังหลอมละลายอยู่ มิฉะนั้นเส้นใยแก้วที่ได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าที่ต้องการ



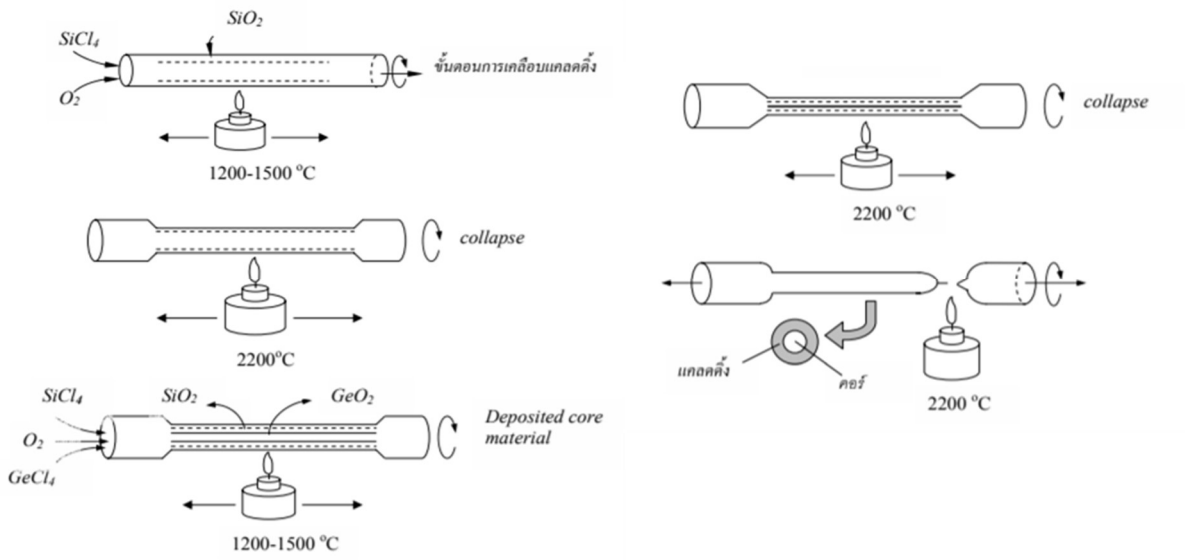
รูปที่ 2.20 วิธีหล่อในเตาหลอมด้วยหม้อสองชั้น

2.4.1.3 วิธีไอระเหยสารเคมีหรือซีวีดี (CVD)

วิธีซีวีดี(CVD: Chemical Vapour Deposition Method) เป็นการนำไอระเหยของสารเคมีอันเนื่องมาจากความร้อนมาสร้างหรือเคลือบเป็นชั้นผิวของวัสดุ วิธีการนี้ช่วยให้สามารถโด๊ปสารให้มีค่าดรรชนีหักเหตามต้องการได้อย่างแม่นยำ เทคนิคดังกล่าวสามารถแบ่งเป็นวิธีย่อยๆ ลงไปได้ดีดังนี้

1) มอดดิฟายด์ซีวีดีหรือ MCVD (Modified Chemical Vapour Deposition) เป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นโดยห้องวิจัยของเบลล์ (Bell Lab) [13] และมหาวิทยาลัย เซาท์แธมตัน (Southampton

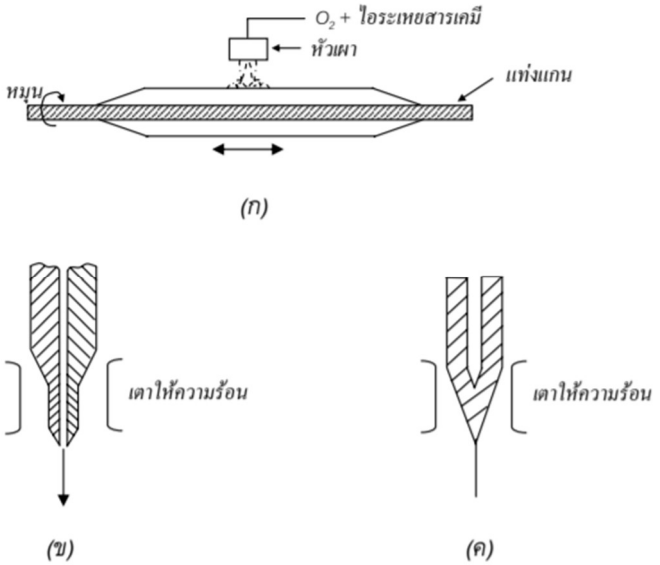
University) ในประเทศอังกฤษ [14] วิธี MCVD เป็นวิธีนิยมใช้กันทั่วโลกโดยเฉพาะในเชิงพาณิชย์ หลักการของ MCVD แสดงดังรูปที่ 2.21 เริ่มจากการใช้หลอดแก้วกลวงที่ทำด้วยเนื้อแก้วบริสุทธิ์ลนไฟที่อุณหภูมิสูง (1,200–1,800 °C) ในช่วงความยาวของหลอดแก้วที่ต้องการทำพรีฟอร์มในขณะที่หลอดแก้วถูกหมุนรอบตัวเองไปเรื่อยๆ ระหว่างนั้น ไอระเหยของสารเคมีต่างๆ ที่ต้องการโด๊ปสารให้มีค่าดรรชนีหักเหสำหรับแคลดดิ้ง เช่น $SiCl_4$ และ O_2 จะถูกเป่าเข้าไปในหลอดแก้วที่ปลายด้านหนึ่ง เมื่อไอระเหยเหล่านี้ผ่านเข้าไปในส่วนที่มีอุณหภูมิสูงจะจับตัวเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ที่ผนังด้านในของหลอดแก้ว ส่วนไอระเหยที่เหลือก็จะถูกดูดออกจากหลอดแก้วอีกข้างหนึ่งทิ้งไป การเลื่อนหัวเผาไปมาระหว่างหลอดแก้วทำให้ชั้นฟิล์มจับตัวกันตามความยาวของหลอดแก้วในช่วงที่ถูกเผา ส่วนการหมุนหลอดแก้วรอบตัวเองช่วยให้ชั้นฟิล์มจับตัวกันตลอดแนวเส้นรอบวง เมื่อชั้นฟิล์มจับตัวหนาขึ้นตามต้องการซึ่งต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงทีเดียว ก็จะหยุดการป้อนไอระเหยชั่วขณะแล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิของหัวเผาให้สูงขึ้น (ประมาณ 2,200 °C) เพื่อทำให้หลอดแก้วยุบตัว (collapse) จนมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงอันจะทำให้ชั้นฟิล์มของแคลดดิ้งจับตัวกันดียิ่งขึ้น จากนั้นจะป้อนไอระเหยของสารเคมีที่ใช้โด๊ปแก้วให้มีค่าดรรชนีหักเหสำหรับคอร์เข้าไป เช่น $SiCl_4$ $GeCl_4$ และ O_2 พร้อมกับการลดอุณหภูมิของหัวเผาลงมาคงเดิม (ประมาณ 1,800 °C) เพื่อทำให้เกิดชั้นฟิล์มใหม่จับตัวเพิ่มขึ้น แต่ชั้นฟิล์มที่ได้นี้จะมีค่าดรรชนีหักเหต่าง (มีค่ามากกว่าเดิม) จากชั้นฟิล์มเดิมเมื่อได้ความหนาของชั้นฟิล์มสำหรับส่วนของคอร์ที่ต้องการ (หลายชั่วโมง) ก็จะหยุดการป้อนไอระเหยแล้วเพิ่มอุณหภูมิหัวเผาเพื่อทำการยุบตัวแท่งแก้วลงมาอีก แต่คราวนี้แท่งแก้วจะยุบตัวลง จนกระทั่งไม่มีช่องอากาศเหลืออยู่ภายในเลย แท่งแก้วที่ได้นี้ก็คือแท่งพรีฟอร์มที่มีโครงสร้างของเนื้อสารภายในเป็นส่วนของคอร์และแคลดดิ้งตามต้องการ



รูปที่ 2.21 ขั้นตอนการทำแท่งพรีฟอร์มแบบ MCVD

2) เอาต์ไซด์ซีวีดีหรือ Outside CVD (OCVD) เป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัท คอร์นนิ่ง (Corning) ที่มีชื่อเสียงในการผลิตแก้ว บางครั้งวิธีนี้อาจเรียกเป็นชื่ออื่น คือ OVPO หรือ Outside Vapour

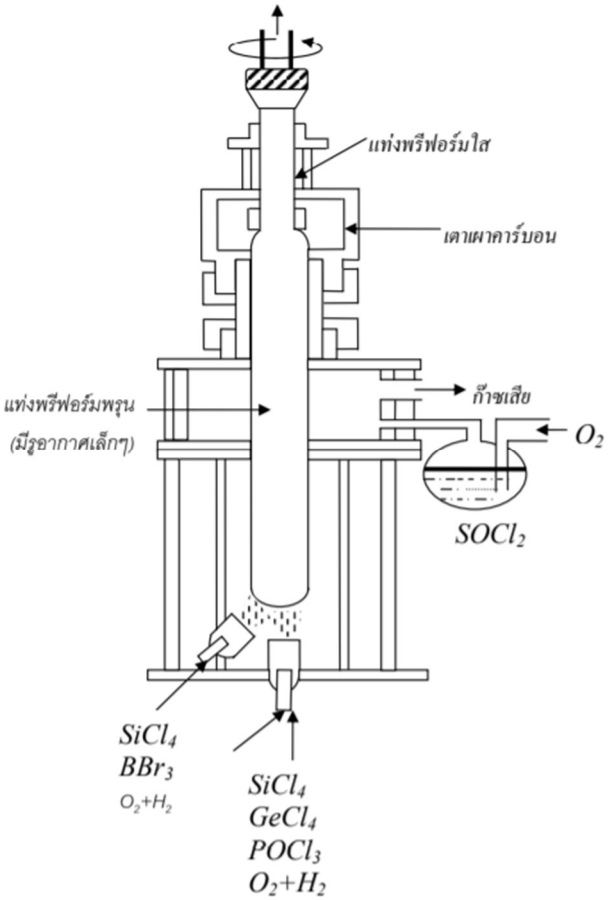
Phase Oxidation วิธีนี้เป็นวิธีเก่าแก่ที่บริษัท Corning ใช้ในการผลิตเส้นใยแก้วในยุคต้นๆ [15] แต่ก็พัฒนาให้ดีขึ้นมาเรื่อยๆ [16] หลักการของ OCVD จะใช้การสร้างชั้นฟิล์มของวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้ว จากไอระเหยของสารเคมีคล้ายกับวิธี MCVD (โดยไอระเหยจะใช้การเผาอนุภาคของวัสดุออกมาจากหัวเผา) แต่จะกลับกันตรงที่ชั้นฟิล์มจะถูกเคลือบรอบๆ แกนหมุนเล็กๆ ที่ทำด้วยแท่งกราไฟต์หรือเซรามิก โดยชั้นฟิล์มที่เป็นวัสดุของคอร์จะถูกเคลือบก่อนและชั้นฟิล์มของแคลดดิ้งจะเคลือบหุ้มอีกครั้ง เมื่อได้ขนาดของชั้นฟิล์มที่ต้องการ ก็ทำการถอนแกนหมุนออกก็จะได้พรีฟอร์มตามต้องการ แม้ว่าวิธีนี้จะทำให้เกิดในแนวกึ่งกลางของแท่งพรีฟอร์ม เมื่อนำไปดึงเส้นใยรูนี้จะยุบตัวหายไปเมื่อถูกความร้อนเอง



รูปที่ 2.22 (ก) แสดงการทำแท่งพรีฟอร์มด้วยวิธีเอาต์ไซด์ซีวีดี โดยรูป (ข) และ (ค) แสดงการใช้ความร้อนทำให้ปลายแท่งพรีฟอร์มหลอมเป็นแท่งปิดก่อนนำไปดึงเป็นเส้นใย

3) วิธีวีเอดีหรือ Vapour Phase Axial Depostion (VAD) Method เป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นโดยวิศวกรชาวญี่ปุ่น [17,18] โดยหลักการไอระเหยของสารเคมีที่ถูกความร้อน จะจับตัวบนปลายด้านหนึ่งของแกนแท่งแก้วที่ถูกหมุนรอบตัวเองอยู่ตลอดเวลา เมื่อทำการดึงแท่งแก้วขึ้นอย่างช้าๆ ไอระเหยของสารเคมีที่จับตัวกันก็จะถูกดึงขึ้นมาด้วย เมื่อสารส่วนนี้ผ่านเข้าไปในส่วนของเตาอบวงแหวน ก็จะจับตัวเป็นของแข็งที่มีคุณสมบัติโปร่งแสงเป็นแท่งพรีฟอร์มที่ต้องการ ข้อดีของเทคนิคดังกล่าวก็คือ เราสามารถควบคุมขนาดความยาวของแท่งพรีฟอร์มได้ตามต้องการ อีกทั้งยังแน่ใจได้ว่าวัสดุของแท่งพรีฟอร์มปราศจากสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการ เพราะกระบวนการผลิตแทบทั้งหมด ถูกกระทำภายในสภาพแวดล้อมที่ปิดมิดชิดโดยตลอด

นอกเหนือจากวิธีการเตรียมแท่งพรีฟอร์มดังที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมด ยังมีวิธีอื่นอีกหลายวิธีแต่ยังไม่ถือเป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก เช่น วิธีพลาสมาซีวีดีหรือ PCVD (Plasma-activated CVD) [19,20] เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นจากบริษัทฟิลิปส์ ที่มีหลักการทำงานคล้ายกับวิธี MCVD เช่นกัน



รูปที่ 2.23 หลักการทำแท่งพรีฟอร์มด้วยเทคนิคของ VAD

2.4.2 การดึงเส้นใยแก้ว (Fiber Drawing)

เมื่อทำการเตรียมแท่งแก้วพรีฟอร์ม ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเช่นเดียวกับเส้นใยแก้วแล้ว ก็นำแท่งแก้วพรีฟอร์มมาผ่านกระบวนการดึงเส้นใยในขั้นตอนที่สอง หลักการของเครื่องมือพื้นฐานที่ใช้สำหรับดึงเส้นใยแก้วแสดงดังรูปที่ 2.24 [21,22] เริ่มจากการเผาปลายแท่งพรีฟอร์มให้หลอมละลายด้วยอุณหภูมิที่สูงมากประมาณกว่า 2,000 องศาเซลเซียส เมื่อแท่งพรีฟอร์มเริ่มหลอมเหลว ก็จะใช้ตัวล่อที่อาจเป็นแท่งแก้วอื่นมาสัมผัส และดึงส่วนที่หลอมละลายออกมา ก็จะได้เส้นใยแก้วที่มีขนาดเล็กออกมาด้วย เนื่องจากแท่งพรีฟอร์มเดิมมีโครงสร้างของเส้นใยแก้วที่ถูกออกแบบไว้อยู่แล้ว การหลอมละลายในส่วนของแท่งพรีฟอร์มจะเกิดขึ้นทุกส่วนที่ปลายแท่งโดยรอบเมื่อถูกดึงออก ทำให้ได้เป็นเส้นใยเล็กๆ ออกมา โดยเส้นใยนี้ก็จะมีโครงสร้างเช่นเดียวกับแท่งพรีฟอร์มไปด้วย เส้นใยที่ดึงออกมาจะถูกวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เส้นใยแก้วที่ได้ในช่วงนี้เป็นเส้นใยแก้วเปลือยที่มีความเปราะบางมาก จึงต้องทำการเคลือบด้วยสารประเภทพลาสติก พีวีซีหรือซิลิโคน เพื่อทำหน้าที่เป็นเปลือกหุ้มเส้นใยแก้วหรือที่เรียกว่าโค๊ดติ้ง (coating) ชั้นเดียวหรือหลายชั้น เพื่อช่วยให้เส้นใยแก้วมีความแข็งแรงและยืดหยุ่น สามารถโค้งงอได้ในการเคลือบโค๊ดติ้ง เส้นใยแก้วเปลือยจะถูกสอดผ่านภาชนะคล้ายกรวยเล็กๆ ที่บรรจุสารที่ใช้ทำโค๊ดติ้งซึ่งอยู่ในรูปของของเหลวที่มีความหนืดสูง ที่

ปลายของกรวยด้านขาออกของเส้นใยแก้ว จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก เพียงแค่ให้เส้นใยแก้วผ่านออกไปได้เท่านั้น เส้นใยแก้วที่ลากผ่านออกจากปลายกรวยจะถูกเคลือบด้วยโค๊ดติ้ง โดยขนาดความหนาของมันจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการดึงเส้นใยแก้ว และค่าความหนืดของสารโค๊ดติ้งเหลว (ลองจินตนาการนึกถึงการ ดึงเส้นด้ายผ่านจานน้ำเชื่อม จะได้เส้นด้ายที่เคลือบด้วยน้ำเชื่อม ทำนองนั้น) เส้นใยแก้วที่เพิ่งถูกเคลือบด้วยโค๊ดติ้งจะผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ที่ทำให้โค๊ดติ้งแห้ง ซึ่งมีลักษณะต่างกัน เช่นหากโค๊ดติ้งเป็นสารซิลิโคน อาจใช้เตาอบเพื่อทำให้โค๊ดติ้งแห้ง หรือถ้าเป็นสารประกอบโพลีเมอร์บางชนิด อาจใช้รังสีอัลตราไวโอเลต เป็นต้น

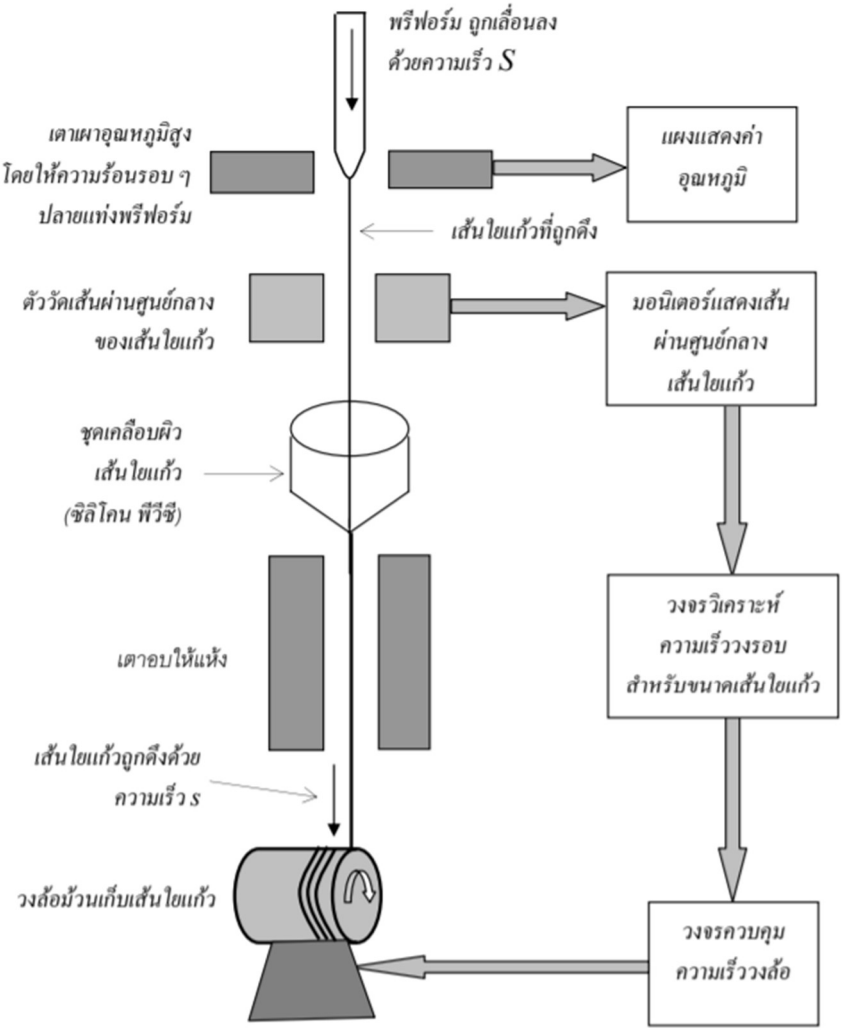
เส้นใยแก้วในขั้นตอนนี้จะถูกยึดติดกับวงล้อที่หมุนได้เรียกว่าดรัม (Drum) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับถังน้ำมันทรงกระบอกขนาดใหญ่ (อาจใช้เทปกาวในการยึดติดเส้นใยแก้วบนวงล้อ) เพื่อม้วนเก็บไว้และในขณะเดียวกัน การหมุนวงล้อไปเรื่อยๆ ก็เพื่อทำให้เกิดแรงสำหรับดึงเส้นใยแก้วออกจากปลายแท่งพรีฟอร์มที่หลอมเหลว วงล้อนี้จะถูกหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมอยู่ โดยความเร็วรอบในการหมุนของวงล้อจะเป็นตัวกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้ว กล่าวคือ หากวงล้อหมุนเร็ว เส้นใยแก้วจะถูกดึงออกมาอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก แต่ถ้าวงล้อหมุนช้าเส้นใยถูกดึงออกมาอย่างช้าๆ ก็จะได้เส้นใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น ในลักษณะเช่นนี้อาจลองนึกดูง่ายๆ เสมือนกับการดึงหมากฝรั่งหรือแตงโมออกมาจากปากในขณะที่ปากยังกัดบางส่วนไว้ ถ้าดึงเร็วจะได้เส้นเล็ก ถ้าดึงช้าจะได้เส้นใหญ่ เป็นต้น

ความเร็วรอบของวงล้อถูกกำหนดและควบคุมจากวงจรที่ใช้ตรวจสอบค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้ในตอนต้น แล้วคำนวณเพื่อหาค่าความเร็วรอบวงล้อที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ขนาดของเส้นใยแก้วที่ต้องการ ในการเริ่มดึงเส้นใยแก้ว ระบบจำเป็นต้องใช้เวลาในการปรับตัวเพื่อให้ความเร็วในการหมุนวงล้อเข้าสู่ภาวะเสถียรก่อนที่จะได้ขนาดของเส้นใยแก้วตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งในช่วงของการปรับตัวของระบบ เส้นใยแก้วที่ถูกดึงในขณะนั้น จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่แน่นอน และต้องถูกกำจัดทิ้งไปก่อนนำไปใช้ในการผลิตสายเคเบิลเส้นใยแก้ว

แท่งพรีฟอร์มที่ถูกดึงออกเป็นเส้นใยแก้วจะค่อยๆ มีขนาดสั้นลง จึงต้องทำการเลื่อนแท่งพรีฟอร์มลงให้ปลายของแท่งพรีฟอร์มอยู่ในบริเวณที่ได้รับความร้อนอยู่เสมอ และต้องอยู่ในแนวระดับเดียวกันตลอดเวลา หากให้ความเร็วในการเลื่อนแท่งพรีฟอร์มมีค่าเป็น S ความเร็วในการดึงเส้นใยแก้ว (จากความเร็วรอบของวงล้อ) มีค่าเป็น s ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งพรีฟอร์มมีค่าเป็น D และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วที่กำหนดทั้งเส้นมีค่าเป็น 2b จะได้สมการในการดึงเส้นใยแก้วที่มีความสัมพันธ์กันดังนี้

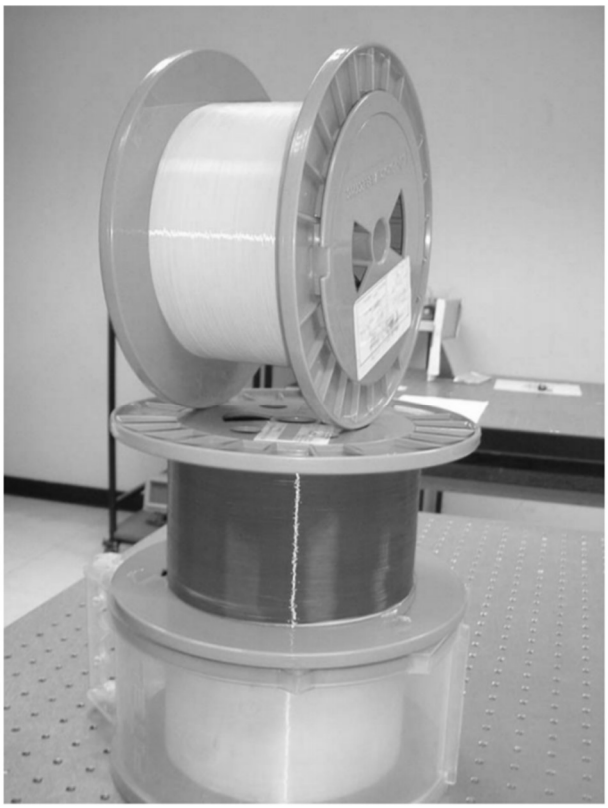
$$s = S\left(\frac{D}{2b}\right)^2 \qquad (2.14)$$

ในการดึงเส้นใยแก้วในอดีต มักจัดวางระบบในแนวราบขนานกับพื้นโลก เพราะทำให้เกิดความสะดวกในการติดตั้งระบบ แต่ก็อาจมีข้อด้อยที่ทำให้แนวเส้นใยแก้วที่กำลังถูกดึงเกิดท้องช้าง เนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้น ในปัจจุบันจึงมักจัดวางระบบการดึงเส้นใยแก้วให้อยู่ในแนวดิ่ง ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 หลักการในการดึงเส้นใยแก้วในแนวดิ่ง

เส้นใยแก้วที่ถูกดึงมาเก็บไว้ที่วงล้อ (drum) แล้ว อาจถูกปล่อยทิ้งไว้ระยะหนึ่ง เพื่อให้ส่วนประกอบของเส้นใยแก้วอยู่ในสภาวะคงตัว เช่น อาจปล่อยให้โค๊ดติ้งแห้งดีเสียก่อน หรืออาจปล่อยให้สีที่เคลือบโค๊ดติ้ง (กรณีที่มีการเคลือบสีไปพร้อมกัน) แห้งสนิท เป็นต้น จากนั้นจะนำไปม้วนเก็บบนวงล้อที่มีลักษณะคล้ายหลอดด้ายขนาดใหญ่ ที่เรียกว่าบ๊อบบิ้น (bobbin) ก่อนนำไปใช้งาน หรือส่งต่อไปสู่กระบวนการผลิตสายเคเบิลต่อไป



รูปที่ 2.25 เส้นใยแก้วที่ถูกกม้วนเก็บไว้ในบ๊อบบิ้นเรียบร้อยแล้ว

3. สายเคเบิลใยแก้ว

3.1 ข้อคำนึงในการออกแบบสายเคเบิลใยแก้ว

สายเคเบิลเส้นใยแก้วที่ดีต้องได้รับการออกแบบให้ผู้ติดตั้งหรือช่างเทคนิคทั่วไป (ที่อาจไม่มีความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีเส้นใยแก้วเลย) สามารถทำงานได้เช่นเดียวกับการติดตั้งสายเคเบิลไฟฟ้าธรรมดา นั่นคือ อุปกรณ์ที่ใช้เทคนิคที่ใช้รวมทั้งเงื่อนไขในการระมัดระวังขณะทำการติดตั้ง จะต้องมีลักษณะใกล้เคียงกับการติดตั้งสายเคเบิลชนิดอื่นๆ ข้อคำนึงในการพิจารณาออกแบบโครงสร้างของสายเคเบิลใยแก้ว พอจำแนกออกเป็นหัวข้อย่อยๆ ได้ดังนี้

3.1.1 ป้องกันการแตกหักของเส้นใย

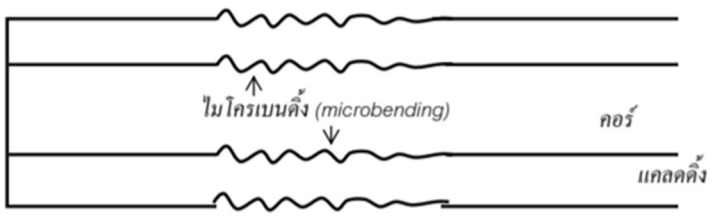
วัสดุที่ใช้ห่อหุ้มเส้นใยในสายเคเบิลใยแก้ว อาจมีหลายชนิดหรือทำเป็นหลายๆ ชั้น ทั้งนี้เพื่อลดแรงกระแทกที่อาจเกิดขึ้นบนสายเคเบิลจากเหตุการณ์ต่างๆ อันจะส่งผลให้แรงอัดที่ส่งต่อจากผิวนอกของสายเคเบิลไปยังเส้นใยแก้วมีค่าน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย สายเคเบิลที่ดีควรมีการกำหนดสเป็กของแรงกระแทกสูงสุดที่สายเคเบิลสามารถทนทานได้ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้มีความระมัดระวังในการใช้งานมากขึ้น นอกจากนี้วัสดุห่อ

หุ้มจะต้องถูกชีลด์อย่างดีเพื่อป้องกันการผุกร่อนของเส้นใยหรือบางส่วนของสายเคเบิล อันเนื่องมาจากผลของสภาพแวดล้อมเอง

3.1.2 รักษาคุณสมบัติการนำสัญญาณ

การนำวัสดุอื่นมาห่อหุ้มเส้นใยแก้ว ต้องระมัดระวังมิให้เกิดการลดทอนประสิทธิภาพการนำสัญญาณของเส้นใยแก้ว สาเหตุที่อาจทำให้คุณสมบัติการนำสัญญาณมีประสิทธิภาพต่ำลงอาจเกิดจาก

• **ไมโครเบนดิ้ง** (microbending) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการหุ้มเส้นใยด้วยโค๊ดติ้ง ที่ปล่อยให้วัสดุหุ้มเส้นใยแก้วแข็งตัว (หรือเย็นตัวลง) โดยไม่มีการควบคุมกรรมวิธีหรืออุณหภูมิที่ถูกต้อง ทำให้แต่ละส่วนของวัสดุที่หุ้มเส้นใยแข็งตัวลงไม่พร้อมกัน จนเกิดเป็นแรงกระทำต่อเส้นใยแก้วบางส่วน โดยเฉพาะรอยต่อระหว่างคอร์กับแคลดดิ้ง ทำให้เกิดเป็นไมโครเบนดิ้งได้



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงการเกิดไมโครเบนดิ้งบริเวณรอยต่อระหว่างคอร์กับแคลดดิ้ง

• **การดูดซึมไฮโดรเจน** (Hydrogen absorption) จากวัสดุหุ้มเส้นใยที่มีสารประกอบของธาตุไฮโดรเจนซึมเข้าไปในเส้นใยแก้ว ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีเป็นผลทำให้ค่าการลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วมีค่าสูงขึ้น

3.1.3 มีความคงทน แข็งแรง

การติดตั้งสายเคเบิลที่มีระยะทางไกล มักจะต้องทำการยึดสายเคเบิลระหว่างเสา เช่นเดียวกับสายไฟ ตัวสายเคเบิลเองก็มีน้ำหนักในตัวมันเองพอสมควรซึ่งเรียกว่า axial load หากระยะห่างระหว่างเสามีมาก สายเคเบิลก็จะรับน้ำหนักมาก ทำให้ตัวสายเคเบิลยืดออกตามแรงหรือน้ำหนักที่รับอยู่หลังติดตั้ง และจะค่อยๆ ยืดออก เมื่อเวลาผ่านไปนานๆ ในกรณีสายเคเบิลไฟฟ้า ส่วนยืดของสายเคเบิลที่เกิดขึ้นจะมีค่าได้มากถึง 20-40 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับสายเคเบิลใยแก้วธรรมดาที่แข็งแรงแล้วไม่ควรจะเกิดความยืดของสายมากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์มิฉะนั้นเส้นใยแก้วจะแตกหักได้ ในขณะที่เส้นใยแก้วที่มีคุณภาพสูงจะอนุญาตให้เกิดการยืดตัวของสายเคเบิลได้เพียง 0.5-1 เปอร์เซ็นต์และเนื่องจากเส้นใยแก้วมีความบอบบางมาก ในทางปฏิบัติสายเคเบิลใยแก้วที่ติดตั้งแล้ว จะอนุญาตให้เกิดการยืดตัวของสายได้สูงสุดเพียง 0.2 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ในการทำให้สายเคเบิลใยแก้วมีความคงทนแข็งแรงและรับน้ำหนักได้มากโดยที่เกิดการยืดตัวน้อย จะใช้วัสดุที่ทนแรงดึงได้สูง เช่น โลหะเป็นแกนสำหรับรับแรงดึงของสาย แต่ในบางครั้งการใช้โลหะเป็นแกนเคเบิล อาจทำให้เกิดผลของการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสภาพแวดล้อมได้ จึงหลีกเลี่ยงโดยการนำวัสดุประเภทเคฟล่า (Kevlar) มาใช้

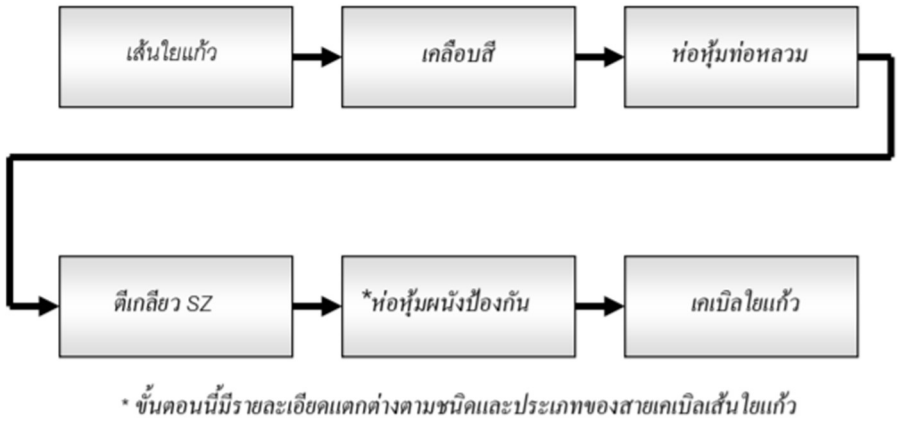
แทน หรือโดยการอัดหรือพันเกลียวจนแน่น เคฟล่าเองมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนที่ดีและมีความแข็งแรงสูง อีกทั้งยังป้องกันหรือช่วยลดผลกระทบจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI: Electromagnetic Interference) ได้ดีอีกด้วย ตัวอย่างของสายเคเบิลประเภทนี้ได้แก่ สายเคเบิลใยแก้วชนิดที่ใช้ภายในอาคารที่ต้องมีการเดินสายเคเบิลร่วมกับสายไฟฟ้าอื่นๆ ไปด้วยกัน เป็นต้น

3.1.4 สะดวกในการติดตั้งและซ่อมแซม

นอกเหนือจากการเลือกใช้วัสดุและการออกแบบโครงสร้างของวัสดุในสายเคเบิลที่ก่อให้เกิดความแข็งแรงทนทานแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการสร้างสรรค์ส่วนประกอบภายในสายเคเบิล ให้เอื้ออำนวยต่อการติดตั้งและซ่อมแซมด้วย สายเคเบิลที่ประกอบด้วยเส้นใยแก้วจำนวนมาก จำเป็นต้องมีการระบุโค๊ดสีของเส้นใยที่แตกต่างกัน ทำให้ทราบว่าเส้นใยแก้วสีไหนกำลังใช้งานอะไรอยู่ โดยทั่วไปจะใช้สีของโค๊ดติ้ง (coating) หรือเยื่อหุ้มเส้นใยแก้วเป็นเกณฑ์ นอกจากนั้นสายเคเบิลใยแก้วอาจมีส่วนของลวดทองแดงหรือสายไฟแทรกอยู่นอกเหนือจากเส้นใยโดดๆ สายไฟที่แทรกอยู่นี้หากมิได้ถูกออกแบบมาให้เป็นสายนำสัญญาณสำหรับใช้งาน ก็จะใช้เป็นเพียงสายสัญญาณชั่วคราว ไว้เชื่อมต่อระหว่างสถานีในกรณีที่เส้นใยแก้วบางเส้นชำรุดไม่สามารถใช้งานได้ หรืออาจใช้เป็นสายสัญญาณสำหรับการสื่อสารระหว่างสถานีกับวิศวกรสนาม ในขณะทำการติดตั้งหรือซ่อมแซมสายเคเบิลภายนอกอยู่

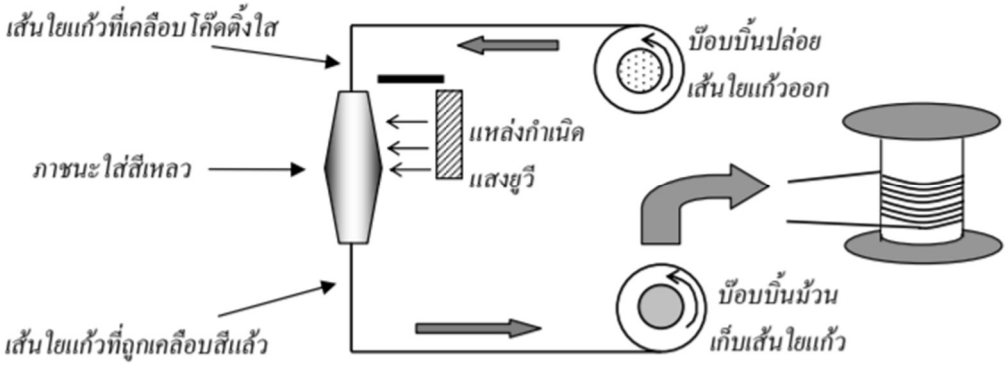
3.2 การผลิตสายเคเบิลใยแก้ว

วัตถุประสงค์ในการผลิตสายเคเบิลสำหรับเส้นใยแก้ว ก็เพื่อป้องกันอันตรายจากแรงกระทำภายนอกที่อาจเกิดขึ้น ทำให้เกิดความสะดวกในการติดตั้งใช้งานไม่ต้องคอยพะวงว่าเส้นใยแก้วจะแตกหัก เส้นใยแก้วมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมสูง อีกทั้งยังเป็นการรวมเส้นใยแก้วหลายๆ เส้นเข้าไว้ด้วยกันอีกด้วย เทคนิคการผลิตสายเคเบิลมีหลักการที่ได้รับการพัฒนามาจากเทคโนโลยีของการผลิตสายเคเบิลทองแดงในงานไฟฟ้า โดยที่แต่ละบริษัทผู้ผลิตก็จะมีรายละเอียดและขั้นตอนที่แตกต่างกันออกไป สำหรับรายละเอียดการผลิตเคเบิลเส้นใยแก้วที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้ จะเน้นที่การผลิตสายเคเบิลใยแก้วที่บรรจุเส้นใยแก้วภายในเป็นจำนวนมาก โดยจะกล่าวอ้างอิงถึงขั้นตอนหลักที่ใช้ปฏิบัติจริงของ บริษัท ไทยไฟเบอร์ออพติคส์ จำกัด ซึ่งมีโรงงานตั้งอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ โดยผู้บริหารของบริษัทไม่เพียงแต่ให้ความอนุเคราะห์เปิดเผยข้อมูลเชิงวิชาการที่มีประโยชน์ แต่ยังเชิญผู้เขียนให้เข้าเยี่ยมชมโรงงาน เพื่อให้เห็นถึงกระบวนการผลิตทุกขั้นตอนอีกด้วย นอกจากนี้ทางบริษัทยังได้อนุเคราะห์รูปภาพและตารางที่ได้แสดงประกอบเนื้อหาในบทนี้เป็นส่วนใหญ่ จึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการผลิตเคเบิลใยแก้ว

ขั้นตอนการผลิตเคเบิลใยแก้วจะเริ่มจากการนำเส้นใยแก้วที่ผ่านการเคลือบโค๊ดติ้งเรียบร้อยแล้วนำมาใช้โดยมีขั้นตอนหลักที่สำคัญ แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยปกติ การเคลือบโค๊ดติ้งให้กับเส้นใยแก้วเปลือย มักจะใช้วัสดุใสไม่มีสีดังนั้น ก่อนนำเส้นใยแก้วนี้มาผลิตเป็นสายเคเบิล จึงต้องผ่านขบวนการเคลือบสี (colouring) ก่อน เพราะเมื่อนำเส้นใยแก้วหลายเส้นมาจัดรวมไว้ในสายเคเบิลเส้นเดียวกัน จะได้ทราบว่าเส้นใยแก้วเส้นไหนใช้งานอะไร ในการเคลือบสีจะใช้การสอดเส้นใยแก้วเข้าไปในภาชนะเล็กๆ คล้ายกรวยที่บรรจุสีอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เส้นใยแก้วที่เคลื่อนผ่านกรวยเล็กนี้จะถูกเคลือบด้วยสีแล้วจะถูกอบด้วยรังสียูวีหรืออุลตร้าไวโอเลต (UV : Ultraviolet) เพื่อทำให้สีแห้ง ก่อนถูกม้วนเก็บไว้ที่วงล้อเล็กๆ คล้ายหลอดด้ายขนาดใหญ่ที่เรียกว่า บ๊อบบิ้น (bobbin) ความหนาของสีที่เคลือบลงไปนี้จะถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ด้วยความเร็วในการหมุนของบ๊อบบิน ซึ่งก็คือ ความเร็วของเส้นใยแก้วที่เคลื่อนที่ผ่านสีนั่นเอง



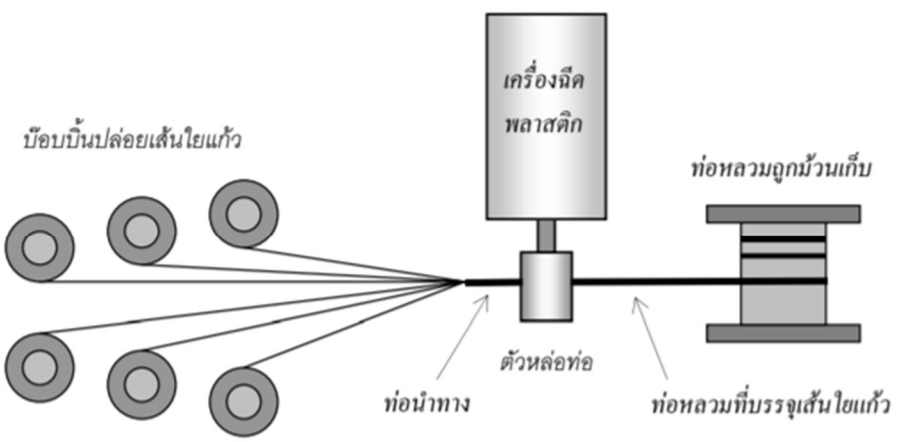
รูปที่ 3.3 ขบวนการเคลือบสีเส้นใยแก้ว

ตารางที่ 3.1 การกำหนดสีโค๊ดติ้งของเส้นใยแก้ว

ลำดับ เส้นใยแก้ว	สีที่เคลือบ เส้นใยแก้ว	ลำดับ เส้นใยแก้ว	สีที่เคลือบ เส้นใยแก้ว
1	ฟ้า (blue)	13	แถบฟ้า/ดำ
2	ส้ม (orange)	14	แถบส้ม/ดำ
3	เขียว (green)	15	แถบเขียว/ดำ
4	น้ำตาล (brown)	16	แถบน้ำตาล/ดำ
5	เทาอมฟ้า (slate)	17	แถบเทาอมฟ้า/ดำ
6	ขาว (white)	18	แถบขาว/ดำ
7	แดง (red)	19	แถบแดง/ดำ
8	ดำ (black)	20	แถบธรรมชาติ/ดำ
9	เหลือง (yellow)	21	แถบเหลือง/ดำ
10	ม่วง (violet)	22	แถบม่วง/ดำ
11	ใส (aqua)	23	แถบใส/ดำ
12	แดงกุหลาบ (rose)	24	แถบแดงเข้ม/ดำ

การกำหนดสีของเส้นใยแก้ว เพื่อความสะดวกในการระบุเส้นใยแก้วที่รวมกันไว้หลายๆ เส้นในสายเคเบิลเส้นใยแก้ว โดยทั่วไปอาจกำหนดได้ด้วยตารางที่ 3.1

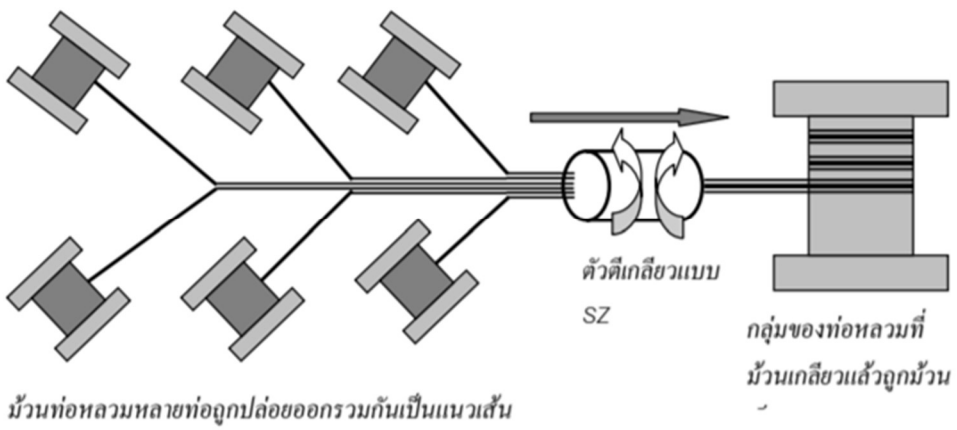
ในการออกแบบเคเบิลเส้นใยแก้ว มักจะจัดรวมเส้นใยแก้วหลายๆ เส้นเข้าไว้ในท่อเล็กๆ ที่มีความทนทานแข็งแรง โดยจัดให้เส้นใยแก้วมีอิสระในการเคลื่อนไหวได้ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าแบบ **ท่อหลวม** (loose tube) (ดูหัวข้อที่ 3.3) จากนั้นจึงนำท่อหลวมแต่ละท่อมาจัดรวมกันอีกทีขึ้นอยู่กับว่าจะออกแบบสายเคเบิลให้มีเส้นใยแก้วจำนวนเท่าไรในการนำเส้นใยแก้วหลายเส้นมาจัดรวมไว้ในท่อหลวม มีกระบวนการแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การห่อหุ้มเส้นใยแก้วหลายๆ เส้นไว้ในท่อหลวมท่อเดียว

ในการจัดให้เส้นใยแก้วบรรจุอยู่ภายในท่อ จะไม่ใช้วิธีการร้อยสายเข้าไปในท่อ แต่จะใช้การหล่อท่อครอบกลุ่มของเส้นใยแก้ว เช่น หากท่อที่ใช้เป็นท่อพลาสติกหรือพีวีซี ก็จะใช้เครื่องฉีดพลาสติกเป็นตัวหล่อท่อดังรูปที่ 3.4 เส้นใยแก้วที่บรรจุไว้ในท่อหลวมหลังการหล่อและท่อแห้งแข็งตัวดีแล้ว จะถูกม้วนจัดเก็บเพื่อเตรียมใช้งานในกระบวนการต่อไป ซึ่งเป็นการนำท่อหลวมหลายๆ ท่อ (ทำให้มีเส้นใยแก้วหลายๆ เส้น) มาม้วนตีเกลียวรวมกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.5

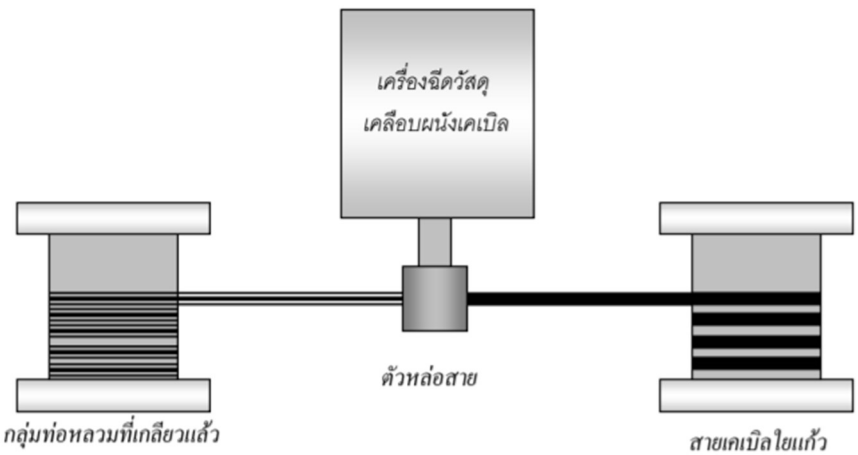
ในการตีเกลียวท่อหลวมหลายท่อให้รวมกันเป็นสาย จะกระทำโดยรอบแกนกลาง ที่เป็นวัสดุที่มีความทนทานแข็งแรงและสามารถรับแรงดึงได้มากเรียกว่า แกนรับแรงดึง หรือ tension member หรือ strength member วัสดุส่วนนี้จะใช้รับแรงดึงที่เกิดจากน้ำหนักของสายเคเบิล หรือแรงกระทำจากภายนอกในขณะทำการติดตั้งและในสภาวะใช้งานหลังจากติดตั้งเสร็จแล้ว (เช่นการแขวนห้อยสายเคเบิล) รอบแกนรับแรงดึงจะประกอบด้วยท่อหลวมเรียงต่อกันเป็นเส้นรอบวงเพื่อให้ได้จำนวนเส้นใยแก้วตามที่ต้องการ หากจำนวนเส้นใยแก้วที่กำหนดมีไม่มาก จะทำให้จำนวนท่อหลวมที่ต้องการไม่สามารถจัดเรียงได้เต็มรอบ ก็จะใช้ท่อตันเทียมเรียกว่า แท่งเสริม หรือ filler rod จัดวางแทรกเข้าไป โดยแท่งเสริมนี้มักจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับท่อหลวมที่ใช้บรรจุเส้นใยแก้ว เมื่อจัดเรียงท่อหลวมโดยรอบแกนรับแรงดึงได้แล้ว ก็จะนำไปเข้าเครื่องตีเกลียว (strander) เพื่อม้วนท่อหลวมให้พันรอบแกนรับแรงดึง ในการตีเกลียวนี้จะกระทำในลักษณะตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาสลับกันไปเป็นช่วงๆ เรียกว่าการตีเกลียวแบบ SZ (เนื่องจากตัวอักษร S และอักษร Z มีลักษณะกลับกัน) ทั้งนี้เพื่อป้องกันการพันกันของท่อหลวม ทำให้เกิดความสะดวกในการติดตั้ง และซ่อมบำรุงเคเบิลเส้นใยแก้วในภาคปฏิบัติ เส้นใยแก้วที่ถูกม้วนตีเกลียวแล้วอาจถูกมัดด้วยเชือกเล็กๆ (core binder) คล้ายตาข่ายเพื่อยึดรวมท่อหลวมมิให้แตกแยกออกจากกัน เส้นใยแก้วที่ถูกตีเกลียวรวมกันจะถูกม้วนเก็บก่อนนำไปประกอบในขบวนการห่อหุ้มให้มีลักษณะเป็นสายเคเบิลเส้นเดียวต่อไป



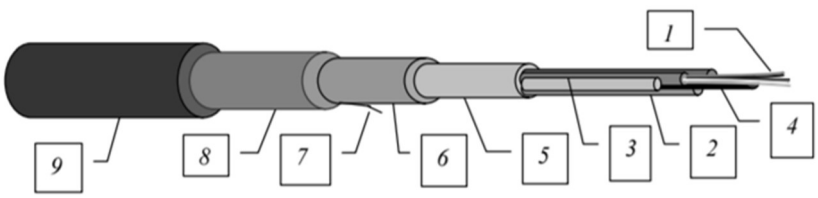
รูปที่ 3.5 การม้วนตีเกลียวแบบ SZ สำหรับท่อหลวมหลายท่อเข้าด้วยกัน

รูปที่ 3.6 เป็นกระบวนการสุดท้ายในการผลิตสายเคเบิลใยแก้ว โดยการห่อหุ้มเส้นใยแก้วหลายๆ เส้นในท่อหลวมที่ถูกตีเกลียวรวมกันแบบ SZ แล้ว ด้วยการหล่อผนังภายนอกด้วยวัสดุที่มีความคงทน แข็งแรง

ก่อนถูกม้วนเก็บเพื่อทดสอบก่อนเก็บส่งลูกค้าเพื่อนำไปใช้งานต่อไป ซึ่งในกระบวนการห่อหุ้มสายเคเบิลนี้จะมีรายละเอียดและกรรมวิธีแตกต่างออกไป ตามชนิดและประเภทของสายเคเบิล เช่น อาจมีการบรรจุเยลลี่หรือเจลเหลว สอดใส่ด้วยอะรามิดยาน (aramid yarn) พันด้วยเทปกันน้ำ และการห่อหุ้มด้วยท่อโลหะบาง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์ในการรับแรงกระแทกและกันน้ำ รวมทั้งการพิมพ์รหัสและรายละเอียดของเส้นใยแก้ว (เช่น ชนิด และเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นต้น) ลงไปที่ผิวด้านนอกของสายเคเบิลเหล่านี้ ดังเช่นโครงสร้างของสายเคเบิลแบบต่างๆ ที่จะแสดงในหัวข้อต่อไป แต่ทั้งนี้ก็เพื่อวัตถุประสงค์ในการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับเส้นใยแก้วภายในเหมือนกัน



รูปที่ 3.6 การห่อหุ้มสายเคเบิลใยแก้ว



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างโครงสร้างของเคเบิลใยแก้วโดยมีส่วนประกอบแสดงดังตารางที่ 3.2

รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างของเคเบิลเส้นใยแก้ว โดยมีรายละเอียดที่แสดงส่วนประกอบของสายเคเบิลดังตารางที่ 3.2 โดยทั่วไปวิศวกรในบ้านเรา มักเรียกจำนวนเส้นใยแก้วที่บรรจุอยู่ภายในสายเคเบิลเป็นจำนวนคอร์ตัวอย่างเช่น สายเคเบิลมีเส้นใยแก้ว 16 คอร์ก็คือสายเคเบิลที่มีเส้นใยแก้วอยู่ 16 เส้นนั่นเอง

***ตารางที่ 3.2** ตัวอย่างรายละเอียดโครงสร้างของสายเคเบิลเส้นใยแก้วในรูปที่ 3.7*

No.	Item		Description				
1	Optical Fiber	Number	up to 36	48 to 72	84 to 96	108 to 120	132 to 216
2	Loose Tube	Material	PBT (Polybutylene Terepthalate)				
		Number	1-6	4-6	7-8	9-10	11-17
3	Filler Rod	Material	Plastic rod or pipe, nature color				
		Number	5 – 0	2 – 0	1 – 0	1 – 0	7 - 1
4	Tension Member	Material	Polyethylene coated FRP rod				
		Dia. Of FRP	nominal 2.3 mm		nominal 2.7 mm	nominal 3.5 mm	
5	Water Blocking Tape	Material	Plastic thread(s) and / or Plastic tape(s)				
6	Strength Member	Material	Aramid yarns*				
7	Rip Cord	Material	Plastic thread(s)				
8	Moisture Barrier	Material	One or two side(s) plastic coated aluminium tape				
		Thickness	Aluminium : nominal 0.2 mm Plastic coating : nominal 0.05 mm				
9	Jacket	Material	HDPE, Black color				
		Thickness	Nominal 1.7 mm				
10	Cable Diameter (Approx. mm)		14	15	17	19	21
11	Cable Weight (Approx. kg/km)		151	187	242	300	380

*หมายเหตุ * อะรามิดยาน ก็คือวัสดุประเภทเคฟล่า (Kevlar) ที่มีความเหนียวและแข็งแรงมาก*

3.3 การทดสอบสายเคเบิลใยแก้ว

สายเคเบิลที่ผลิตเสร็จสมบูรณ์แล้ว จะต้องผ่านการทดสอบว่ามีคุณภาพได้มาตรฐานหรือไม่ ถ้าไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ก็ต้องสำรวจหาข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตแล้วทำการปรับปรุง ถ้าสายเคเบิลใยแก้วมีคุณภาพได้มาตรฐานตามที่ลูกค้าต้องการ ก็จัดส่งให้ลูกค้าได้ทันที ในบางครั้งการทดสอบคุณสมบัติของสายเคเบิลใยแก้วไม่เพียงแต่จะกระทำกันเองภายในโรงงานผู้ผลิตเท่านั้น แต่ยังต้องมีเจ้าหน้าที่จากหน่วยงานของลูกค้าเข้ามาร่วมทดสอบด้วย เพื่อให้เกิดความมั่นใจสูงสุด

การทดสอบคุณสมบัติของสายเคเบิลใยแก้ว สามารถทำตามรูปแบบมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กรสากลต่างๆ เช่น

- สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือ ITU (International Telecommunication Union)
- สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (EIA : Electronic Industries Association)
- หน่วยงาน IEC (International Electrotechnical Commission)

• หน่วยงาน ASTM (American Society for Testing and Materials)

• สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.หรือ TIS : Thai Industrial Standard)

• ฯลฯ

ในกรณีของโรงงานผลิตสายเคเบิลใยแก้วในประเทศไทย อาจจำเป็นต้องทดสอบคุณสมบัติของเส้นใยแก้วตามข้อกำหนดของลูกค้ารายใหญ่ เช่น บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) (ชื่อเดิมคือ การสื่อสารแห่งประเทศไทย - กสท.) และ บริษัท ทศท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) (ชื่อเดิมคือ องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย - ทศท.) เป็นต้น

การทดสอบมาตรฐานของสายเคเบิลใยแก้ว พอจะแบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ การทดสอบเส้นใยแก้ว และการทดสอบสายเคเบิล ดังรายละเอียดพอสรุปได้ดังนี้

1) การทดสอบเส้นใยแก้ว ได้แก่การตรวจสอบคุณสมบัติและพารามิเตอร์ของเส้นใยแก้วให้เป็นไปตามที่กำหนดออกแบบ ตัวอย่างเช่น

• เส้นผ่านศูนย์กลางของโหมดแสง (mode field diameter) ที่ค่าความยาวคลื่นแสงต่าง ๆ

• ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้ง (หรือของเส้นใยแก้วทั้งเส้น)

• ความกลมของเส้นใยแก้ว

• ค่าการลดทอนสัญญาณแสงในช่วงของความยาวคลื่นที่ใช้งาน เช่น 1,310 และ 1,550 นาโนเมตร เป็นต้น

• ความยาวคลื่นตัดหรือความยาวคลื่นคัทออฟ (cut-off wavelength)

• ค่าดิสเพอร์ชั่นแบบโครเมติก (Chromatic Dispersion) ในช่วงของความยาวคลื่นที่ใช้งาน

• ฯลฯ

อย่างไรก็ตาม กระบวนการทดสอบเส้นใยแก้วเหล่านี้มักกระทำมาแล้วจากโรงงานที่ผลิตเส้นใยแก้วก่อนหน้านี้โรงงานผู้ผลิตสายเคเบิลอาจทำการทดสอบเฉพาะสิ่งที่ตนต้องทำงานเกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดความแน่ใจอีกครั้งหนึ่ง สำหรับรายละเอียดการทดสอบเส้นใยแก้วที่น่าสนใจ แสดงไว้แล้วในบทที่ 7

2) การทดสอบสายเคเบิลเส้นใยแก้ว จะเน้นเฉพาะสายเคเบิลเป็นหลักซึ่งมักกระทำในลักษณะย่อยได้ดังนี้

2.1 การทดสอบของกายภาพ ได้แก่ การตรวจสอบขนาดของส่วนประกอบของสายเคเบิลว่าเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ เช่น

• ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหลวม (loose tube) แท่งเสริม (filler rod) แกนรับแรงดึง (tension member) และสายเคเบิลทั้งเส้น เป็นต้น

• ค่าความยาวส่วนเกิน (excess length) เมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกของท่อหลวม และแกนรับแรงดึง

2.2 การทดสอบความแข็งแรงและทนทานต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น

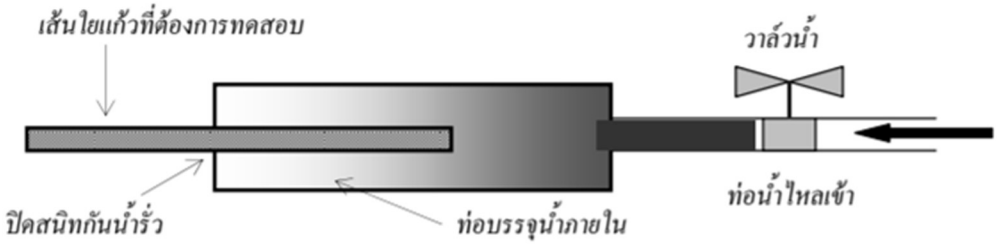
• การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก โดยการนำเคเบิลใยแก้วทั้งเส้นไปวางยึดไว้บนแท่น จากนั้นจะปล่อยวัสดุหนักให้ตกลงมาจากที่สูงประมาณ 1 เมตร น้ำหนักของวัสดุที่ใช้ขึ้นกับข้อกำหนดในการออกแบบสายเคเบิลใยแก้ว ยิ่งน้ำหนักมากสายเคเบิลใยแก้วก็จะได้รับแรงกระแทกมาก สายเคเบิลใยแก้วที่ผ่านการทดสอบจะต้องมีสภาพทางกายภาพ และคุณสมบัติทางแสงปกติทุกประการ

• ความยืดหยุ่นของสายเคเบิลใยแก้ว

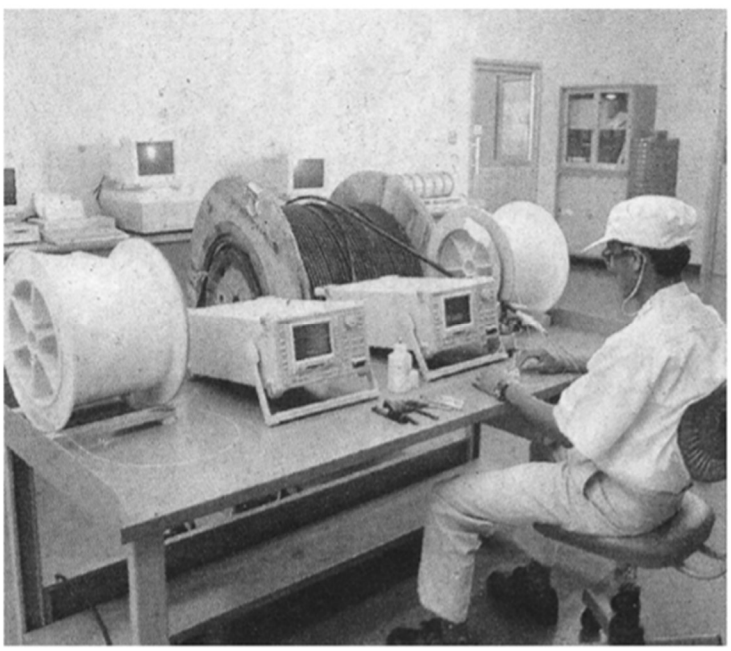
• การบิดตัวของสายเคเบิลใยแก้ว

• ค่าแรงดึงสูงสุดที่สายเคเบิลใยแก้วทนได้โดยไม่เกิดอันตรายต่อเส้นใยแก้วภายใน

• ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ไม่คงที่



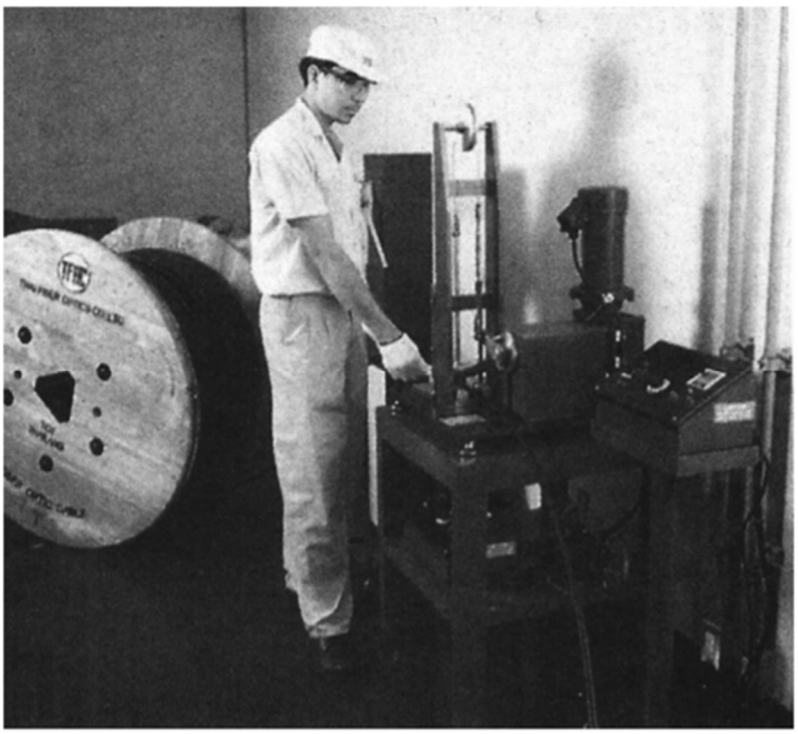
รูปที่ 3.8 การทดสอบการรั่วซึมของน้ำเข้าสู่สายเคเบิลใยแก้ว



รูปที่ 3.9 การทดสอบคุณสมบัติในการทำงานของเส้นใยแก้ว

• ค่ารัศมีความโค้งสูงสุดของสายเคเบิลใยแก้ว ที่ไม่ทำให้คุณสมบัติทางแสงของเส้นใยแก้วเปลี่ยนแปลงไป

• อัตราการรั่วซึมของน้ำที่ไหลเข้าไปในสายเคเบิลใยแก้ว ทั้งจากผนึกโดยรอบ เมื่อเกิดการฉีกขาดและจากปลายเปิดของปลายสายเคเบิลใยแก้ว ซึ่งการทดสอบแบบนี้ อาจแสดงดังรูปที่ 3.8 โดยการอัดน้ำเข้าไปที่ปลายเปิดของสายเคเบิลแล้วปล่อยทิ้งไว้ สายเคเบิลใยแก้วที่ดีควรอนุญาตให้น้ำซึมเข้าไปภายในสายเคเบิลไม่เกิน 1.2-1.5 เมตร เท่านั้น ทั้งนี้ เทปพันกันน้ำภายในสายเคเบิลจะขยายตัวออกเมื่อเปียกน้ำด้วยปริมาตรที่มากขึ้นกว่าเดิมหลายเท่าตัวมาก จนเสมือนพองตัวปิดช่องอากาศภายในและซึมซับน้ำไว้ ไม่ให้น้ำรั่วซึมผ่านต่อไปได้อีก ในกรณีที่ต้องการทดสอบการรั่วซึมที่ผนังเคเบิล ก็อาจทดสอบได้ด้วยวิธีเดียวกัน เพียงแต่นำจุกมาปิดปลายของสายเคเบิลใยแก้ว มิให้น้ำเข้าเท่านั้น



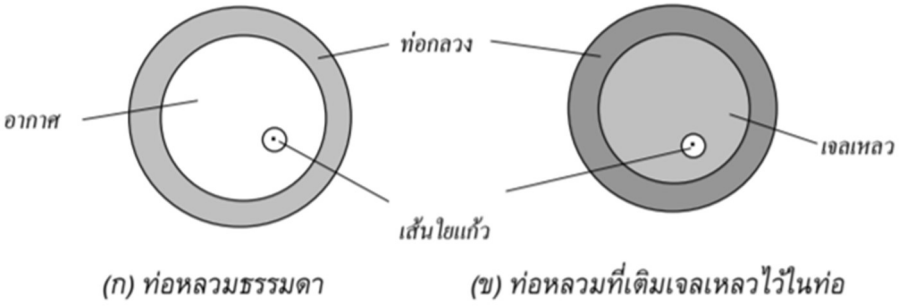
รูปที่ 3.10 การทดสอบการทนแรงกระแทกของสายเคเบิลเส้นใยแก้ว

3.4 สายเคเบิลใยแก้วแต่ละประเภท

การจัดแบ่งประเภทของสายเคเบิลใยแก้ว อาจมีหลักการในการจำแนกออกได้หลายลักษณะ ในที่นี้จะกล่าวถึงการจำแนกสายเคเบลใยแก้วเพียงสองลักษณะคือ การจำแนกตามลักษณะโครงสร้างของสายเคเบิล และการจำแนกตามประเภทของการใช้งาน

โครงสร้างของสายเคเบิลมักจะถูกออกแบบตามชนิดการใช้งานแต่ละประเภท เพื่อทำให้สายเคเบิลใยแก้วมีราคาที่เหมาะสม สายเคเบิลที่มีโครงสร้างแบบง่ายๆ จะมีราคาถูกกว่าสายเคเบิลที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน โดยปกติราคายของสายเคเบิลมักถูกกำหนดมาจากโครงสร้างและวัสดุที่ใช้ทำสายเคเบิล มากกว่าวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้วเองเสียอีก การจำแนกสายเคเบิลตามโครงสร้างอาจจำแนกได้เป็นดังนี้

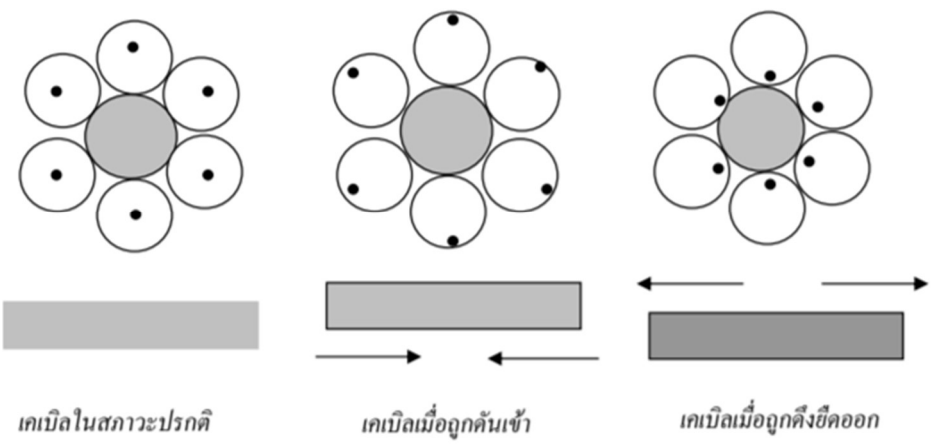
3.4.1 ชนิดเส้นเดี่ยวท่อหลวม (single-fiber loose buffer)



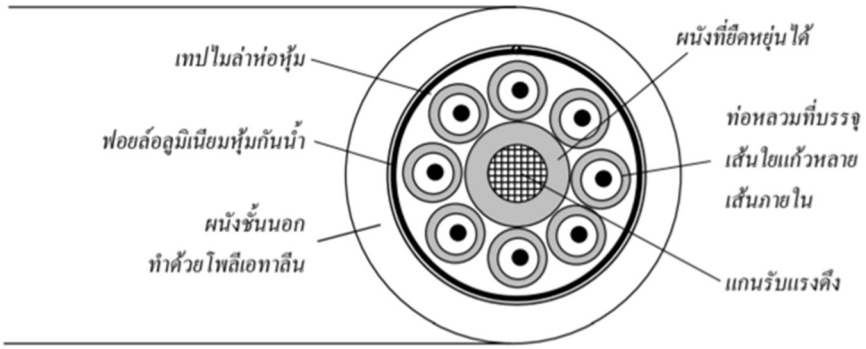
รูปที่ 3.11 สายเคเบิลเส้นใยแก้วชนิดเส้นเดี่ยวท่อหลวม

โครงสร้างของสายเคเบิลชนิดเส้นเดี่ยวท่อหลวม จะประกอบด้วยเส้นใยแก้วเพียงเส้นเดียว ทำให้สายเคเบิลมีขนาดเล็กคล้ายสายไฟธรรมดา ตัวเส้นใยแก้วจะบรรจุอยู่ภายในท่อทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่พอที่จะทำให้เส้นใยแก้วสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระอยู่ภายใน ดังแสดงในรูปที่ 3.11(ก) โดยปกติท่อทรงกระบอกนี้มักทำจากวัสดุประเภทพลาสติกที่มีความทนทานแข็งแรง แต่มีความยืดหยุ่นโค้งงอได้ง่าย และมีอายุการใช้งานยืนยาว ภายในท่อทรงกระบอกมักจะปล่อยว่างไว้ แต่ในบางครั้งจะบรรจุสารที่มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้งหรือเยลลี่เหลวไว้ สารนี้ต้องมีสภาพเป็นกลางทางเคมีและมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่าง -30 ถึง 170 องศาเซลเซียส ได้โดยยังคงรักษาสภาพเดิมไว้ (ไม่แข็งตัวที่อุณหภูมิเย็นจัดและไม่เหลวละลายเมื่ออุณหภูมิสูง) ท่อทรงกระบอกทำหน้าที่ปกป้องอันตรายและรับแรงกระแทกที่อาจเกิดกับเส้นใยแก้ว รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวยึดหดของสายเคเบิลแทนเส้นใยแก้วอีกด้วย ในการทำเป็นสายเคเบิลท่อทรงกระบอกจะถูกห่อหุ้มด้วยฉนวนอีกชั้นหนึ่ง ทำให้มีความคงทนแข็งแรง แต่โดยทั่วไปโครงสร้างดังกล่าวไม่นิยมนำมาทำเป็นสายเคเบิลเส้นเดียวมากนัก แต่จะนำไปรวมกับเส้นใยแก้วอื่นๆ เพื่อทำเป็นสายเคเบิลเส้นรวมมากกว่า

(1) ชนิดเส้นรวมท่อหลวม (multi-fiber loose buffer)



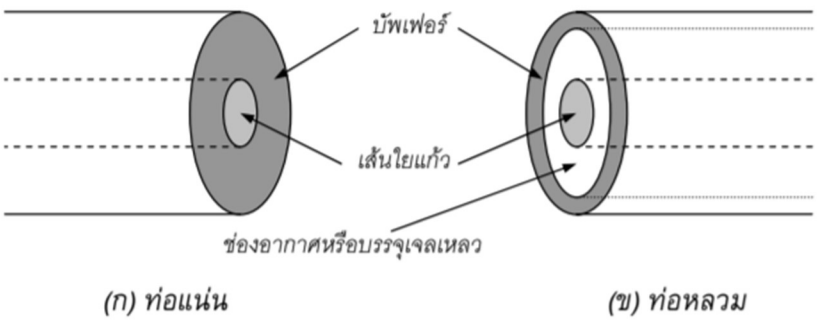
รูปที่ 3.12 สายเคเบิลเส้นใยแก้วชนิดเส้นเดี่ยวท่อหลวม



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างโครงสร้างของสายเคเบิลชนิดเส้นรวมชนิดหนึ่ง

หากเรานำเส้นใยแก้วชนิดท่อหลวมมารวมกันหลายๆ เส้นเป็นวงกลมดังรูปที่ 3.12 จะได้สายเคเบิลเส้นเดียวที่มีเส้นใยแก้วหลายเส้นร่วมกัน ข้อดีของเส้นใยแก้วชนิดท่อหลวมคือ มีความทนทานต่อแรงกระทำสูง ในรูปที่ 3.12(ก) เป็นสภาวะปกติของสายเคเบิลที่ไม่มีแรงใดๆ มากระทำ เส้นใยแก้วแต่ละเส้นจะรักษาสมดุลอยู่ในตำแหน่งที่เป็นจุดกึ่งกลางท่อ เมื่อมีแรงมากระทำจนทำให้สายเคเบิลเกิดการยืดตัวออก หรือมีความยาวมากขึ้น จะเกิดแรงกระทำภายนอกทำให้ตำแหน่งของเส้นใยแก้วเลื่อนเข้าสู่จุดศูนย์กลางของสายเคเบิลดังรูปที่ 3.12(ข) ในทำนองเดียวกัน หากสายเคเบิลมีการหดตัวหรือเกิดแรงดันจากปลายสองข้างเข้าหากัน เส้นใยแก้วจะเลื่อนตำแหน่งออกจากจุดศูนย์กลางสู่เส้นรอบวงของสายเคเบิล เหตุการณ์ของแรงกระทำภายนอกที่เกิดขึ้นทั้งในรูปที่ 3.12(ข) และ (ค) จะมีผลกระทบกับสายเคเบิลโดยตรง ในขณะที่เส้นใยแก้วเอง แทบไม่มีแรงกระแทกเกิดขึ้นเลย เนื่องจากการผ่อนแรงที่เกิดมาจากการเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของสายเคเบิลใยแก้วชนิดเส้นรวมแสดงดังรูปที่ 3.13 โดยจะมีเทปพันรอบท่อเส้นใยแก้วก่อนถูกห่อหุ้มด้วยแผ่นอะลูมิเนียมบางเพื่อป้องกันน้ำเข้า อีกทั้งยังทำให้สายเคเบิลทนแรงดันน้ำได้ระดับหนึ่ง ฉนวนภายนอกที่ห่อหุ้มสายเคเบิลนิยมใช้วันที่เป็นพลาสติกประเภทโพลีเอทธีลีน (Polyethylene : PE) เพราะมีความแข็งแรง ยืดหยุ่น และทนแรงดันได้สูง

(2) ชนิดท่อแน่น Tight buffer

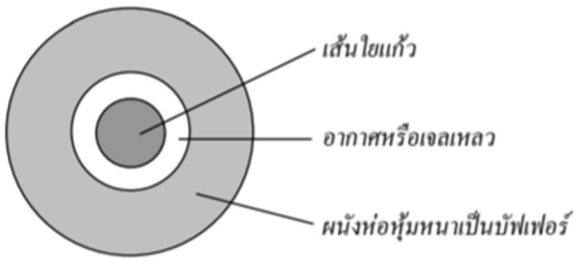


รูปที่ 3.14 ภาพเปรียบเทียบของสายเคเบิลเส้นใยแก้วชนิด (ก) ท่อแน่น และ (ข) ท่อหลวม

หากเส้นใยแก้วเดี่ยวถูกเคลือบด้วยวัสดุฉนวนที่มีความหนาพอที่จะป้องกันอันตรายและแรงกระแทกต่ำๆ ที่อาจเกิดแก่เส้นใยได้จะเรียกสายเคเบิลชนิดนี้ว่า เป็นแบบท่อแน่น บางครั้งฉนวนที่เคลือบเส้นใยแก้วอาจมีมากกว่าหนึ่งชั้น สายเคเบิลชนิดนี้ทำง่าย ราคาถูก เพราะไม่ต้องคำนึงถึงเรื่องโครงสร้างมากนัก ตัวฉนวนเองต้องมีความแข็งแรงพอที่จะทนทานแรงดึงต่างๆ ได้ สายเคเบิลชนิดท่อแน่นมีทั้งที่เป็นเส้นเดี่ยว และเส้นรวม (คือนำมารวมกันตามโครงสร้างในแบบที่ 2) สายเคเบิลชนิดนี้มักนิยมใช้ภายในอาคาร (Indoor Cable) เพราะสภาพแวดล้อมมีผลต่อสายเคเบิลน้อยมาก ฉนวนภายนอกของสายเคเบิลมักเป็นพลาสติกชนิดพีวีซี (PVC : Polyvinylchloride) ข้อเสียที่เด่นชัดของสายเคเบิลชนิดท่อแน่นก็คือ สามารถทนแรงกระทำภายนอกได้น้อยกว่าชนิดท่อหลวมมาก จึงมีผู้คิดออกแบบสายเคเบิลชนิดท่อผสมขึ้น โดยเว้นช่องว่างระหว่างเส้นใยแก้วกับฉนวนหุ้มไว้เพียงเล็กน้อยเพื่อเปิดพื้นที่ให้เส้นใยแก้วได้ เคลื่อนไหวแบบอิสระได้บ้าง ทำให้สามารถทนแรงกระทำได้เพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย การเว้นช่องว่างไว้เพียงเล็กน้อยก็เพื่อควบคุมต้นทุนการผลิตให้ต่ำไว้นั่นเอง

***ตารางที่ 3.3** การเปรียบเทียบโครงสร้างแบบท่อแน่นกับท่อหลวมในสายเคเบิลเส้นใยแก้ว*

	ชนิดท่อแน่น	**ชนิดท่อหลวม**
รัศมีความโค้งของสาย	*โค้งได้มาก - มีรัศมีความโค้งน้อยกว่า*	*โค้งได้น้อย - มีรัศมีความโค้งมากกว่า*
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	*มีขนาดเล็กกว่า*	*มีขนาดใหญ่กว่า*
การรับแรงดึง	*รับแรงดึงได้น้อยกว่า*	*รับแรงดึงได้มากกว่า*
การทนแรงกระแทก	*ทนได้มากกว่า*	*ทนได้น้อยกว่า*
การทนแรงอัด	*ทนได้มากกว่า*	*ทนได้น้อยกว่า*
การเปลี่ยนแปลงค่าการลดทอนสัญญาณที่อุณหภูมิต่ำ	*เปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่า*	*เปลี่ยนแปลงได้น้อยกว่า*

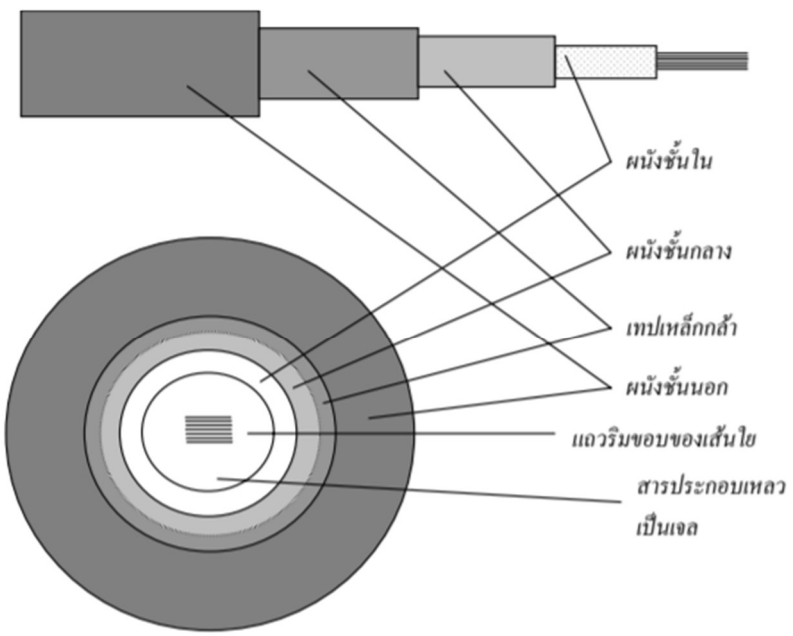


รูปที่ 3.15 สายเคเบิลเส้นใยแก้วชนิดผสมหรือ composite buffer

การเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อย เมื่อคำนึงถึงโครงสร้างของเส้นใยแก้ว ระหว่างชนิดท่อแน่นและท่อหลวม แสดงดังตารางที่ 3.3 ซึ่งคุณสมบัติด้านดีของโครงสร้างทั้งสองชนิด สามารถนำมารวมกันเพื่อออกแบบสร้างเส้นใยแก้วชนิดผสมหรือ composite buffer โดยลดช่องว่างอากาศในชนิดท่อหลวมลง และเพิ่มผนังท่อให้หนาและมีโครงสร้างแบบท่อแน่นมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.15

(3) ชนิดแถบแบน (Ribbin Type)

(ก) เส้นใยแก้ว 8 เส้นใน 1 แถว



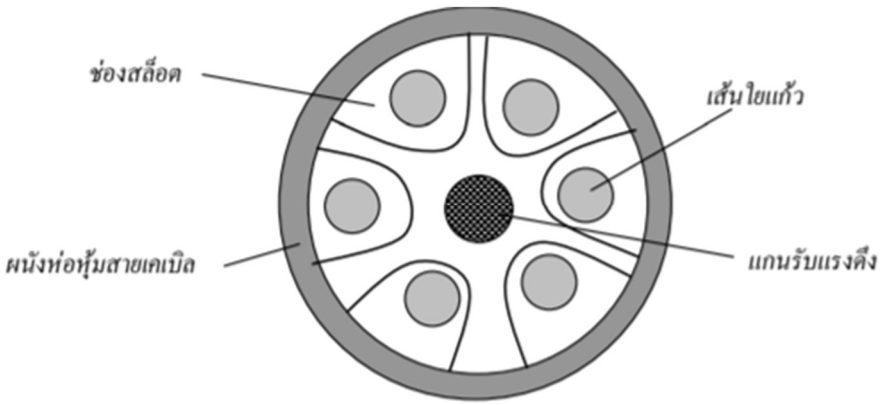
รูปที่ 3.16 สายเคเบิลชนิดแถบแบน

การจัดวางของเส้นใยแก้วชนิดแถบแบนจะใช้การเรียงเส้นใยแก้วหลายเส้น (แต่มักไม่เกิน 12 เส้น) ในแนวเดียวกันเป็นเส้นตรง โดยใช้กาวเป็นตัวยึดระหว่างเส้นใยแก้วดังรูปที่ 3.16(ก) จากนั้นจะนำแถบเส้นใยมาวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ อยู่ในแนวกึ่งกลางของสายเคเบิลในลักษณะท่อหลวม ที่มีสารขี้ผึ้งบรรจุอยู่ และหมุนเป็นเกลียวตามความยาวของเคเบิล ฉนวนที่หุ้มเส้นใยแก้วอาจทำเป็นชั้นๆ สลับกับส่วนของโลหะเพื่อเพิ่มความแข็งแรงดังแสดงในรูปที่ 3.16(ข) สายเคเบิลชนิดนี้สามารถบรรจุเส้นใยแก้วได้มากถึงกว่า 50 เส้น ข้อเสียของสายเคเบิลชนิดนี้คือ ไม่สามารถรับน้ำหนักได้มาก และมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ไม่ดี จึงนิยมใช้ในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของตัวกลางส่งข้อมูลสูง และมีระยะทางเชื่อมต่อกันไม่ไกลนัก เช่น

ภายในอาคาร และใช้กับระบบควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น อนึ่ง เส้นใยแก้วชนิดแถบนี้มีใช้มากในประเทศญี่ปุ่น ในขณะที่ในเมืองไทยแทบไม่มีการใช้งานให้เห็นเลย

(4) ชนิดแบ่งสล็อต (slot Type)

โครงสร้างพื้นฐานของการจัดวางเส้นใยแก้วชนิดแบ่งสล็อต แสดงดังรูปที่ 3.17 ประกอบด้วยแกนอโลหะ ทำหน้าที่รับน้ำหนักและแรงดึงในแนวแกนกลางรอบๆ แกนกลางจะถูกหล่อเป็นร่องหรือสล็อตที่แข็งแรง เพื่อใช้เป็นเกราะป้องกันแรงกระทำภายนอกมิให้ส่งผลต่อเส้นใยแก้วที่บรรจุอยู่ในช่องสล็อตได้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายเคเบิลประเภทนี้มักจะมีขนาดเล็กกว่าสายเคเบิลประเภทอื่นที่มีจำนวนของเส้นใยแก้วเท่ากัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับสายเคเบิลชนิดท่อหลวม สายเคเบิลชนิดแบ่งสล็อตจะใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่า แต่ก็มีข้อเสียตรงที่มีความแข็งแรงทนทานต่ำกว่า



รูปที่ 3.17 โครงสร้างของสายเคเบิลชนิดแบ่งสล็อต

3.5 การจัดแบ่งสายเคเบิลใยแก้วตามประเภทการใช้งาน

หากทำการแบ่งชนิดของสายเคเบิลตามประเภทการใช้งาน อาจจำแนกออกได้หลายชนิดขึ้นกับสภาพการใช้งานในแต่ละรูปแบบ โดยทั่วไปพอจะแบ่งออกคร่าวๆ ได้ ดังนี้

3.5.1 สายเคเบิลภายในอาคาร (Indoor Cables)

สายเคเบิลใยแก้วที่ใช้ภายในอาคารทั่วไปมักมีขนาดเล็ก และมีปริมาณของเส้นใยแก้วบรรจุอยู่ไม่มากนัก โครงสร้างของสายเคเบิลมักเป็นแบบท่อแน่นหรือแบบผสมระหว่างท่อแน่นกับท่อหลวม และมักจะไม่มีส่วนประกอบของโลหะอยู่เลย สายเคเบิลเส้นใยแก้วภายในอาคารนิยมใช้กับงานที่เกี่ยวกับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์หรือแลน (LAN) และอุปกรณ์ประเภทเครื่องมือวัดทั้งหลาย เป็นต้น

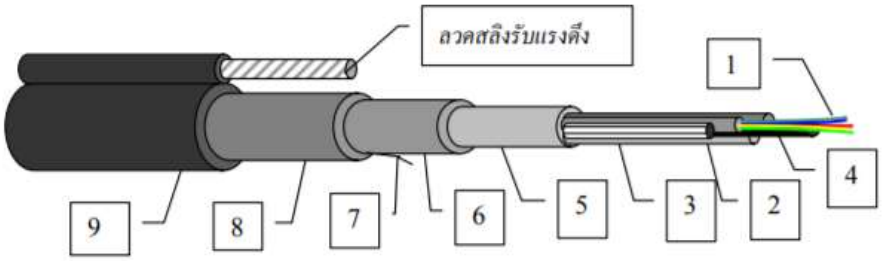
3.5.2 สายเคเบิลภายนอกอาคาร (Outdoor Cables)

สายเคเบิลภายนอกอาคารจะใช้ต่อจากสายเคเบิลภายในอาคาร โดยมีรัศมีห่างจากตัวอาคารไม่มากนัก โครงสร้างของสายเคเบิลแบบนี้มักเป็นแบบท่อแน่น ที่ห่อหุ้มด้วยผนังที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของ

สภาพแวดล้อมได้สูง หรืออาจเป็นลักษณะของท่อหลวมที่มีเส้นใยแก้วอยู่ระหว่าง 2-24 เส้น บรรจุอยู่ในสายเคเบิลตามโครงสร้างปกติทั่วไป

3.5.3 สายเคเบิลระหว่างอาคาร (Intrabuilding, Arial Cables)

ในการเชื่อมโยงสายเคเบิลเส้นใยแก้วระหว่างอาคาร ที่มีระยะห่างไม่มากนัก มักใช้สายเคเบิลที่มีโครงสร้างแบบท่อหลวม เพราะสามารถรับแรงดึงได้ดีซึ่งบางครั้งต้องทำการแขวนโยงสายเคเบิลประเภทนี้ระหว่างเสา จึงอาจเรียกชื่อเป็นแบบอากาศ (Aerial Cables) สายเคเบิลประเภทนี้จำเป็นต้องมีแกนรับแรงดึงประกอบอยู่ และภายในท่อหลวมหนึ่งท่ออาจบรรจุเส้นใยแก้วหลายเส้นรวมกัน เรียกว่า MFPT (multifiber per tube) สายเคเบิลชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการแขวนโยงระหว่างเสา จะมีรูปร่างในภาคตัดขวางคล้ายรูปเลขแปด จึงมีชื่อเรียกว่าแบบฟิกเกอร์เอท (Figure-8 cable) ดังรูปที่ 3.18 สายเคเบิลระหว่างอาคารนี้มักใช้กับปริมาณข้อมูลที่มากขึ้น ในบางครั้งการเชื่อมโยงสายเคเบิลระหว่างอาคาร อาจใช้วิธีการฝังทั้งการฝังโดยตรง (direct buried cable) หรือแบบร้อยท่อ (duct cable) เพื่อสร้างความเป็นระเบียบและทัศนียภาพที่ดี บางคนจึงเรียกสายเคเบิลแบบนี้ว่าแบบใต้ดิน (Underground Cables)



รูปที่ 3.18 โครงสร้างของสายเคเบิลชนิด Figure-8 ที่มีส่วนประกอบคล้ายกับตารางที่ 3.2

3.5.4 สายเคเบิลแบบลูกผสม (Hybrid cables)

สายเคเบิลแบบลูกผสมหรือแบบไฮบริด เป็นสายเคเบิลที่มีเส้นใยแก้วและสายไฟทองแดงอยู่รวมกัน โดยเส้นใยแก้วมักใช้สำหรับการใช้งานสื่อสารข้อมูล ในขณะที่สายไฟทองแดงใช้เป็นสื่อนำพลังงานไฟฟ้าไปสู่จุดหมาย เสมือนเป็นสายไฟฟ้ากำลังต่ำๆ ไปในตัว ทำให้ประหยัดในการเลือกใช้สายเคเบิล ในบางครั้งตัวนำทองแดงอาจถูกใช้สำหรับเป็นสายดินหรือสายกราวด์สำหรับระบบไฟฟ้าในสถานีที่สายเคเบิลพาดผ่าน ซึ่งเส้นใยแก้วในกรณีหลังนี้จะมีชื่อเรียกว่าแบบ OFGW (Optical Fiber with Ground Wire) ซึ่งในเมืองไทยก็มีใช้งานอยู่บ้างเหมือนกัน โดยเฉพาะหน่วยงานที่เกี่ยวกับการส่งระบบไฟฟ้ากำลัง

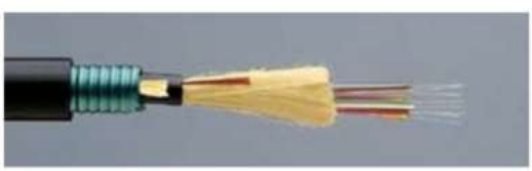
3.5.5 สายเคเบิลใต้น้ำ (Submarine Cables)

ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างประเทศหรือระหว่างภูมิภาคใหญ่ๆ ที่จำเป็นต้องใช้แนวทางผ่านมหาสมุทร จะใช้สายเคเบิลเส้นใยแก้วใต้น้ำ สายเคเบิลชนิดนี้มักประกอบด้วยโครงสร้างของท่อหลวมหลายๆ ท่อรวมกันอยู่ในสายเคเบิลเส้นเดียวกัน สายเคเบิลหนึ่งเส้นอาจมีเส้นใยแก้วมากถึง 144 เส้น จึงทำให้มีขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลางค่อนข้างใหญ่กว่าสายเคเบิลประเภทอื่น แต่ก็ไม่ถือว่าใหญ่มากเมื่อเทียบกับสายเคเบิลทองแดงทั่วไป สายเคเบิลประเภทนี้อาจมีลักษณะเป็นแบบลูกผสมหรือไฮบริด เพราะต้องใช้สายตัวนำทองแดงส่งกำลังไฟฟ้าไปยังสถานีทวนสัญญาณที่อยู่ใต้ทะเล ที่สำคัญ โครงสร้างของสายเคเบิลใต้น้ำจะซับซ้อนกว่าสายเคเบิลอื่น เพราะต้องทนต่อแรงกดของน้ำมากๆ ได้เป็นเวลานานๆ อีกทั้งต้องมีส่วนประกอบที่ป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้เป็นอย่างดี

(ก) สายเคเบิลชนิดภายในอาคาร ชนิดโหมดเดี่ยว (สีเหลือง) และชนิดโหมดร่วม (สีส้ม)

(ข) เคเบิลเส้นใยนำแสงภายนอกอาคารชนิดแขวนอากาศ หรือรูปเลขแปด (ฟิกเกอร์เอท - Figure 8)



(ค) เคเบิลเส้นใยนำแสงภายนอกอาคารแบบมีเกราะโลหะหุ้ม มักใช้สำหรับฝังดินโดยตรง

รูปที่ 3.19 ตัวอย่างสายเคเบิลเส้นใยแก้วแบบต่างๆ

บรรณานุกรม

[1] อธิคม ฤกษบุตร “เส้นใยแก้วและการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น”: กรุงเทพฯ: พิมพ์ครั้งที่ 3 e-book version: กันยายน 2561.

Module II:

4. Fiber Optic Safety Issues

4.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการเกิดอุบัติเหตุและความปลอดภัย

4.1.1 ทฤษฎีโดมิโนของการเกิดอุบัติเหตุ (Domino Theory)

ทฤษฎีโดมิโน (Domino Theory) ของการเกิดอุบัติเหตุ สามารถเชื่อมโยงได้กับปรัชญาความปลอดภัยของ H.W. Heinrich เกี่ยวกับสาเหตุของอุบัติเหตุได้ ทฤษฎีโดมิโนกล่าวว่า การบาดเจ็บและความเสียหายต่างๆ เป็นผลที่สืบเนื่องโดยตรงมาจากอุบัติเหตุและอุบัติเหตุเป็นผลมาจากการกระทำที่ไม่ปลอดภัยหรือสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย ซึ่งเปรียบได้เหมือนตัวโดมิโนที่เรียงกันอยู่ 5 ตัวใกล้กัน เมื่อตัวที่หนึ่งล้มย่อมมีผลทำให้ตัวโดมิโนถัดไปล้มตามกันไปด้วย ตัวโดมิโนทั้งห้าตัว ได้แก่

1) สภาพแวดล้อมหรือภูมิหลังของบุคคล (Social Environment or Background)

2) ความบกพร่องผิดปกติของบุคคล (Defects of Person)

3) การกระทำหรือสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Acts/Unsafe Conditions)

4) อุบัติเหตุ (Accident)

5) การบาดเจ็บหรือเสียหาย (Injury/Damages)

นั่นคือ สภาพแวดล้อมของสังคมหรือภูมิหลังของคนใดคนหนึ่ง เช่น สภาพครอบครัว ฐานะความเป็นอยู่ การศึกษาอบรม ก่อให้เกิดความบกพร่องผิดปกติของคนนั้น ทัศนคติต่อความปลอดภัยที่ไม่ถูกต้อง ชอบเสี่ยง มักง่าย ก่อให้เกิดการกระทำที่ไม่ปลอดภัยหรือสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย ซึ่งจะทำก่อให้เกิดอุบัติเหตุและทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือความสูญเสียตามมา ทฤษฎีโดมิโนนี้มีผู้เรียกชื่อใหม่เป็น “ลูกโซ่ของอุบัติเหตุ (Accident Chain)”

การป้องกันอุบัติเหตุตามทฤษฎีโดมิโน ตามทฤษฎีโดมิโน หรือลูกโซ่ของอุบัติเหตุ เมื่อโดมิโนตัวที่ 1 ล้ม ตัวถัดไปก็ล้มตาม ดังนั้นหากไม่ให้โดมิโนตัวที่ 4 ล้ม (ไม่ให้เกิดอุบัติเหตุ) ก็ต้องเอาโดมิโนตัวที่ 3 ออก (กำจัดการกระทำหรือสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย) การบาดเจ็บหรือความเสียหายก็จะไม่เกิดขึ้น การป้องกันอุบัติเหตุตามทฤษฎีโดมิโนหรือลูกโซ่อุบัติเหตุ ก็คือการตัดลูกโซ่อุบัติเหตุ โดยกำจัดการกระทำหรือสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัยออกไป อุบัติเหตุก็ไม่เกิดขึ้น ส่วนการที่จะแก้ไขป้องกันที่โดมิโนตัวที่ 1 (สภาพแวดล้อมของสังคมหรือภูมิหลังของบุคคล) หรือตัวที่ 2 (ความบกพร่องผิดปกติของบุคคล) เป็นเรื่องที่แก้ไขได้ยากกว่า เพราะเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นและปลูกฝังเป็นคุณสมบัติส่วนบุคคลแล้ว

4.1.2 ทฤษฎีความเอนเอียงในการเกิดอุบัติเหตุ (Accident-Proneness Theory)

ทฤษฎีความโน้มเอียงของการเกิดอุบัติเหตุเกิดขึ้นโดยนักวิจัยอังกฤษ 2 คนคือ Major Greenwood และ Hilda M. Woods ที่ได้ทำการศึกษาการเกิดอุบัติเหตุของคนงานในประเทศอังกฤษ โดยอธิบายถึงการเกิด

อุบัติเหตุซ้ำๆ คือการที่บางบุคคลเกิดอุบัติเหตุมากกว่าคนอื่นๆ แต่ความโน้มเอียงที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุอธิบายถึงว่า “ทำไมบุคคลนั้นจึงเกิดอุบัติเหตุมากกว่าคนอื่นๆ” ความโน้มเอียงที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุเป็นการคาดการณ์ล่วงหน้า ซึ่งแต่ละคนย่อมมีโอกาสเกิดอุบัติเหตุได้เท่าๆ กัน

ความโน้มเอียงที่จะทำให้บุคคลเกิดอุบัติเหตุ

1) ความโน้มเอียงที่จะเกิดอุบัติเหตุมีกำหนดเวลาในช่วงสั้นๆ โดยเกิดผลในระยะวิกฤต คือ ในสภาพบุคคลที่เครียด แต่เมื่อระยะวิกฤตเหล่านั้นหมดไป บุคคลก็จะปรับตัวในสภาพเดิมได้ แต่อยู่ภายใต้ความรู้สึกกดดันที่มี ความโน้มเอียงจะทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ เช่น บุคคลที่อยู่ระยะพักฟื้นจะมีความอ่อนเพลีย ซึ่งความอ่อนเพลียนี้จะเป็นเหตุสนับสนุนให้เกิดอุบัติเหตุได้

2) ความโน้มเอียงที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุของแต่ละบุคคล มีสาเหตุใหญ่มาจากแหล่งภายในที่ประกอบด้วย บุคลิก สภาพจิตใจ และสภาพร่างกาย

2.1) บุคลิกลักษณะพวกนี้จะมีบุคลิกลักษณะที่ต่อต้านสังคม มีพฤติกรรมที่เปิดเผย ชอบแหวกกฎ (ทำลายกฎเกณฑ์)

2.2) สภาพจิตใจ คือ พวกอารมณ์รุนแรงต่างๆ เช่น อาการซึมเศร้า ฉุนเฉียวง่าย มีความเครียดสูง และพวกที่มีกฎเกณฑ์จะมีแนวโน้มเอียงที่จะเกิดอุบัติเหตุสภาพร่างกาย เช่น สายตาผิดปกติ ความชรา เป็นต้น เหล่านี้ จะทำให้บุคคลเสียความสามารถในอันจะทำให้เกิดความปลอดภัย

Karl Marbe (1926) นักจิตวิทยาชาวเยอรมันได้เสนอความโน้มเอียงในการเกิดอุบัติเหตุ อันเป็นลักษณะบุคลิกภาพซึ่งมีแนวโน้มให้บุคคลได้รับอุบัติเหตุ ซึ่งแนวคิดนี้ได้ศึกษาลักษณะธรรมชาติของบุคคลที่มีส่วนเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุได้ ซึ่งแยกประเภทบุคคลหรืออาจเรียกว่า เป็นปัจจัยซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติภัยไว้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

- ผู้ที่มีลักษณะ X ได้แก่ ผู้มีความโน้มเอียงที่จะไม่เกิดอุบัติเหตุ
- ผู้ที่มีลักษณะ Y ได้แก่ ผู้มีความโน้มเอียงที่จะเกิดอุบัติเหตุ

บุคคลประเภทเอ็กซ์ (Type X) **มีความเอนเอียงที่จะไม่เกิดอุบัติเหตุ** **(Non-Accident-Prone)**	**บุคคลประเภทวาย (Type Y)** **มีความเอนเอียงที่จะเกิดอุบัติเหตุ** **(Accident-Prone)**
1. ผู้ที่มีระเบียบแบบแผน	1. ผู้ที่ไม่มีระเบียบแบบแผน
2. ผู้ที่มีเป้าหมายในการดำรงชีวิต	2. ผู้ที่ไม่มีเป้าหมายในการดำรงชีวิต
3. ผู้ที่พอใจในชีวิตประจำวัน	3. ผู้ที่ไม่พอใจในชีวิตประจำวัน
4. ผู้ที่เคารพสิทธิและความคิดเห็นของผู้อื่น	4. ผู้ที่ไม่สนใจในสิทธิและความคิดเห็นของผู้อื่น
5. ผู้ที่ไม่เผด็จการ	5. ผู้ที่ไม่มีมนุษยสัมพันธ์

6. ผู้ที่ไม่ชอบโต้เถียงหรือทะเลาะวิวาท 7. ผู้ที่นึกถึงผู้อื่น	6. ผู้ที่ระงับอารมณ์ ความรู้สึกเกลียดชังยาก 7. ผู้ที่นึกถึงแต่ตัวเอง

ส่วน Shaw and Sichel ได้รวบรวมลักษณะบุคลิกภาพของคนเราที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุไว้ โดยพิจารณาลักษณะบุคคลที่เสี่ยงต่ออุบัติเหตุและไม่เสี่ยงต่ออุบัติเหตุดังนี้

ลักษณะของผู้เสี่ยงอุบัติเหตุมาก

1. ผู้ที่บกพร่องทางจิตใจ เป็นโรคจิต โรคประสาท
2. ผู้ที่ไม่ฉลาด ขาดสมาธิ ไม่รู้จักสังเกต
3. ผู้ที่ขาดระเบียบวินัย
4. ผู้ที่ปรับตัวไม่ดี หรือปรับตัวไม่ได้
5. ผู้ที่มีอารมณ์ไม่มั่นคง ขาดการควบคุมอารมณ์ อารมณ์ฉุนเฉียว
6. ผู้ที่ชอบริษยา ไม่มีความพึงพอใจ
7. ผู้ที่ขาดความอดทน ถูกครอบงำและข่มขู่ง่าย
8. ผู้ที่เห็นแก่ตัว คำนึงถึงผลประโยชน์ส่วนตน
9. ผู้ที่มีความเชื่อโบราณ ไม่มีเหตุผล
10. ผู้ที่มีพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมกับวัย ขาดวุฒิภาวะ
11. ผู้ที่ไม่รู้จักช่วยตนเอง ไม่กล้าตัดสินใจ
12. ผู้ที่มีความเชื่อมั่นตัวเองสูงเกินไป
13. ผู้ที่ชอบการแข่งขันมาก
14. ผู้ที่มีทัศนคติต่อต้านสังคม หรือมีแนวโน้มที่จะก่ออาชญากรรม

ลักษณะของผู้ที่เสี่ยงอุบัติเหตุน้อย

1. ผู้ที่ควบคุมตัวเองได้ดี มีวุฒิภาวะ และมีสุขภาพดี
2. ผู้ที่ปรับตัวเข้ากับสังคมได้และมีความรับผิดชอบ
3. ผู้ที่ควบคุมอารมณ์ได้ ไม่ก้าวร้าวมากเกินไป
4. ผู้ที่สามารถประเมินสถานการณ์และตัดสินใจได้
5. ผู้ที่เรียนรู้ได้เร็ว โดยเฉพาะจากประสบการณ์และการทำผิดพลาด
6. ผู้ที่เป็นมิตร ร่าเริง และรู้จักการยอมรับ

การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของบุคคลในแต่ละช่วงชีวิต ย่อมมีผลต่อการเกิดอุบัติเหตุได้เสมอ ดังนั้นผู้ที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดอุบัติเหตุ ก็มิใช่ว่าจะเป็นบุคคลที่ได้รับอุบัติเหตุเสมอ หรืออุบัติเหตุซ้ำซาก (Accident-

repetitiveness) และผู้ที่มีความเอนเอียงที่จะไม่เกิดอุบัติเหตุก็มิใช่จะรับประกันได้ว่า เป็นบุคคลที่มีภูมิต้านทานการเกิดอุบัติเหตุได้ตลอดไป ทุกคนมีสิทธิและโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุได้เสมอ

ในเรื่องพฤติกรรมที่เกี่ยวกับการเกิดอุบัติเหตุนั้น ได้ศึกษาถึงความเปลี่ยนแปลงในชีวิต ของคนงานซึ่งมีผลต่อสุขภาพร่างกาย สุขภาพจิตและการเกิดอุบัติเหตุของคนงาน โดย Alkor ได้ตั้งหน่วยวัดขึ้นเรียกว่า “หน่วยการเปลี่ยนแปลงในชีวิต (Life Change Units)” และให้มูลค่าสำหรับความเปลี่ยนแปลงต่างๆ เรียงตามลำดับความสำคัญไว้ แล้วสรุปเป็นตัวเลขว่าในช่วงเวลาสั้นหากบุคคลใดได้รับหรือพบกับความเปลี่ยนแปลงต่างๆ จนมีค่าเกินระดับหนึ่งแล้ว จะได้รับผลต่อร่างกายอย่างแน่นอน

ตารางแสดงหน่วยการเปลี่ยนแปลงในชีวิต

อันดับที่	เหตุการณ์	มูลค่า
1	การตายของคู่สมรส	100
2	การหย่าร้าง	73
3	การแยกกันอยู่	65
4	การติดคุก	63
5	การตายของคนในครอบครัว	63
6	ความบาดเจ็บ เจ็บป่วยส่วนตัว	53
7	การแต่งงาน	50
8	การถูกไล่ออกจากงาน	47
9	การกลับคืนดีกับคู่ครอง	45
10	การหยุดทำงาน (เกษียณ)	45
11	ความเปลี่ยนแปลงสุขภาพของคนในครอบครัว	44
12	การตั้งครรภ์	40
13	ปัญหาทางด้านเพศ	39
14	มีสมาชิกครอบครัวเพิ่มขึ้น	39
15	ปรับปรุงทางการทำงานธุรกิจ	39
16	เปลี่ยนสถานภาพทางการเงิน	38
17	การตายของเพื่อนสนิท	37
18	เปลี่ยนสายงาน	36
19	เพิ่ม/ลด ความบ่อยในการทะเลาะกับแฟน	35
20	ไปจำนองมีมูลค่าเกิน 2 แสนบาท	31

21	ถูกยึดการจำนอง	30
22	เปลี่ยนแปลงความรับผิดชอบที่ทำงาน	29
23	บุตร/ธิดา ต้องเดินทางจากบ้าน	29
24	มีปัญหากับญาติของแฟน	29
25	ประสบความสำเร็จส่วนตัวเป็นพิเศษ	28
26	ภริยาเริ่มต้น/เลิกประกอบอาชีพ	26
27	เริ่มเข้าเรียน/สำเร็จการศึกษา	26
28	เปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นอยู่	25
29	การเปลี่ยนแปลงนิสัยส่วนตัว	24
30	มีปัญหากับเจ้านายที่ทำงาน	23
31	เปลี่ยนแปลงเวลาทำงาน/สภาพงาน	20
32	ย้ายที่อยู่	20
33	ย้ายสถานที่เรียน	20
34	เปลี่ยนแปลงกิจกรรมทางสังคม	18
35	จำนองทรัพย์สินมูลค่าต่ำกว่า 2 แสนบาท	17
36	เปลี่ยนแปลงนิสัยการนอน	16
37	เปลี่ยนแปลงจำนวนครอบครัวอยู่ร่วม	15
38	เปลี่ยนแปลงนิสัยการกิน	15

จากผลการวิจัยของ Alkor สรุปได้ว่า “สภาพความเปลี่ยนแปลง และความเป็นอยู่ทางบ้านของคนงานมีผลต่ออารมณ์ และสภาพจิตใจของคนงาน และสภาพอารมณ์และจิตใจที่เสื่อมทรามของคนงาน ย่อมจะเป็นสาเหตุในการก่ออุบัติเหตุขึ้นได้”

ตารางแสดงผลกระทบจากความเปลี่ยนแปลง

มูลค่าความเปลี่ยนแปลง	**ผลกระทบที่ได้รับ**
150 - 199	สุขภาพเสื่อมภายใน 2 ปี (โดยทั่วไป 1 ปี)
200 – 299	สุขภาพเสื่อมภายในช่วงต่ำกว่า 2 ปี
เกิน 300	เจ็บป่วยสุขภาพเสื่อมโทรม

นอกจากนั้นอายุของคนงานก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับอัตราการเกิดอุบัติเหตุด้วย ดังที่ Joseph Tiffin ได้ศึกษาอัตราการเข้าโรงพยาบาลของคนงานเทียบกับอายุของคนงาน และอายุการปฏิบัติงานจาก

คนงาน 9,000 คน ในโรงงานถลุงเหล็กกล้า ซึ่งพบว่าคนงานที่มีอายุ 18-23 ปี มีแนวโน้มที่จะได้รับอันตรายเพิ่มมากขึ้นตามอายุ และมีอัตราการเข้าโรงพยาบาลสูงสุด ประมาณ 1.25 ครั้งต่อปีในช่วงอายุ 23-25 ปี ส่วนคนงานที่มีอายุมากกว่า 25 ปี มักมีแนวโน้มที่จะได้รับอันตรายจนต้องเข้าโรงพยาบาล ลดน้อยลงตามอายุที่เพิ่มมากขึ้น

จิตสำนึกต่อความปลอดภัย (Safety Conscious) ของคนงาน จึงอาจกล่าวได้ว่า มีสาเหตุมาจากหลายประการ เช่น วุฒิภาวะ สถานภาพทางครอบครัว การศึกษาอบรม ประสบการณ์ ฯลฯ

4.1.3 ทฤษฎีการเกิดอุบัติเหตุสวิสชีสโมเดล (Swiss Cheese Model)

รูปแบบของแผ่นชีสสวิส (Swiss Cheese Model) นั้น ใช้สำหรับเพื่อการวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Analysis) และการบริหารความเสี่ยง (Risk Management) โดยมักจะใช้ในกิจการที่มีความเสี่ยงสูง เช่น การบิน (Aviation), วิศวกรรม (Engineering) และทางการแพทย์ (Healthcare) โดยแนวคิดนี้จะมองว่า มนุษย์เราแต่ละคนนั้น เปรียบเสมือนแผ่นชีสแต่ละแผ่น ที่มีรูพรุนบนแผ่นซึ่งรูพรุนเหล่านี้ก็คือจุดอ่อน หรือความผิดพลาดส่วนบุคคลนั่นเอง ซึ่งแต่ละการกระทำของมนุษย์แต่ละคนจะเหมือนกับการเลื่อนซ้ายขวาบนล่างของแผ่นชีส แล้วถ้ามีความผิดพลาดเกิดขึ้น (Hazards) รวมกัน แล้วลูกศรสีแดง คืออันตรายที่เกิดขึ้น มันสามารถทะลุจากแผ่นหนึ่งไปยังอีกแผ่นหนึ่งได้ มันก็จะสามารถก่อให้เกิดความเสียหาย (Losses) ในท้ายที่สุดได้

ดังนั้น อุบัติเหตุจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีอันตรายเกิดขึ้นพร้อมๆ กับที่มีความผิดพลาดต่างๆ เกิดขึ้นพร้อมกัน ตัวอย่างเช่น ในระบบการบิน การที่เครื่องบินจะสามารถบินได้อย่างปลอดภัย เดินทางถึงจุดหมายอย่างสวัสดิภาพนั้น ประกอบไปด้วยปัจจัยหลายอย่าง เริ่มตั้งแต่การออกแบบเครื่องบิน วัสดุอุปกรณ์การประกอบ วิศวกรการบิน ช่างดูแล นักบิน แอร์โฮสเตส พนักงานภาคพื้น เจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศ (ATC) ผู้โดยสาร รวมถึงไปสภาพอากาศแล้วก็มีอีกมากมายหลากหลายปัจจัยที่อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม Swiss Cheese Model นั้นเป็นเพียงทฤษฎีที่มาอธิบายความผิดพลาด หรือความเสี่ยงต่างๆ ที่เกิดขึ้น หรืออาจจะเกิดขึ้นเท่านั้น และหลังจากนี้หน้าที่การออกกฎระเบียบด้านความปลอดภัยในแต่ละขั้นตอนกระบวนการนั้นจะสำคัญอย่างยิ่งยวด เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดเหตุผิดพลาดหรือโศกนาฏกรรมขึ้นมาได้นั่นเอง

4.1.4 ทฤษฎีการขาดดุลยภาพ (Imbalance Cause Theory)

เป็นทฤษฎีที่กล่าวถึง การบาดเจ็บหรืออุบัติเหตุที่เกิดจากการขาดดุลยภาพชั่วขณะหนึ่ง ระหว่างพฤติกรรมของคน กับระบบการทำงานที่บุคคลนั้นกระทำอยู่

- อุบัติเหตุเกิดจากการปฏิบัติที่ไม่ปลอดภัยประมาณร้อยละ 88
- เกิดจากสภาวะไม่ปลอดภัยประมาณ ร้อยละ 10
- ส่วนอีกร้อยละ 2 เกิดจากสาเหตุที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

สำหรับสาเหตุที่ช่วยสนับสนุนให้เกิดอุบัติเหตุนั้นมี 3 ประการคือ

1) ความบกพร่องในการดูแลปฏิบัติงาน

2) สภาวะจิตใจของผู้ปฏิบัติงาน

3) สภาวะทางร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน

การป้องกันไม่ให้เกิดการขาดดุลยภาพได้โดยการแก้ไขเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของคน หรือการแก้ไขเปลี่ยนแปลงระบบการทำงาน หรือการแก้ไขเปลี่ยนแปลงทั้งพฤติกรรมของคนและระบบการทำงานควบคู่กันไป

4.1.5 ทฤษฎีพลังงาน (Energy Cause Theory)

Haddon ได้ตั้งสมมติฐานอธิบายการเกิดการบาดเจ็บและอุบัติเหตุซึ่งเป็นที่ยอมรับกันมานานโดยไว้ 2 ประการ คือ (สุดาว เลิศวิสุทธิไพบูลย์, 2550 หน้า 452)

1) การบาดเจ็บเกิดจากการที่พลังงานกระทบกับร่างกายคนในปริมาณที่สูงเกินกว่าร่างกายหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายจะทนต่อแรงกระทบนั้นได้ เช่น แขนขาหักเพราะถูกกระทบจากรถชน ศีรษะแตกเนื่องจากวัตถุหล่นใส่ เกิดแผลไหม้จากกรดหรือด่างเป็นต้น

2) การบาดเจ็บเกิดจากการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างร่างกายหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายกับแรง ซึ่งมากระทบในลักษณะที่ผิดปกติ (Abnormal Energy Exchange) ทำให้เกิดการบาดเจ็บขึ้น เช่น การได้รับพิษจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การจมน้ำทำให้ขาดอากาศหายใจ เป็นต้น

ตัวอย่าง

รถยนต์วิ่งมาชนคน ถ้าชนเบาๆ ร่างกายหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายทนต่อแรงกระทบได้ ก็จะไม่เกิดการบาดเจ็บแต่อย่างใด แต่ถ้าแรงกระทบนั้นสูงเกินกว่าที่ร่างกายหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายจะทนทานได้ ก็จะเกิดการบาดเจ็บขึ้น

การบาดเจ็บที่เกิดจากพลังงานกระทบกับร่างกายในปริมาณที่สูงเกินไป

ชนิดของพลังงาน	ลักษณะที่บาดเจ็บ	ตัวอย่างอุบัติเหตุ
แรงกระทบ (Mechanical)	ร่างกายหรืออวัยวะมีการเคลื่อนที่ เปลี่ยนรูป ฉีกขาด แตกหัก	การบาดเจ็บที่เกิดจากแรงกระทบ จากวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่เช่น • รถชน • ถูกของมีคม • ตกจากที่สูง
ความร้อน (Thermal)	เกิดการอักเสบ ไหม้ และเผาเป็นเถ้า	• ไฟไหม้หรือน้ำร้อนลวก

กระแสไฟฟ้า (Electrical)	กล้ามเนื้อ การแข็งตัว ไหม้และเผาเป็นเถ้า	• ไฟฟ้าดูด • ไหม้ • เกิดการรบกวนของระบบประสาท เช่น ในการช๊อตด้วยกระแสไฟฟ้า
แสงรังสี (Radiation)	เซลล์ถูกทำลาย	• ถูกรังสี หรือกัมมันตภาพรังสี
สารเคมี (Chemical)	เกิดการอักเสบ ปฏิกิริยาต่อเนื้อเยื่อ แล้วแต่ชนิดของสารเคมี การตายของเซลล์	• ถูกสารเคมี • กรด ด่าง • Toxin จากพืชและสัตว์

4.1.6 ทฤษฎีความล้า

ทฤษฎีความล้าเป็นทฤษฎีที่ว่าด้วยเรื่องคุณลักษณะมนุษย์ ขีดจำกัด และความสามารถ ในการทำงานทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจ Grandjean (1981) ได้เสนอทฤษฎีความล้าในการทำงาน โดยระบุปัจจัยต่างๆ ที่มา กระทบต่อคน ซึ่ง ได้แก่

- ระยะเวลาการทำงาน
- ลักษณะของงาน
- สภาพแวดล้อมในการทำงาน
- สภาพความพร้อมของร่างกาย

รวมทั้งสภาพแวดล้อมในการดำรงชีวิตต่างๆ ทำให้เกิดความล้า ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับระดับความล้าได้กับระดับน้ำในถัง

เหตุปัจจัยสนับสนุนให้เกิดความล้า

เมื่อมีความล้าสะสมขึ้นในร่างกาย ก็จำเป็นจะต้องมีการระบายให้ระดับความล้าหรือระดับน้ำในถังลดลง เพื่อให้ร่างกายได้มีการฟื้นตัว มิฉะนั้นถ้าปล่อยให้ระดับความล้ามีแต่สูงขึ้นเรื่อยๆ จนเกินขีดจำกัดที่ร่างกายจะรับได้ ก็ย่อมเป็นอันตรายต่อร่างกายและเอื้ออำนวยให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ง่ายและทำให้อุบัติเหตุเกิดขึ้นด้วย

4.1.7 ทฤษฎีปัจจัยมนุษย์ (The Human Factor Theory)

ทฤษฎีปัจจัยมนุษย์อธิบายสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุที่จะเกิดอุบัติเหตุ ลักษณะห่วงโซ่ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ที่เกิดจากความประมาท และความไม่ระมัดระวังหรือขาดความเอาใจใส่ของมนุษย์

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุของมนุษย์

1) การทำงานเกินความสามารถ (Overload)

2) ขาดความรับผิดชอบ (Inappropriate response)

3) ทำงานไม่เหมาะสม (Inappropriate activities)

การทำงานเกินความสามารถ (Overload)

เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานขาดความสมดุลระหว่างความสามารถของตนเองกับภาระงาน ความรับผิดชอบ หรือหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายให้ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัยย่อย ได้แก่

- ปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ เสียงรบกวน แสง ความร้อน

- ปัจจัยภายใน เป็นปัจจัยภายในของผู้ปฏิบัติงานสามารถเกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ ได้แก่ ความเหนื่อยล้า อ่อนเพลีย และทางจิตใจ ที่ทำให้เกิดความเครียดและความวิตกกังวล ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นส่วนบุคคล

- ปัจจัยสถานการณ์อื่นๆ

ขาดความรับผิดชอบ (Inappropriate response)

บ่อยครั้งที่อุบัติเหตุเกิดจากการที่ผู้ปฏิบัติงานและสถานประกอบการละเลย และขาดความเอาใจใส่หรือเพิกเฉยต่อ “ปัจจัย สภาพแวดล้อม หรือสถานการณ์ที่มีผลทำให้เกิดความไม่ปลอดภัย และส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบงานที่เป็นจุดอ่อน” อันเป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นซ้ำๆ กัน และทำให้เกิดอุบัติเหตุในทำนองเดียวกัน เช่น เมื่อผู้บริหาร หัวหน้างาน หรือผู้ที่เกี่ยวข้องพบเห็นว่าอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือเครื่องจักรที่อยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์ หรือมีร่องรอยของการชำรุดแต่เพิกเฉยและไม่เร่งรีบที่จะซ่อมแซม ปรับปรุง หรือแก้ไข ปล่อยให้ผู้ปฏิบัติงานไม่สวมอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ป้องกันอันตรายในการทำงาน โดยไม่ตักเตือนหรือห้ามปราม

ทำงานไม่เหมาะสม (Inappropriate activities)

อุบัติเหตุส่วนใหญ่มีสาเหตุเนื่องมาจาก การปฏิบัติที่ไม่ปลอดภัยของบุคคล และการปฏิบัติที่ไม่ปลอดภัย เกิดจากองค์ประกอบภายในของแต่ละบุคคล

- พฤติกรรมการทำงานที่ไม่เหมาะสม

- มีเจตคติหรือลักษณะนิสัยในการทำงานที่ไม่ถูกต้อง

- ผู้ปฏิบัติมีทักษะไม่เพียงพอ ขาดความชำนาญหรือความสามารถในการปฏิบัติงาน

- พฤติกรรมการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น มีพื้นฐานความรู้หรือความเข้าใจที่ไม่เพียงพอ หรือไม่ถูกต้องเกี่ยวกับงานที่ปฏิบัติ ไม่ทันต่อความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยี และไม่มีความรู้เกี่ยวกับเรื่องความปลอดภัย

- มีเจตคติหรือลักษณะนิสัยในการทำงานที่ไม่ถูกต้อง เช่น ประมาท ขาดความรอบคอบ เกียจคร้าน ดื้อรั้น ไม่ปฏิบัติตามกฎระเบียบ

- ผู้ปฏิบัติมีทักษะไม่เพียงพอ ขาดความชำนาญหรือความสามารถในการปฏิบัติงาน เช่น ปฏิบัติงานขณะที่ร่างกายอ่อนเพลีย มึนเมา หรืออารมณ์ผิดปกติ โดยเฉพาะการดื่มสุรา เครื่องดองของเมา เป็นต้น

4.1.8 จัตุรัสความปลอดภัย (Safety Square)

จัตุรัสความปลอดภัย (Safety Square) คือแผนภูมิสรุปปัจจัยสำคัญ 4 ประการ ที่ร่วมประสานขึ้นเป็นระบบงานที่มีความปลอดภัยต่อคนงาน ประกอบด้วยสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยในการทำงาน องค์การเพื่อความปลอดภัย วิธีการทำงานที่ปลอดภัย และการซ่อมบำรุงเพื่อความปลอดภัย โดยผู้รับผิดชอบในการประสานงานคือ ผู้บริหารโรงงาน ซึ่งอาจจะเป็นผู้จัดการโรงงาน หรือบุคคลอื่นที่ได้รับแต่งตั้งให้มีอำนาจหน้าที่สั่งการในด้านความปลอดภัยจากผู้จัดการโรงงาน จัตุรัสความปลอดภัยจึงเป็นเสมือนแนวทางแบบเบ็ดเสร็จในการปฏิบัติงานเพื่อบรรลุเป้าหมายทางความปลอดภัยของโรงงาน

จากที่กล่าวมาเห็นได้ชัดว่าอุบัติเหตุส่วนใหญ่สามารถป้องกันได้ และลำพังคนงานเองมีโอกาสป้องกันอุบัติเหตุได้ไม่มาก ฝ่ายบริหารเป็นผู้ที่สามารถจัดการป้องกันอุบัติเหตุได้ผลดีกว่าแม้ว่าการดำเนินโครงการป้องกันอุบัติเหตุจะต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายและเงินทุนมากขึ้น แต่หากกระทำอย่างเหมาะสมก็สามารถลดรายจ่ายจำนวนมากลงไปได้เช่นกัน ทั้งนี้เราพบว่าจัตุรัสความปลอดภัยน่าจะใช้เป็นเป้าหมายในการปฏิบัติของทุกฝ่ายเพื่อบรรลุเป้าหมายร่วมกันคือ ความปลอดภัยในโรงงานไม่ได้จำเพาะแต่ฝ่ายบริหารจะกระทำการแต่ฝ่ายเดียว ฝ่ายแรงงานย่อมต้องมีส่วนรับผิดชอบโดยตรงอยู่ด้วยเสมอ

การเกิดอุบัติเหตุในโรงงานนี้ทุกครั้งที่เกิดจากการกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Acts) หรือสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Conditions) ก็ตาม ย่อมแสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตมีปัญหา นักบริหารความปลอดภัยจึงต้องเกี่ยวข้องกับกิจกรรมการเสริมสร้างความปลอดภัยในโรงงาน โดยสอดแทรกความปลอดภัยเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของวิธีการต่างๆ ในการทำงาน (โดยเฉพาะในกระบวนการผลิต) เพื่อให้องค์การสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการผลิตที่มีประสิทธิภาพได้ด้วย “การผลิตที่มีความปลอดภัย (Safe Production)”

4.1.9 ทฤษฎีด้านภาวะความเครียดจากการทำงาน

ความเครียด เป็นความกระวนกระวายใจ เนื่องจากสถานการณ์อันไม่พึงพอใจเกิดขึ้น เพราะความปรารถนาไม่ได้รับการตอบสนอง หรือเป็นอื่นผิดไปจากเป้าหมายที่ต้องการ

ชนิดของความเครียด

1) Non Job Stress ความเครียดในชีวิตประจำวันของเรา เช่น สามีภรรยาทะเลาะกัน ภาวการณ์เจ็บป่วยของคน ในครอบครัว

2) Job Stress ความเครียดที่บุคคลได้รับจากการทำงาน เช่น ปัญหาต่างๆที่พบในที่ทำงาน ความกลัวที่ไม่ได้เลื่อนตำแหน่ง

สาเหตุของอุบัติเหตุ

ความเครียดของผู้ปฏิบัติงาน

1) ปริมาณความเครียดที่พอดีกับความต้องการ (eustress)

ความเครียดที่ส่งผลด้านบวกบางประการ

- ทำให้การปฏิบัติงานดีขึ้น
- มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์
- เพิ่มความตั้งใจและความตรงต่อเวลา
- มีการจูงใจในการทำงานที่ดี
- มีความพอใจในอาชีพของตนมากขึ้น

2) ปริมาณความเครียดที่ส่งผลต่อสุขภาพของบุคคล

ความเครียดที่ส่งผลด้านลบบางประการ

- มีโอกาสใช้สารเสพติดมากขึ้น
- สภาพอารมณ์แปรเปลี่ยนได้ง่าย
- มีพฤติกรรมปัดสวะหรือป้องกันตนเองสูง
- ขาดสมาธิในการทำงาน
- ขาดภาวะการควบคุมอารมณ์ที่ดี

เช่น พนักงานสามารถยกของได้น้ำหนัก 30 กก. เป็นระยะทาง 10 เมตร แต่ถ้างานในหน้าที่กำหนดให้เขาต้องยกหนักถึง 40 กก. เป็นระยะทาง 15 เมตร เขาอาจทำได้แต่ต้องใช้เวลาพักงาน ถ้าทำบ่อยๆ เขาจะปวดหลัง หรืออาจทำไม่ได้เพราะอาจมีอุบัติเหตุหกล้มบาดเจ็บซึ่งผลตามมาคือ ผลผลิตลดลง เพราะความล่าช้า

- การหยุดพัก ความล้า และความเบื่อหน่าย
- การหยุดพักระหว่างการทำงานเป็นสิ่งจำเป็น สำหรับงานที่มีความซ้ำซากสูง

วิธีการป้องกันควบคุมอุบัติเหตุและอันตราย

การป้องกันการประสบอันตรายเนื่องจากการทำงาน 4 ขั้นตอน

1) การชี้ชัดถึงอันตราย

- บริเวณที่ทำงาน (Work Areas)
- วิธีการทำงาน (Work Method)
- ตัวบุคคล (Worker)

2) ควบคุมอันตรายและการกระทำ

- ขจัด (Eliminate)
- คุม (Guard)
- ตักเตือน (Warn)
- รายงาน (Report)

3) การป้องกันมิให้เกิดการประสบอันตรายซ้ำขึ้นอีก การวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุดำเนินการให้มีวิธีการทำงานที่ปลอดภัย จัดการฝึกอบรมลูกจ้างให้มีการทำงานที่ถูกวิธี

4) การติดตามผล

4.1.10 ทฤษฎีมูลเหตุเชิงซ้อน (Multiple Causation Theory)

ถึงแม้ทฤษฎีโดมิโนของ Heinrich จะใช้ป้องกันแก้ไขการเกิดอุบัติเหตุได้ แต่ความถี่และความรุนแรงยังไม่เป็นศูนย์ การมองอุบัติเหตุยังไม่ครอบคลุมลึกลงไปถึงสาเหตุที่แท้จริงต่างๆ จึงทำได้เพียงการแก้ไขสภาพการกระทำของคน ดังนั้นจึงมีการเสนอทฤษฎีมูลเหตุเชิงซ้อนของ แดน ปีเตอร์สัน (Dan Peterson) 1971 จากหนังสือเรียนเทคนิคของการจัดการความปลอดภัย (Technique of safety Management) ซึ่งกล่าวไว้ว่าอุบัติเหตุย่อมเกิดขึ้นได้จากเหตุต่างๆ หลายอย่างซึ่งอยู่เบื้องหลัง และสาเหตุต่างๆ เหล่านั้นรวมกันมากเข้าย่อมทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ นอกจากนั้นยังได้เสนอว่าไม่ควรแก้ไขสภาพและการกระทำที่ไม่ปลอดภัยเท่านั้น จะต้องคิดแก้ไขเบื้องหลังของสิ่งเหล่านั้น นอกจากนั้นยังแสดงให้เห็นว่าสภาพและการกระทำเป็นเพียงอาการที่ปรากฏให้เห็นได้จากความบกพร่องของระบบการทำงาน แต่ความบกพร่องหรือสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุคือ การบริหารและการจัดการ ตัวอย่างเช่น อุบัติเหตุเกิดจากการตกบันไดของอาคารเรียนที่โรงเรียน หากเป็นการสอบสวนอุบัติเหตุตามแนวของทฤษฎีโดมิโนก็คือ การกระทำที่ไม่ปลอดภัยคือ การใช้บันไดที่มีขั้นบันไดชำรุด สภาพไม่ปลอดภัยคือ บันไดที่มีขั้นชำรุด ข้อเสนอแนะในการแก้ไขคือ กำจัดบันไดขั้นที่ชำรุด ไม่นำมาใช้อีกแต่ถ้าเป็นทฤษฎีมูลเหตุเชิงซ้อน อาจมีการวิเคราะห์สาเหตุของอุบัติเหตุโดยใช้คำถามว่า

1) ทำไมไม่มีการตรวจบันไดที่ชำรุดในขณะที่มีการตรวจปกติ

2) ทำไมยังปล่อยให้มีการใช้บันไดนี้

3) คนที่ตกบันไดหรือผู้ที่ได้รับอุบัติเหตุนั้นรู้หรือไม่ว่าเขาไม่ควรใช้บันไดนี้

4) มีการจัดการอบรมเรื่องความปลอดภัยหรือไม่

5) ผู้เกี่ยวข้องยังคงไม่ใช้บันไดนั้นอีกหรือไม่

6) ผู้ควบคุมดูแลการทำงานได้มีการตรวจสภาพแวดล้อมก่อนลงมือทำงานหรือไม่ เมื่อได้มีการพิจารณาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น ทำให้ทราบถึงความบกพร่องต่างๆ ที่ทำให้เป็นสาเหตุของอุบัติเหตุนั้น แล้วควรสรุปว่าควรแก้ไขดังนี้

1) ควรปรับปรุงการตรวจความปลอดภัย

2) ควรปรับปรุงการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงาน

3) ควรกำหนดงานความรับผิดชอบให้ชัดเจน

4) ควรมีการวางแผนการนิเทศการควบคุมการทำงาน

โดยสรุปทฤษฎีมีมูลเหตุเชิงซ้อนนี้ เน้นการป้องกันอุบัติเหตุโดยการบริหารจัดการโดยจัดให้มีองค์กรความปลอดภัย

สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน

อุบัติเหตุจากการทำงานนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 สาเหตุใหญ่ๆ คือ

1) สาเหตุจากการปฏิบัติงานที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe act) เป็นการกระทำที่ไม่ปลอดภัยของคนงานในขณะปฏิบัติงานเป็นผลทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ถึงร้อยละ 88 ของอุบัติเหตุ เช่น

1.1) การใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่เป็นเครื่องจักรกลต่างๆ โดยพลการหรือไม่ได้รับมอบหมาย

1.2) การทำงานที่มีอัตราเร่งความเร็วของงานและเครื่องจักรเกินกำหนด

1.3) การถอดอุปกรณ์ป้องกันออกจากเครื่องจักรโดยไม่มีเหตุอันสมควร

1.4) การดูแลซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องจักรในขณะที่กำลังทำงาน

1.5) การใช้เครื่องมืออุปกรณ์เครื่องจักรที่ชำรุดและไม่ถูกวิธี

1.6) ไม่ใส่ใจในคำแนะนำหรือคำเตือนความปลอดภัย

1.7) ทำการเคลื่อนย้ายหรือยกวัสดุที่มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก ด้วยท่าทางหรือวิธีการที่ไม่ปลอดภัย

1.8) ไม่ส่วมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

1.9) การคึกคะนองหรือเล่นตลกขณะทำงาน

2) สภาพการทำงานที่ไม่ปลอดภัย คือสภาพแวดล้อมที่ไม่ปลอดภัยโดยรอบตัวของผู้ปฏิบัติงานขณะทำงานซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุได้ เช่น

2.1) เครื่องจักรที่ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันอันตราย

2.2) อุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักรที่ออกแบบไม่เหมาะสมกับการใช้งาน

2.3) บริเวณพื้นที่ของการปฏิบัติงานไม่เหมาะสม

2.4) การจัดเก็บวัสดุสิ่งของอย่างไม่ถูกวิธี

2.5) การจัดเก็บสารเคมีหรือสารไวไฟที่เป็นอันตรายไม่ถูกวิธี

2.6) ไม่มีการจัดระเบียบและดูแลความสะดวกของสถานที่ทำงานให้ถูกต้องตามสุขลักษณะ

2.7) แสงสว่างไม่เพียงพอ

2.8) ไม่มีระบบระบายและถ่ายเทอากาศที่เหมาะสม

2.9) ไม่มีระบบเตือนภัยที่เหมาะสม

แนวทางการป้องกันการประสบอันตราย

สถานประกอบการที่มีผู้ปฏิบัติงานทุกแห่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ความคุ้มครองดูแลส่งเสริมให้บุคลากรทุกคนมีจิตสำนึกในความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยเพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีความสุข อยู่ในสังคมและสิ่งแวดล้อมร่วมกันได้อย่างสันติ โดยปราศจากอันตรายใดๆ โดยการกำหนดมาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายที่เหมาะสมชัดเจนดังต่อไปนี้คือ

1) การกำหนดมาตรการความปลอดภัย โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการทำงานควรศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและผลกระทบต่างๆ ด้านความปลอดภัย เพื่อเป็นแนวทางกำหนดมาตรฐานด้านความปลอดภัย เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้เกี่ยวข้องในการกำหนดระเบียบปฏิบัติด้านความปลอดภัยของหน่วยงานอย่างชัดเจน

เหมาะสม เช่น มาตรฐานในการผลิตอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ สำหรับงานอุตสาหกรรม การกำหนดหลักการปฏิบัติ

2) การตรวจความปลอดภัย โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรจัดให้มีเจ้าหน้าที่เพื่อทำการตรวจด้านความปลอดภัยในการทำงานตามที่ระบุไว้ตามกฎหมายอย่างเหมาะสมถูกต้อง เพื่อเป็นกฎข้อบังคับให้กับนายจ้าง สถานประกอบการ ให้ยึดปฏิบัติตามกฎหมายความปลอดภัยและรับผิดชอบต่อสุขภาพและความปลอดภัยของคนงาน และให้คำแนะนำกระตุ้นการปฏิบัติตามมาตรการความปลอดภัยอย่างสม่ำเสมอ

3) กฎหมายความปลอดภัย หน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรมแรงงาน ควรได้มีการพิจารณาปรับปรุงกฎหมายด้านความปลอดภัยในการทำงานให้มีขอบเขตสอดคล้องเหมาะสมและคุ้มครองแรงงานได้อย่างเหมาะสมและมีการบังคับใช้อย่างจริงจัง ทั้งทางด้านสภาพการทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานของสถานประกอบการ ด้านค่าตอบแทน การรักษาพยาบาล การตรวจสุขภาพ สวัสดิการต่างๆ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานมากยิ่งขึ้น

4) การศึกษาวิจัยความปลอดภัย เพื่อการปรับปรุง พัฒนางานวิชาการด้านความปลอดภัยให้สอดคล้องกับการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัยสูงสุด

5) ด้านการศึกษา สถาบันการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการทำงานควรมีการบรรจุวิชาการด้านความปลอดภัยเพิ่มในหลักสูตรการศึกษา เพื่อเป็นการวางพื้นฐานและสร้างทัศนคติที่ดีด้านความปลอดภัยให้เกิดขึ้นกับผู้ใช้แรงงานทุกคนทุกระดับ

6) การฝึกอบรมด้านความปลอดภัย เพื่อสร้างเสริมความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องด้านความปลอดภัยในการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการปฏิบัติงาน พร้อมทั้งสร้างจิตสำนึกด้านความปลอดภัยให้เกิดมีขึ้นกับผู้ใช้แรงงานทุกคนทุกระดับ

7) การสร้างเสริมทัศนคติด้านความปลอดภัย ทุกองค์กรหน่วยงานควรจัดให้มีการรณรงค์ การสร้างเสริมทัศนคติที่ดี และจิตสำนึกด้านความปลอดภัยอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ

8) การกำหนดมาตรการความปลอดภัยในสถานประกอบการ เพื่อให้ทุกคนทุกฝ่ายปฏิบัติอย่างเคร่งครัด โดยมีการแต่งตั้งเจ้าหน้าที่หรือคณะกรรมการด้านความปลอดภัยในการกำหนดกฎระเบียบ ข้อบังคับต่างๆ อย่างเหมาะสมกับสถานการณ์การทำงานอย่างต่อเนื่อง

9) การปรับปรุงสภาพการทำงานและสิ่งแวดล้อมในการทำงาน สถานประกอบการควรมีการดำเนินการอย่างจริงจังเกี่ยวกับการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อให้เกิดความปลอดภัย เพื่อดำรงรักษาไว้ซึ่งการมีสุขภาพอนามัยที่ดี มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น เช่น การจัดระเบียบการทำงานให้ถูกสุขลักษณะ มีความปลอดภัยและสวัสดิการที่ดีขึ้น

10) การประกันการประสบอุบัติเหตุ หน่วยงานหรือสถาบันด้านการประกันการประสบอันตราย ควรมีส่วนร่วมในการส่งเสริมมาตรการการป้องกนัอุบัติเหตุและโรคจากการทำงาน และเป็นการปฏิบัติอย่างจริงจัง

4.1.11 ทฤษฎีรูปแบบระบบความปลอดภัยของ บ๊อบ ฟีเรนซ์ (Firenze System Model)

บ๊อบ ฟีเรนซ์ (Bob Fireze) กล่าวว่า สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน 3 ส่วนคือ คน เครื่องจักร และสิ่งแวดล้อม แต่ละส่วนจะมีความสำคัญ ต่อการผลิตและการเกิดอุบัติเหตุดังนี้

1) คน หรือ ผู้ปฏิบัติงาน (Man) ในการผลิตจะต้องมีการตัดสินใจดำเนินงาน ภายใต้ความเสี่ยงอันตรายอยู่เสมอ ความเสี่ยงนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับข้อมูลข่าวสารที่ได้รับ ถ้าหาก ข้อมูลข่าวสารที่ได้รับมีปริมาณมากพอและมีความถูกต้อง การตัดสินใจก็จะถูกต้อง หากข้อมูลนั้นไม่เพียงพอ การตัดสินใจนั้นก็จะมีความเสี่ยงสูง อาจจะเกิดความล้มเหลวในการทำงาน ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้

2) อุปกรณ์เครื่องจักร (Machine) อุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตจะต้องมีความพร้อม ถ้าอุปกรณ์เครื่องจักรออกแบบมาไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ หรือขาดการบำรุงรักษาที่ดี อาจจะเกิดความผิดพลาดในการปฏิบัติงาน และจะนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุได้

3) สิ่งแวดล้อม (Environment) สภาพแวดล้อมในการทำงานมีความสำคัญต่อการผลิต การทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น การมีสารเคมีฟุ้งกระจายในอากาศ การมีแสงจ้ามากเกินไป ก็สามารถก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้เช่นกัน

ดังนั้นในการปฏิบัติงานจะต้องมีข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจ ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับงานที่ต้องปฏิบัติ และข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น (Nature of harmful consequences) ถ้าข้อมูลมีปริมาณและคุณภาพเพียงพอ ก็จะทำให้ความเสี่ยงต่างๆ ลดลงอยู่ในระดับที่สามารถควบคุมได้ อย่างไรก็ตามในการทำงานมักจะเกิดความเครียด (Stress) ทำให้ความสามารถในการตัดสินใจของผู้ปฏิบัติงานลดลง ดังนั้นจะต้องระลึกไว้เสมอว่า คนที่มีสติปัญญาความรู้ มีการอบรมมาอย่างดี มีข้อมูลข่าวสารเพียงพอ แต่ภายใต้สภาวะแวดล้อมบางอย่างก็อาจจะมีการตัดสินใจผิดพลาด ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุได้เช่นกัน

4.1.12 ทฤษฎีรูปแบบการเกิดอุบัติเหตุของกองทัพบกสหรัฐอเมริกา

การบริหารงานความปลอดภัยของกองทัพบกสหรัฐอเมริกาได้พัฒนามากขึ้นเนื่องจากได้มีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้ในการป้องกันประเทศ กองทัพบกสหรัฐอเมริกาจึงได้ศึกษาเทคโนโลยีทางด้านความปลอดภัย ควบคู่ไปกับเทคโนโลยีในการผลิตและการใช้ด้วยรูปแบบที่นำเสนอนี้ เป็นรูปแบบที่แสดงถึงการเกิดอุบัติเหตุซึ่งอ้างอิงสรุปเป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุได้เป็น 3 ประการคือ

1) ความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงาน (Human Error) เกิดจากการที่ผู้ปฏิบัติงานมีพฤติกรรมการกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Act) สภาพการทำงานที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Condition) ต่างๆ ที่มีอยู่หรือเกิดขึ้นก็เกิดจากวิธีการทำงานที่ไม่ปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานเช่นกัน ความผิดพลาดต่างๆ นั้นอาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดทางร่างกาย ขาดการฝึกอบรมอย่างเพียงพอ หรือขาดการกระตุ้นหรือแรงจูงใจในการทำงาน

2) ความผิดพลาดในระบบ (System Error) อาจเกิดจากการออกแบบไม่เหมาะสมซึ่งเนื่องมาจากนโยบายที่ไม่เหมาะสมของหน่วยงาน เช่น การประหยัด การเลือกใช้ เทคโนโลยีการบำรุงรักษา หรือเกิดจากความล้มเหลวในการออกแบบที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ เป็นต้น

3) ความผิดพลาดในการบริหารจัดการ (Management Error) สาเหตุหลักอาจเกิดจากความล้มเหลว (Failure) จากการบริหารจัดการข้อมูลข่าวสารการใช้เทคโนโลยี และระบบการทำงานที่ไม่เหมาะสม ซึ่งความล้มเหลวนี้อาจเกิดจากการถ่ายทอดข้อมูลข่าวสารที่ไม่ถูกต้อง การฝึกอบรมอาจไม่เพียงพอขาดการกระตุ้นจูงใจในการปฏิบัติงาน

4.1.13 แนวคิดการควบคุมความสูญเสีย (Loss Causation Model)

ค.ศ. 1961 Frank E. Bird ได้คิดค้นโมเดลเกี่ยวกับการค้นหาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุและความสูญเสียขึ้นมา (Loss Causation Model) ซึ่งมีรูปแบบลักษณะคล้ายโดมิโนของ Heinrich เนื่องจากคนส่วนใหญ่คุ้นเคยกับทฤษฎีของ Heinrich Domino จึงประยุกต์ปรับปรุงให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น แต่โมเดลของเบิร์ดแตกต่างกันที่โดมิโนของเบิร์ดมีลูกศรหลายอัน หมายถึง ปัญหาทั้งหลายมาจากหลายสาเหตุ มิได้มาจากสาเหตุเดียว (Multiple Causes) ใช้คำว่าการกระทำที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (Substandard Act) แทนคำว่าการกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Act) ใช้คำว่าสภาพการณ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (Substandard Condition) แทนคำว่าสภาพที่ไม่ปลอดภัย เบิร์ดใช้คำว่า ที่เป็นผลในทางปฏิบัติเพราะเมื่อถามถึงการกระทำ หรือสภาพการณ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐานจึงทำให้มองเห็นว่ามาตรฐานที่ถูกต้องนั้นเป็นอย่างไร และจะต้องทำอย่างไร ทฤษฎีนี้ได้อธิบายถึงผล หรือความสูญเสีย (Loss) ได้แก่คน ทรัพย์สิน และกระบวนการผลิต เป็นผลมาจากอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น (Immediate Cause) ได้แก่การกระทำที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (Substandard Act) เช่น ปฏิบัติงานโดยไม่มีเจ้าหน้าที่ ใช้เครื่องมือผิดประเภทหรือไม่ถูกวิธี สภาพการณ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (Substandard Condition) เช่น ไม่มีระบบสัญญาณเตือนภัย สภาพแวดล้อมในการทำงานไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เป็นเพียงอาการที่ปรากฏ (Symptom) เท่านั้น ซึ่งแท้จริงแล้วเกิดจากสาเหตุพื้นฐาน หรือสาเหตุต้นตอ (Basic-Cause) ได้แก่ปัจจัยบุคคล (Personal Factor) เช่น ผู้ปฏิบัติงานไม่มีความรู้ในเครื่องมือที่ทำ ขาดความชำนาญปัจจัยงาน (Job Factor) เช่น ไม่มีมาตรฐานการปฏิบัติงาน ไม่มีการบำรุงรักษา ไม่มีการตรวจสอบดูแล สาเหตุพื้นฐานเหล่านี้เกิดจากขาดการควบคุมที่ดี (Lack of Control) อันได้แก่ ไม่มีโปรแกรมในการป้องกันหรือจำกัดสาเหตุ หรือมีไม่เพียงพอ มีโปรแกรมอยู่แต่ไม่ได้มาตรฐาน แต่ไม่ปฏิบัติตามมาตรฐาน หรือปฏิบัติไม่ได้ตามมาตรฐาน (Inadequate Compliance) เช่น จำนวนครั้งของการฝึกอบรม ผู้ปฏิบัติงานที่เสี่ยงอันตรายหรือมีหลักสูตรแต่ไม่ได้มาตรฐานตามกำหนด หรือมีหลักสูตรที่มีมาตรฐาน แต่ไม่ได้ปฏิบัติตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือปฏิบัติยังไม่เพียงพอ

อย่างไรก็ตาม ในการทำงานมักจะเกิดความเครียด (Stress) ทำให้ความสามารถในการตัดสินใจของผู้ปฏิบัติงานลดลง ดังนั้นจะต้องระลึกไว้เสมอว่าคนที่มีสติปัญญาความรู้มีการอบรมมาอย่างดี มีข้อมูล

ข่าวสารเพียงพอ แต่ภายใต้สภาวะแวดล้อมบางอย่างก็อาจจะมีการตัดสินใจผิดพลาด ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุได้เช่นกัน

4.1.14 ทฤษฎีหลายสาเหตุหลายปัจจัย (Multiple Factor Theories)

ทฤษฎีหลายสาเหตุหลายปัจจัย เป็นทฤษฎีที่กล่าวว่า “สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุเกิดจากปัจจัยหลายปัจจัย ร่วมกัน” โดยสาเหตุขณะนั้น (Immediate causes) อาจเป็นการกระทำที่ไม่ปลอดภัยของพนักงาน หรือสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย ซึ่งทฤษฎีหลายสาเหตุหลายปัจจัยนั้น จะมีหลายปัจจัยที่เป็นส่วนสนับสนุนให้เกิดอุบัติเหตุโดย V.L. Gross ได้สร้างรูปแบบของทฤษฎีหลายสาเหตุหลายปัจจัยที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุโดยปัจจัย 4M คือ

1) Man คือคนซึ่งมีปัจจัยร่วมได้แก่ เพศ อายุ ความสูง ทักษะการทำงาน ประวัติการฝึกอบรม แรงจูงใจ เป็นต้น

2) Media คือ สภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้แก่ สภาพอากาศ อุณหภูมิ แสงสว่าง เสียง เป็นต้น

3) Management คือ รูปแบบในการบริหารจัดการ การจัดองค์กร นโยบาย ระเบียบปฏิบัติ เป็นต้น

4) Machine คืออุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องจักร ได้แก่ ขนาดของเครื่องจักร รูปร่างของเครื่องจักร น้ำหนัก แหล่งพลังงาน เป็นต้น

ซึ่งทฤษฎีหลายสาเหตุหลายปัจจัย จะมีประโยชน์ในการป้องกันอุบัติเหตุโดยจะทำให้เราระบุถึง ปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการปฏิบัติงาน เพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของอุบัติเหตุ หรือผลของการเกิดอุบัติเหตุได้ อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นทุกครั้ง มิใช่เกิดจากโชคชะตาหรือเคราะห์กรรมที่เหนือการควบคุม แต่เกิดจากสาเหตุที่แก้ไขและป้องกันได้ สาเหตุของอุบัติเหตุที่สำคัญ ได้แก่ การกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Acts) และสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Condition) การป้องกันอุบัติเหตุอย่างมีประสิทธิภาพทำได้โดยการกำจัดการกระทำหรือสภาพการณ์ ที่ไม่ปลอดภัยให้เหลือน้อยที่สุดหรือหมดไป สภาพการทำงานที่ปลอดภัยก็จะเกิดขึ้นในที่สุด

4.2 ความสำคัญของอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล และการนำไปใช้

ความหมายและความสำคัญของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personal Protective Devices = PPD หรือ Personal Protective Equipment = PPE)

หมายถึง อุปกรณ์สำหรับผู้ปฏิบัติงานสวมใส่ขณะทำงาน เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากสภาพ และสิ่งแวดล้อมการทำงาน การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เป็นวิธีการหนึ่งในหลายวิธีการป้องกันอันตรายจากการทำงาน โดยทั่วไปจะยึดหลักการป้องกันควบคุมที่สิ่งแวดล้อมการทำงานก่อนในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการได้ จึงนำกลวิธีการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลมาแทน

4.3 การเลือก และใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

การเลือกและใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ให้เกิดประสิทธิภาพนั้น ผู้รับผิดชอบควรยึดหลักดังนี้

1. เลือกซื้อให้เหมาะสมกับลักษณะอันตราย ที่พบจากการทำงาน
2. อุปกรณ์ที่เลือก ควรได้รับการตรวจสอบ และรับรองตามมาตรฐาน
3. มีประสิทธิภาพสูง ในการป้องกันอันตรายและทนทาน
4. มีน้ำหนักเบา สวมใส่สบาย ขนาดเหมาะสมกับผู้ใช้ และง่ายต่อการใช้
5. มีให้เลือกหลายแบบ และหลายขนาด
6. การบำรุงรักษาง่าย อะไหล่หาซื้อง่าย และไม่แพงเกินไป
7. ให้ความรู้กับผู้ใช้ในเรื่องประโยชน์ของอุปกรณ์ป้องกันอันตราย วิธีการเลือกใช้ การสวมใส่ที่ถูกต้อง และการบำรุงรักษา
8. มีแผนการชักจูงการใช้ การปรับตัวในการใช้ระยะแรก และส่งเสริมการใช้
9. ให้รางวัลสำหรับผู้ใช้ที่ปฏิบัติตามกฎระเบียบ การใช้เครื่องป้องกันอันตรายส่วนบุคคล
10. มีปริมาณพอเพียงกับจำนวนผู้ใช้
11. กรณีที่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลชำรุด ต้องเปลี่ยน หรือซ่อมแซมได้

4.4 ชนิดของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

1. อุปกรณ์ป้องกันศีรษะ (Head Protection Devices)
2. อุปกรณ์ป้องกันใบหน้าและดวงตา (Eye and face protection devices)
3. อุปกรณ์ป้องกันหู (Ear protection devices)
4. อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ (Respiratory protection devices)
5. อุปกรณ์ป้องกันลำตัว (Body protection devices)
6. อุปกรณ์ป้องกันมือ (Hand protection devices)
7. อุปกรณ์ป้องกันเท้า (Foot protection devices)
8. อุปกรณ์ป้องกันการตกจากที่สูง

4.4.1 อุปกรณ์ป้องกันศีรษะ (Head Protection Devices) สวมไว้เพื่อป้องกันศีรษะจากการถูกชน หรือกระแทก หรือวัตถุตกจากที่สูงกระทบต่อศีรษะ ได้แก่ หมวกนิรภัย มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีขอบหมวกโดยรอบ และชนิดที่มีเฉพาะกระบังด้านหน้า

ส่วนประกอบของหมวกนิรภัย

- ตัวหมวก ทำด้วยพลาสติก หรือไฟเบอร์กลาส หรือโลหะ

- สายพยุง ประกอบด้วย สายรัดศีรษะ และสายรัดด้านหลังศีรษะ สามารถปรับได้เพื่อความสะดวก

สำหรับผู้ใช้

- สายรัดคาง

- แผ่นซับเหงื่อ ทำด้วยใยสังเคราะห์ สามารถซับเหงื่อ และให้อากาศผ่านได้ ผู้สวมจึงไม่ต้องถอดหมวก เพื่อซับเหงื่อบ่อยๆ

- หมวกนิรภัย แบ่งเป็น 4 ประเภท ตามคุณสมบัติการใช้งาน คือ

- ประเภท A เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไป เช่น งานก่อสร้าง งานอื่นเพื่อป้องกันวัตถุ หรือของแข็งหล่นกระแทกศีรษะ วัสดุที่ใช้ทำหมวกประเภทนี้เป็นพลาสติก หรือไฟเบอร์กลาส
- ประเภท B เหมาะสำหรับการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับสายไฟแรงสูง วัสดุที่ใช้ทำหมวกคือ วัสดุสังเคราะห์ประเภทพลาสติก และไฟเบอร์กลาส
- ประเภท C เหมาะสำหรับงานที่ต้องทำในบริเวณที่มีอากาศร้อน วัสดุทำจากโลหะ ไม่เหมาะใช้กับงานเกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้า
- ประเภท D เหมาะสำหรับงานดับเพลิง วัสดุที่ใช้ทำหมวกเป็นอุปกรณ์วัสดุสังเคราะห์ประเภทพลาสติก และไฟเบอร์กลาส

ข้อควรปฏิบัติในการใช้หมวกนิรภัย และการบำรุงรักษา

1. ตรวจสภาพความเรียบร้อยของหมวก ก่อนใช้งาน ถ้าชำรุดไม่ควรนำมาใช้
2. เมื่อใช้งานแล้ว ควรมีการทำความสะอาดเป็นระยะ ด้วยน้ำอุ่นและสบู่ ขณะล้างควรถอดส่วนประกอบออกทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง แล้วจึงประกอบเข้าไปใหม่
3. ห้ามทาสีหมวกใหม่ เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพในการต้านแรงไฟฟ้า และแรงกระแทกลดต่ำลง
4. ไม่วางหมวกนิรภัยไว้กลางแดด หรือที่ที่มีอุณหภูมิสูง เพราะจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

4.4.2. อุปกรณ์ป้องกันใบหน้าและตา (Eye and face protection devices)

ช่วยป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น จากวัตถุ สารเคมีกระเด็นเข้าตา ใบหน้า หรือป้องกันรังสีที่จะทำลายดวงตา แบ่งเป็น

- แว่นตานิรภัย (Protective spectacles or Glassess) มี 2 แบบ คือ

- แบบไม่มีกระบังข้าง เหมาะสำหรับใช้งานที่มีเศษโลหะ หรือวัตถุกระเด็นมาเฉพาะทางด้านหน้า
- แบบมีกระบังข้าง เหมาะสำหรับการใช้งานที่มีเศษโลหะ หรือวัตถุกระเด็นข้าง เลนส์ที่ใช้ทำแว่นตานิรภัย ต้องได้มาตรฐานการทดสอบ ความต้านทาน แรงกระแทก

- แว่นครอบตา (Goggles) เป็นอุปกรณ์ป้องกันตา ที่ปิดครอบตาไว้ มีหลายชนิด ได้แก่

- แว่นครอบตาป้องกันวัตถุกระแทก เหมาะสำหรับงานสะกัด งานเจียระไน
- แว่นครอบตาป้องกันสารเคมี เลนส์ของแว่นชนิดนี้ จะต้านทานต่อแรงกระแทก และสารเคมี

- แว่นครอบตาสำหรับงานเชื่อมป้องกันแสงจ้า รังสี ความร้อน และสะเก็ดไฟจากงานเชื่อโลหะ หรือตัดโลหะ

- กระบังป้องกันใบหน้า (Face shield) เป็นวัสดุโค้งครอบใบหน้า เพื่อป้องกันอันตรายต่อใบหน้าและลำคอ จากการกระเด็น กระแทกของวัตถุ หรือสารเคมี

- หน้ากากเชื่อม เป็นอุปกรณ์ป้องกันใบหน้า และดวงตา ซึ่งใช้ในงานเชื่อม เพื่อป้องกันการกระเด็นของโลหะ ความร้อน แสงจ้า และรังสีจากการเชื่อม

- ครอบป้องกันหน้า เป็นอุปกรณ์สวมปกคลุมศีรษะ ใบหน้า และคอ ลงมาถึงไหล่ และหน้าอก เพื่อป้องกันสารเคมี ฝุ่น ที่เป็นอันตราย ตัวครอบป้องกันหน้ามี 2 ส่วนคือ ตัวครอบ และเลนส์ครอบป้องกันใบหน้า แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ครอบป้องกันหน้าชนิดมีไส้กรองสารเคมี
- ครอบป้องกันหน้าชนิดไม่มีไส้กรองสารเคมี แต่จ่ายอากาศเข้าไปโดยใช้ท่ออากาศ บางชนิดอาจมีหมวกนิรภัยติดมาด้วย เพื่อป้องกันอันตรายที่ศีรษะ

4.4.3 อุปกรณ์ป้องกันหู (Ear protection devices) เป็นอุปกรณ์ที่สวมใส่ เพื่อกั้นความดังของเสียงที่จะมากระทบต่อแก้วหู กระดูกหู เพื่อป้องกันอันตรายที่มีต่อระบบการได้ยิน แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

- ชนิดสอดเข้าไปในรูหู (Ear plugs) มีหลายแบบ บางชนิดทำจากวัสดุที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่างๆ ได้ เมื่อปล่อยไว้สักครู่ มันจะขยายตัวเท่ากับขนาดรูหูของผู้สวมใส่ วัสดุที่ใช้ทำแตกต่างกันไป เช่น พลาสติกบาง โฟม เป็นต้น อุปกรณ์ป้องกันหูชนิดนี้ นิยมใช้กันมาก เนื่องจากราคาไม่แพง สะดวกในการเก็บและทำความสะอาด สามารถลดเสียงลงได้ประมาณ 15-20 เดซิเบล วิธีการใส่อุปกรณ์ชนิดนี้เข้าไปในรูหูคือ เมื่อจะใส่เข้าไปในหูขวา ให้ใช้มือซ้ายผ่านด้านหลังศีรษะ ดึงใบหูขวาขึ้น และใช้มือขวาหยิบอุปกรณ์ป้องกันหูสอดเข้าไปในรูหู ค่อยๆ หมุนใส่เข้าไปจนกระชับพอดี ส่วนการใส่ที่หูซ้าย ก็ใช้วิธีการเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น

- ชนิดครอบหู (Ear Muffs) เป็นอุปกรณ์ป้องกันหูที่ครอบปิดหูส่วนนอก ทำให้สามารถกั้นเสียงได้มากกว่าชนิดสอดเข้าไปในรูหู ประสิทธิภาพในการกั้นเสียงของอุปกรณ์ชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง วัสดุกันเสียงรั่วรอบๆ ที่ครอบหู และวัสดุดูดซับเสียงในที่ครอบหู ปกติจะลดเสียงได้ประมาณ 20-30 เดซิเบล

4.4.4 อุปกรณ์ป้องกันการหายใจ (Respiratory protection devices) เป็นอุปกรณ์ช่วยป้องกันอันตราย จากมลพิษเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านทางปอด ซึ่งเกิดจากการหายใจเอามลพิษ เช่น อนุภาคก๊าซ และไอระเหยที่ปนเปื้อนที่อยู่ในอากาศ หรือเกิดจากปริมาณออกซิเจนในอากาศไม่เพียงพอ

อุปกรณ์ป้องกันทางหายใจ แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

(1) ประเภทที่ทำให้อากาศปราศจากมลพิษ ก่อนที่จะเข้าสู่ทางเดินหายใจ (Air purifying devices) ได้แก่

- หน้ากากกรองอนุภาค ทำหน้าที่กรองอนุภาคที่แขวนลอยในอากาศ ซึ่งได้แก่ ฝุ่น ฟูม ควัน มิสท์ ส่วนประกอบที่สำคัญของหน้ากากกรองอนุภาค ได้แก่

1. **ส่วนหน้ากาก** มีหลายขนาด เช่น ขนาด ¼ หน้า ขนาด ½ หน้า หรือขนาดเต็มหน้า
2. **ส่วนกรองอากาศ** ประกอบด้วยวัสดุกรองอากาศ (Filter) ที่นิยมใช้มี 3 ลักษณะ คือ
    - ชนิดเป็นแผ่น ทำจากเส้นใยอัดให้มีความพอเหมาะ สำหรับกรองอนุภาค โดยให้มีประสิทธิภาพการกรองอากาศสูงสุด และแรงต้านทานต่อการหายใจเข้าน้อยที่สุด
    - ชนิดที่วัสดุกรองอากาศถูกบรรจุอยู่ในตลับแบบหลวมๆ เหมาะสำหรับกรองฝุ่น
    - ชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง โดยนำวัสดุกรองอากาศ ที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาพับขึ้นลง ให้เป็นจีบบรรจุในตลับ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับอนุภาคที่จะไปเกาะ และลดแรงต้านการหายใจ
3. **สายรัดศีรษะ** ซึ่งสามารถปรับได้ตามต้องการ เพื่อให้กระชับกับหน้าผู้สวมใส่อยู่เสมอ

นอกจากนี้ ยังมีหน้ากากกรองอนุภาค ชนิดใช้แล้วทิ้ง ส่วนประกอบของหน้ากาก คือ หน้ากาก และวัสดุกรองจะรวมไปชิ้นเดียวกัน ส่วนบนของหน้ากากมีแผ่นโลหะอ่อน ซึ่งสามารถปรับให้โค้งงอได้ ตามแนวสันจมูก เพื่อช่วยให้หน้ากากแนบกับใบหน้าผู้สวมใส่

- หน้ากากกรองก๊าซไอระเหย ทำหน้าที่กรองก๊าซ และไอระเหย ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ

ส่วนประกอบที่สำคัญของหน้ากากกรองก๊าซ และไอระเหย คือ

1. ส่วนหน้ากาก และสายรัดศีรษะ เช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น
2. ส่วนกรองอากาศ เป็นตลับ หรือกระป๋องบรรจุสารเคมี ซึ่งเป็นตัวจับมลพิษโดยการดูดซับหรือทำปฏิกิริยากับมลพิษ ทำให้อากาศที่ผ่านตลับกรองสะอาด ปราศจากมลพิษ ส่วนกรองอากาศนี้สามารถใช้ได้เฉพาะสำหรับก๊าซ หรือไอระเหย แต่ละประเภทตามที่ระบุไว้เท่านั้น เช่น ส่วนกรองอากาศที่ใช้กรองก๊าซแอมโมเนีย จะสามารถป้องกันเฉพาะก๊าซแอมโมเนียเท่านั้น ไม่สามารถป้องกันมลพิษชนิดอื่นได้ เป็นต้น ดังนั้น ผู้ที่จะใช้หน้ากากกรองก๊าซ และไอระเหย ควรเลือกซื้อ และหรือเลือกใช้ให้เหมาะสม กับชนิดของมลพิษที่จะป้องกัน ตามที่ American National Standard ได้กำหนดมาตรฐาน (ANSI K 13.1-1973) รหัสสีของตลับกรองสำหรับกรองก๊าซ และไอระเหย ชนิดต่างๆ มีดังนี้

ชนิดมลพิษ	สีที่กำหนด
ก๊าซที่เป็นกรด	ขาว
ไอระเหยอินทรีย์	ดำ
ก๊าซแอมโมเนีย	เขียว
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	น้ำเงิน
ก๊าซที่เป็นกรด และไอระเหยอินทรีย์	เหลือง
ก๊าซที่เป็นกรด แอมโมเนีย และไอระเหยอินทรีย์	น้ำตาล
ก๊าซที่เป็นกรด แอมโมเนีย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไอระเหย อินทรีย์	แดง
ไอระเหยอื่นๆ และก๊าซที่ไม่กล่าวไว้ข้างต้น	เขียวมะกอก
สารกัมมันตรังสี (ยกเว้น ไทรเทียม และโนเบลก๊าซ)	ม่วง
ฝุ่น ฟูม มิสท์	ส้ม

- หน้ากากกรองก๊าซ และไอระเหย มีอยู่ 3 ประเภท คือ

1. **หน้ากากกรองก๊าซ และไอระเหยชนิดตลับกรองสารเคมี** สามารถป้องกันก๊าซ และไอระเหยที่ปนเปื้อนในอากาศ ที่ความเข้มข้นประมาณ 10-1,000 ppm ไม่เหมาะที่จะใช้กรณีที่มีความเข้มข้นสูง ในระดับที่อาจเป็นอันตรายต่อชีวิตทันที (Immediately dangerous to life or health level - IDHL) ยกเว้นในกรณีที่ใช้หนีออกจากบริเวณอันตรายนั้น ซึ่งใช้เวลาสั้นๆ
2. **หน้ากากกรองก๊าซ (Gas mask)** มีลักษณะคล้ายหน้ากากกรองก๊าซ และไอระเหยชนิดตลับกรองสารเคมี ต่างกันส่วนที่บรรจุสารเคมี เพื่อทำให้อากาศที่ปนเปื้อนด้วยมลพิษสะอาดก่อนที่จะถูกหายใจเข้าสู่ทางเดินหายใจเท่านั้น ซึ่งแบ่งเป็น

   - ชนิดที่กระป๋องอยู่ที่คางบรรจุสารเคมีประมาณ 250-500 ลบ.ซม. ใช้กับหน้ากากเต็มหน้า

   - ชนิดที่กระป๋องบรรจุสารเคมีอยู่ด้านหน้า หรือด้านหลังบรรจุสารเคมี 1,000-2,000 ลบ.ซม. ใช้กับหน้ากากเต็มหน้า

   - ชนิดหน้ากากหนีภัย
3. **หน้ากากที่ทำให้อากาศสะอาด ชนิดที่มีพลังงาน ช่วยเป่าอากาศเข้าในหน้ากาก (Powered air-purifying respirator)** หน้ากากชนิดนี้มีส่วนประกอบคล้ายกับหน้ากากป้องกันก๊าซและไอระเหย และหน้ากากกรองก๊าซ มีสิ่งที่เพิ่มขึ้นคือ มีเครื่องเป่าอากาศให้ผ่านตลับ หรือกระป๋องสารเคมี ซึ่งจะช่วยลดแรงต้านทานการหายใจเข้าของผู้สวม ทำให้ผู้สวมรู้สึกสบายขึ้น

ข้อปฏิบัติในการใช้หน้ากาก ประเภทที่ทำให้อากาศสะอาด ก่อนเข้าสู่ทางเดินหายใจ

1. เลือกขนาดหน้ากากให้เหมาะ เพื่อไม่ให้มีช่องว่างระหว่างหน้า และขอบหน้ากาก

2. เลือกวัสดุกรองอนุภาค หรือตลับกรองมลพิษ (Cartridges) หรือกระป๋องกรองมลพิษ (Canisters) ให้เหมาะสมกับชนิดมลพิษที่ต้องการกรอง

3. ใส่ส่วนที่ทำหน้าที่กรองมลพิษ กับตัวหน้ากาก

4. ตรวจสอบรอยรั่ว หรือช่องว่าง ที่ทำให้อากาศเข้าไปในหน้ากาก โดยทดสอบ negative pressure และ positive pressure

- วิธีทดสอบ negative pressure โดยใช้ฝ่ามือปิดทางที่อากาศเข้าให้สนิท แล้วหายใจเข้า ตัวหน้ากากจะยุบลงเล็กน้อย และคงค้างไว้ในสภาพนั้นประมาณ 10 วินาที แสดงว่า ไม่มีรอยรั่วที่อากาศจะไหลเข้าไปในหน้ากากได้
- วิธีทดสอบ positive pressure โดยการปิดลิ้นอากาศออก แล้วค่อยๆ หายใจออก ถ้าเกิดความดันเพิ่มขึ้น ในหน้ากากแสดงว่า หน้ากากไม่มีรอยรั่ว

5) ขณะสวมหน้ากาก หากได้กลิ่นก๊าซหรือไอระเหย ควรเปลี่ยนตลับกรอง หรือกระป๋องกรองมลพิษทันที

6) หน้ากากแบบ powered air purifying ควรตรวจสอบท่อส่งอากาศ และข้อต่อต่างๆ ที่อาจทำให้ก๊าซหรือไอระเหยรั่วซึมเข้าไปได้

(2) ประเภทที่ส่งอากาศจากภายนอกเข้าไปในหน้ากาก (Atmosphere - supplying respirator) เป็นอุปกรณ์ป้องกันทางการหายใจ ชนิดที่ต้องมีอุปกรณ์ส่งอากาศ หรือออกซิเจนให้กับผู้สวมใส่โดยเฉพาะ แบ่งเป็น

- ชนิดที่แหล่งส่งอากาศติดที่ตัวผู้สวม (Self contained breathing apparatus หรือที่เรียกว่า SCBA) ผู้สวมจะพกเอาแหล่งส่งอากาศ หรือถังออกซิเจนไปกับตัว ซึ่งสามารถใช้ได้นานถึง 4 ชั่วโมง ส่วนประกอบของอุปกรณ์นี้ ประกอบด้วยถังอากาศ สายรัดติดกับผู้สวม เครื่องควบคุมความดัน และการไหลของอากาศจากถังไปยังหน้ากาก ท่ออากาศ และหน้ากากชนิดเต็มหน้า หลักการทำงานของอุปกรณ์นี้ มี 2 แบบ คือ

1. แบบวงจรปิด หลักการคือ ลมหายใจออกจะผ่านเข้าไปในสารดูดซับ เพื่อกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วกลับเข้าไปในภาชนะบรรจุออกซิเจนเหลว หรือออกซิเจนแข็ง หรือสารสร้างออกซิเจน แล้วกลับเข้าสู่หน้ากากอีกครั้ง
2. แบบวงจรเปิด หลักการคือ ลมหายใจออกจะถูกปล่อยออกไปไม่หมุนเวียนกลับมาใช้อีก อากาศที่หายใจเข้าแต่ละครั้ง มาจากถังบรรจุออกซิเจน

- ชนิดที่ส่งอากาศไปตามท่อ (Supplied air respirator) แหล่งหรือถังเก็บอากาศจะอยู่ห่างออกไปจากตัวผู้สวม อากาศจะถูกส่งมาตามท่อเข้าสู่หน้ากาก

ข้อปฏิบัติในการใช้อุปกรณ์ป้องกันทางเดินหายใจ แบบส่งอากาศจากภายนอกเข้าไปในหน้ากาก

1. ตรวจอุปกรณ์ทุกส่วนให้อยู่ในสภาพเรียบร้อยก่อนใช้งาน

2. ปรับอัตราการไหลของออกซิเจนให้เหมาะสม หน้าปัทม์บอกปริมาณออกซิเจน ควรอยู่ในสภาพที่ผู้สวมใส่สามารถเห็นได้ชัดเจน

3. ขณะสวมหน้ากากอยู่ หากได้กลิ่นสารเคมี ควรรีบออกจากบริเวณนั้นทันที

4. ควรมีท่อสำรอง และสารช่วยชีวิตในกรณีฉุกเฉิน หรือเกิดอุบัติเหตุขึ้น เช่น ท่อนำส่งอากาศชำรุด เป็นต้น

5. ผู้สวมใส่ต้องได้รับการฝึกอบรมวิธีการใช้งานมาเป็นอย่างดี

6. ต้องมีการบำรุงรักษาที่ดี เช่น ตรวจสอบถังอากาศ เครื่องควบคุมความดัน และการไหลเวียนของอากาศ ตามคำแนะนำของผู้ผลิต

การทำความสะอาดหน้ากาก (Facepieces)

1. ถอดส่วนกรองอากาศ เช่น ตลับ หรือกระป๋องบรรจุสารเคมีออกจากตัวหน้ากาก นำหน้ากากไปล้างด้วยน้ำอุ่น และสบู่ โดยใช้แปรงนิ่มๆ ขัดเบาๆ

2. นำไปฆ่าเชื้อโรคโดยจุ่มลงในสารละลายไฮโปคลอไรท์ 2 นาที แล้วตามด้วยน้ำสะอาด ปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง

3. ประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าที่ และตรวจสอบให้เรียบร้อยก่อนเก็บ โดยเก็บในที่สะอาด ไม่ปนเปื้อนฝุ่น สารเคมี หรือถูกแสงแดด

4.4.5. อุปกรณ์ป้องกันลำตัว (Body Protection Devices) เป็นอุปกรณ์ที่สวมใส่เพื่อป้องกันอันตราย จากการกระเด็นหกรดของสารเคมี การทำงานในที่มีความร้อนสูง หรือมีสะเก็ดลูกไฟ เป็นต้น

1. ชุดป้องกันสารเคมี ทำจากวัสดุที่ทนต่อสารเคมี เช่น โพลีเมอร์ ใยสังเคราะห์ Polyester และเคลือบด้วย polymer ชุดป้องกันสารเคมีมีหลายแบบ เช่น ผ้ากันเปื้อน ป้องกันเฉพาะลำตัว และขา เสื้อคลุมป้องกันลำตัว แขน และขา เป็นต้น

2. ชุดป้องกันความร้อน ทำจากวัสดุที่สามารถทนความร้อน โดยใช้งานที่มีอุณหภูมิสูง ถึง 2000 °F เช่น ผ้าที่ทอจากเส้นใยแข็ง (glass fiber fabric) เคลือบผิวด้านนอกด้วยอลูมิเนียม เพื่อสะท้อนรังสีความร้อน หรือทำจากหนัง เพื่อใช้ป้องกันความร้อน และการกระเด็นของโลหะที่ร้อน

3. ชุดป้องกันการติดไฟ จากประกายไฟ เปลวไฟ ลูกไฟ วัสดุจากฝ้าย ชุบด้วยสารป้องกันการติดไฟ

4. เสื้อคลุมตะกั่ว เป็นเสื้อคลุมที่มีชั้นตะกั่วฉาบผิว วัสดุทำจากผ้าใยแก้วฉาบตะกั่ว หรือพลาสติกฉากตะกั่ว ผู้ปฏิบัติงานสวมใส่ขณะทำงาน เพื่อป้องกันการสัมผัสรังสี

ข้อควรปฏิบัติเกี่ยวกับใช้อุปกรณ์ป้องกันลำตัว

1. ทำความสะอาดตามคำแนะนำของผู้ผลิต

2. ขณะทำความสะอาด ควรตรวจรอยชำรุด เพื่อทำการซ่อมแซม

3. เก็บไว้ในที่สะอาด และอุณหภูมิพอเหมาะ

4.4.6. อุปกรณ์ป้องกันมือ (Hand Protection Devices) สวมใส่เพื่อลดการบาดเจ็บของอวัยวะส่วนนิ้วมือ และแขน อันเนื่องมาจากการทำงาน มีหลายชนิด ได้แก่

1. ถุงมือป้องกันความร้อน ใช้สำหรับงานที่ต้องจับต้องกับวัตถุที่ร้อน เช่น งานเป่าแก้ว รีดเหล็ก ถลุงโลหะ เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำถุงมือมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุที่ต้องสัมผัส เช่น ถุงมือที่ทำจากวัสดุที่มีส่วนผสมของแร่ใยหิน อะลูมิเนียม หนัง เป็นต้น

2. ถุงมือป้องกันสารเคมี ทำจากยาง นีโอพรีน ไวนิล และโพลีเมอร์

3. ถุงมือป้องกันไฟฟ้า ทำจากยาง ต้องได้มาตรฐานรับรองคุณภาพ และทดสอบการรั่ว ถุงมือประเภทนี้แบ่งเป็น 5 ประเภท ตามความสามารถในการต้านไฟฟ้า คือ

ประเภท	ไฟฟ้ากระแสสลับที่ทดสอบ (Voltage rms)	ไฟฟ้าตรงที่ทดสอบ (Voltage avg)	แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ให้ใช้งานได้ (Voltage rms)
0	5,000	20,000	1,000
1	10,000	40,000	7,500
2	20,000	50,000	17,000
3	30,000	60,000	26,500
4	40,000	70,000	36,000

4. ถุงมือป้องกันการขีดข่วนของมีคม และรังสี เป็นถุงมือที่ทำจากผ้า หนัง ถุงมือตาข่ายลวดทำจากลวด ซึ่งถักเป็นถุงมือ

ข้อปฏิบัติในการใช้อุปกรณ์ป้องกันมือ

1. ทำความสะอาดทุกครั้งหลังการใช้งานด้วยน้ำสบู่ ตามด้วยน้ำสะอาด และตากให้แห้ง

2. เก็บไว้ในที่สะอาด

4.4.7. อุปกรณ์ป้องกันเท้า (Foot Protection Devices) สวมใส่เพื่อป้องกันส่วนของเท้า นิ้วเท้า หน้าแข้ง ไม่ให้สัมผัสกับอันตรายจากการปฏิบัติงาน มีหลายชนิด ได้แก่

1. รองเท้านิรภัย ชนิดหัวรองเท้าเป็นโลหะ สามารถรับน้ำหนักได้ 2,500 ปอนด์ และทนแรงกระแทกของวัตุหนัก 50 ปอนด์ ที่ตกจากที่สูง 1 ฟุตได้ เหมาะสำหรับใช้ในงานก่อสร้าง อุตสาหกรรมอื่นๆ

2. รองเท้าป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า วัสดุที่ใช้ทำจากยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์

3. รองเท้าป้องกันสารเคมี ทำจากวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เช่น ไวนิล นีโอพรีน ยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ แบ่งเป็นชนิดที่มีหัวโลหะ และไม่มีหัวโลหะ

4.4.8 อุปกรณ์ป้องกันการตกจากที่สูง การทำงานในที่สูง เช่น งานก่อสร้าง งานทำความสะอาด งานไฟฟ้า จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันการตกจากที่สูง ได้แก่

1. เข็มขัดนิรภัย ประกอบด้วยตัวเข็มขัด และเชือกนิรภัย ตัวเข็มขัดทำด้วยหนังเส้นใยจากฝ้ายและใยสังเคราะห์ ได้แก่ ไนลอน

2. สายรัดตัวนิรภัย หรือสายพยุงตัว เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานที่เสี่ยงภัย ทำงานในที่สูง ออกแบบมาเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนตัวขณะทำงานได้ หรือช่วยพยุงตัวให้สามารถทำงานได้ในที่ไม่มีจุดยึดเกาะตัวในขณะทำงาน ทำจากวัสดุประเภทเดียวกับเข็มขัดนิรภัย มี 3 แบบ คือ ชนิดคาดหน้าอก เอว และขา และชนิดแขวนตัว

3. สายช่วยชีวิต เป็นเชือกที่ผูกหรือยึดติดกับโครงสร้างของอาคาร หรือส่วนที่มั่นคง เชือกนี้จะถูกต่อเข้ากับเชือกนิรภัยและเข็มขัดนิรภัย หรือสายรัดตัวนิรภัย (สายพยุงตัว)

ข้อปฏิบัติเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์ป้องกันการตกจากที่สูง

1. ก่อนใช้เข็มขัดนิรภัย ผู้ใช้ควรตรวจสอบการฉีก ปริ ขาด หรือรอยตัด ถ้าพบไม่ควรนำมาใช้งาน เมื่อใช้ไป 1-3 เดือน ควรให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ
2. การล้างทำความสะอาดควรทำเดือนละครั้งเมื่อมีการใช้งานทุกวัน หรือเมื่อเกิดความสกปรกมาก โดยล้างน้ำอุ่น และสบู่กรด ตามด้วยน้ำสะอาด และปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เข็มขัดนิรภัยหนังก่อนที่จะแห้งสนิท ควรชโลมหนังด้วยน้ำมันระหุ่ง หรือน้ำมันถั่วเหลือง เพื่อเป็นการรักษาหนัง

4.5 กฎเกณฑ์และหลักการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานบนที่สูง

อุบัติเหตุจากการพลัดตกจากที่สูง เป็นอีกหนึ่งอุบัติเหตุที่มีปรากฏให้เห็นอยู่เรื่อยๆ ความเสี่ยงเหล่านี้อยู่รอบๆ ตัวเราในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผู้ที่ปฏิบัติงานบนที่สูง อย่างงานก่อสร้างบนนั่งร้าน งานบนเสาไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งการทำงานบนที่สูงอาจหมายถึง การทำงานบนพื้นต่างระดับจากพื้นราบ หรือการทำงานบนพื้นที่มีความต่างระดับของพื้นที่บริเวณใต้ดิน ประมาณ 2 เมตร ขึ้นไป

อันตรายที่พบบ่อยที่สุดจากอุบัติเหตุของการทำงานบนที่สูง คือการพลัดตกจากที่สูงซึ่งอาจมาจากหลากหลายปัจจัย สามารถ**เป็นเหตุให้เสียชีวิตได้ หรือกลายเป็นผู้พิการ และบาดเจ็บ** ดังนั้นผู้ที่ทำงานบนที่สูงควรรู้ถึงหลักการทำงานอย่างถูกต้องเพื่อความปลอดภัยของตนเองและผู้อื่น

ความปลอดภัยในการทำงานบนที่สูง

1. การทำงานบนที่สูงเกิน 2 เมตร ขึ้นไป จะต้องมีการป้องกันการตกหล่น และมีการติดตั้งนั่งร้าน
2. การทำงานบนที่สูงเกิน 4 เมตร ขึ้นไป ผู้ปฏิบัติงานจะต้องสวมใส่เข็มขัดนิรภัยหรือสายช่วยชีวิต ต้องมีตาข่ายนิรภัยรอง และมีราวกันตก
3. ช่องเปิดหรือปล่องต่างๆ ต้องมีฝาปิด หรือรั้วกั้นความสูงไม่น้อยกว่า 90 เซนติเมตร
4. ทำงานบนที่ลาดชันเกิน 15 องศา ต้องมีการติดตั้งนั่งร้าน
5. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้บนที่สูง ต้องมีการผูกยึด ไม่ให้ตกลงมาด้านล่าง
6. การใช้บันไดแบบเคลื่อนย้ายได้ มุมบันไดที่อยู่ตรงข้ามกับผนังที่พิง จะต้องวางทำมุม 75 องศา
7. การใช้รถเครน ต้องมีแผ่นเหล็กรองขาช้าง เพื่อป้องกันการวางไม่ได้ระนาบหรืออ่อนตัว ซึ่งคนขับรถเครนและผู้ให้สัญญาณต้องผ่านการอบรม และรถเครนต้องผ่านการตรวจสอบจากเจ้าหน้าที่บำรุงรักษาที่เกี่ยวข้อง ก่อนนำเข้าใช้งานในเขตหวงห้ามทุกครั้ง

นอกจากหลักความปลอดภัยในการทำงานบนที่สูงแล้ว ยังมีกฎเกณฑ์ต่างๆ ในการทำงานบนที่สูง ทั้งขั้นตอนก่อนเริ่มทำงาน ขั้นตอนการปีนขึ้นที่สูง และกฎในการทำงานบนที่สูง มาดูกันดีกว่าว่ามีอะไรบ้าง

กฎพื้นฐาน (ก่อนการทำงานบนที่สูง)

1. ผู้ปฏิบัติงานต้องเป็นผู้ได้รับมอบหมายและมีคุณสมบัติในการทำงานบนที่สูง
2. สวมใส่เครื่องแต่งกายให้รัดกุมและเรียบร้อย
3. เลือกจุดยึดที่แข็งแรงสามารถรองรับแรงกระแทกเมื่อเกิดการตกได้
4. สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลขณะทำงานเสมอ ได้แก่ ถุงมือที่ปราศจากน้ำมัน รองเท้านิรภัย เข็มขัดนิรภัยชนิดเต็มตัว (Full body harness) และสายช่วยชีวิต (Lanyard, SRL) เป็นต้น

5. เตรียมแผนการช่วยเหลือ และอุปกรณ์ช่วยเหลือ เช่น Tripod และ Winch เป็นต้น

กฎการขึ้นที่สูง

1. การขึ้นหรือลงบันไดแนวตั้ง ให้ขึ้นลงทีละคน
2. บันไดจะต้องถูกจับยึดให้แน่นและมั่นคง
3. ขณะขึ้นหรือลงบันได ให้จับขอบบันไดด้วยมือ 2 ข้าง และก้าวขึ้นลงด้วยความเร็วปกติ
4. ห้ามถือเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ใดๆ ขณะปีนขึ้นลงบันได หากมีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่จำเป็นในการใช้งาน ให้พกพาโดยการใส่ไว้ในกระเป๋าที่ติดกับเข็มขัดเท่านั้น

หลักการใช้บันไดพาดอย่างปลอดภัย

ในงานหลายๆ งานจำเป็นต้องใช้บันไดพาด ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องรู้หลักในการใช้บันไดพาดให้ปลอดภัย เนื่องจากขั้นตอนการปีนขึ้นที่สูง ก็สามารถก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้เช่นกัน

1. การเลือกประเภทของบันได ต้องเป็นบันไดที่รองรับน้ำหนักผู้ปฏิบัติงานและงานได้ มีความยาวพอเหมาะ หากทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า วัสดุที่ใช้ทำบันไดต้องเป็นฉนวนไฟฟ้า
2. ตรวจสภาพก่อนใช้งาน โดยตัวบันไดต้องไม่ชำรุด
3. บันไดที่มีความยาวไม่เกิน 5 เมตรสามารถยกเคลื่อนย้ายด้วยคนคนเดียวได้ โดยใช้วิธีพาดกับไหล่แนวนอน ปลายด้านหน้ายาว 2 เมตร ส่วนแขนอีกข้างคอยพยุงควบคุมทิศทาง
4. การปีนบันได ต้องใช้บันไดที่แข็งแรง วางบันไดบนฐานที่มั่นคง ไม่ลื่น และวางให้ทำมุมประมาณ 75 องศา
5. การทำงานบนบันได งานที่ทำจะต้องห่างจากบันไดขั้นบนไม่เกิน 1 เมตร หากทำงานในที่สูงตามเกณฑ์ต้องใส่เข็มขัดนิรภัย
6. ห้ามดัดแปลงนำบันไดไปใช้งานอย่างอื่น เช่น พาดทำเป็นทางเดินระหว่างตึก และห้ามนั่งทำงานบนบันได

กฎการทำงานบนที่สูง

1. ห้ามทำงานบนที่สูงเพียงลำพังคนเดียว
2. ห้ามเคลื่อนไหวตัวรวดเร็ว เมื่อทำงานสูงกว่าพื้นดินเกิน 2 เมตร
3. ห้ามโยนสิ่งของหรือเครื่องมือให้แก่ผู้อยู่บนที่สูง
4. ห้ามทิ้งสิ่งของหรือเครื่องมือลงสู่เบื้องล่าง
5. การตัด การเชื่อมบนที่สูง ให้ตรวจสอบและเคลื่อนย้ายเชื้อเพลิง และสารไวไฟทุกชนิดในพื้นที่เบื้องล่างก่อน รวมถึงขณะตัดหรือเชื่อม ให้ทำด้วยความระมัดระวัง
6. ผู้ควบคุมงานต้องดูแลไม่ให้ใครเดินผ่านเบื้องล่างจุดทำงาน
7. ระวังขอยกหรือ Hanger ชน เมื่อจำเป็นต้องทำงานในเส้นทางของขอยก
8. ขณะยืนบนหลังคากระเบื้อง ห้ามเหยียบที่แผ่นกระเบื้องโดยตรง

4.6 การใช้บันไดอย่างปลอดภัย

การทำงานบนบันได ไม่ควรทำงานบนบันไดเป็นระยะเวลายาวนานติดกันเกินกว่า 30 นาที เพราะอาจก่อให้เกิดอาการล้าได้ สำหรับบันไดพาดนั้นควรรักษาตำแหน่งสัมผัสบันไดให้ได้ครบ 3 จุด (3 Points of Contact) เสมอในขณะทำงาน คือ เท้า 2 ข้างเหยียบขั้นบันได และใช้มือ 1 ข้างจับขั้นบันไดไว้ ไม่ควรยืนอยู่

บนขั้นบันไดสูงเกินกว่าขั้นที่ 3 นับจากบนสุดลงมา เพราะจะไม่มีที่พิงตัวและอาจเสียสมดุลหรือเสียการทรงตัวได้

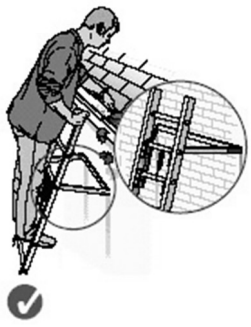
วิธีที่ถูกต้อง คือ รักษาตำแหน่งสัมผัสบันไดให้ครบ 3 จุด ไว้เสมอเพื่อความปลอดภัย

ไม่ได้รักษาตำแหน่งสัมผัสบันได 3 จุดไว้ อาจทำให้เสียการทรงตัวได้

นอกจากนี้ยังไม่ควรทำงานในลักษณะที่ต้องมีการเหยียดตัว หรือเหยียดแขนขามากเกินไป จนทำให้เสียการทรงตัว โดยพยายามให้ตำแหน่งหัวเข็มขัดอยู่ในขอบเขตระหว่างราวบันไดทั้งสองข้าง เพื่อป้องกันไม่ให้เสียการทรงตัว

ในบางกรณี ที่ต้องทำงานใกล้ตำแหน่งจุดปลายบนสุดของบันได หรือพบว่าจุดวางพาดด้านบนไม่แข็งแรง อาจมีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ค้ำยันให้ปลายบันไดถอยห่างจากผนังด้านบน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้นในระหว่างการทำงาน

เสียการทรงตัว เนื่องจากไม่ได้รักษาตำแหน่งสัมผัสบันได 3 จุด ไว้ และเหยียดตัว แขนขามากเกินไป จนอาจเกิดอันตรายได้



ใช้อุปกรณ์ค้ำยันให้ปลายบันไดถอยห่างจากผนังด้านบน

ส่วนการทำงานบนบันไดแบบ A–frame นั้น ก็เช่นเดียวกับบันไดพาด คือ ผู้ใช้งานต้องตั้งบันไดโดยหันหน้าเข้าหากิจกรรมหรืองานที่ทำ รวมทั้งตัวผู้ใช้งานด้วย เพื่อที่จะสามารถทรงตัวให้สมดุลได้ดีกว่าหันข้างเข้า โดยเฉพาะงานที่ต้องใช้แรงมาก เช่น การใช้สว่านเจาะผนังแข็ง เป็นต้น และไม่ควรวางอุปกรณ์ สิ่งของ เครื่องมือบนขั้นบันไดหรือแป้นเหยียบ เพราะอาจเผลอไปเหยียบแล้วเสียการทรงตัว หรืออาจร่วงหล่นใส่คนที่อยู่ข้างล่างทำให้บาดเจ็บได้

ทั้งบันไดและผู้ใช้งานหันหน้าเข้าหางานที่ทำ เพื่อรักษาความสมดุลและการทรงตัว

การหันข้างทำงาน ซึ่งใช้แรงมาก อาจทำให้เสียการทรงตัวได้

การทำงานบนบันไดแบบ A–frame ไม่ควรที่จะยืนเหยียบบนขั้นบันไดสูงเกินกว่าขั้นที่ 3 นับจากขั้นบนสุดลงมา เพราะอาจทำให้เสียสมดุลหรือการทรงตัวและตกจากบันไดได้

ไม่ควรยืนเหยียบบนขั้นบันไดสูงเกินกว่าขั้นที่ 3 นับจากขั้นบนสุด

การยืนทำงานบนขั้นบันไดสูงสุดโดยไม่มีที่จับ ทำให้มีโอกาสเสียการทรงตัวและตกจากบันไดได้ง่าย

การใช้บันไดพับเก็บได้อย่างปลอดภัย

บันไดพาดเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่มีการใช้ในสถานประกอบกิจการแทบทุกประเภท เช่น ในอุตสาหกรรมที่มีการติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่จะต้องทำงานในระดับสูง ซึ่งคนงานจะต้องไต่บันไดขึ้นไปทำงานในงานซ่อมสร้างที่สูง งานเก็บขนย้ายวัสดุที่วางไว้ในที่สูง เป็นต้น

บันไดพาดมีกี่ประเภท

เหมาะสมสำหรับน้ำหนักงานมากสามารถรับน้ำหนักผู้ใช้บันไดและอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ที่นำขึ้นไปด้วยได้ถึง 113.4 กิโลกรัม

เหมาะสำหรับใช้ในงานทาสีและงานที่รับน้ำหนักปานกลาง สามารถรับน้ำหนักผู้ใช้บันไดและวัสดุอุปกรณ์ที่นำขึ้นไปด้วยได้ไม่เกิน 102 กิโลกรัม

เหมาะสำหรับงานเบา สามารถรับน้ำหนักได้ไม่เกิน 90.7 กิโลกรัม

ใช้บันไดพาดให้ปลอดภัย ทำอย่างไร

ต้องเลือกบันไดที่สามารถรับน้ำหนักของคนและงานที่นำขึ้นไปด้วย มีขนาดความยาวพอเหมาะสามารถทำงานได้อย่างสบาย หากทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า ต้องเลือกบันไดที่ทำด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า

บันไดที่นำไปใช้ต้องมีสภาพแข็งแรง ราวจับ ขั้นบันได และอื่นๆ ต้องอยู่ในสภาพดี ส่วนยึดล็อคเมื่อขยายบันไดให้ยาวขึ้นสามารถยึดได้มั่นคง ขั้นบันไดไม่ลื่น เป็นต้น

บันไดที่พับได้ควรพับให้สั้นที่สุดก่อนยกหรือเคลื่อนย้ายทุกครั้ง บันไดที่มีความยาวขนาด 5 เมตรหรือน้อยกว่า สามารถใช้คนยกคนเดียวโดยพาดบันไดกับไหล่ตามแนวนอน โดยปรับให้ปลายด้านหน้าเอียงสูงจากพื้นประมาณ 2 เมตร ส่วนแขนอีกข้างหนึ่งคอยพยุงและควบคุมทิศทาง และช่วยปรับบันไดให้มีความสมดุล หากต้องเคลื่อนย้ายบันไดที่ยาวเกินกว่า 5 เมตร ต้องใช้คนงาน 2 คน โดยยกปลายแต่ละด้าน คนสูงควรวางบันไดบนฐานที่มั่นคง ไม่ลื่นและวางให้ทำมุม 68-75 องศา หรือให้มีความชันของการพาด โดยวัดจากระยะแนวราบระหว่างบันไดกับกำแพงที่พาดให้อยู่ในช่วงหนึ่งในสี่ถึงสามในแปดของความยาวของบันไดที่ใช้งานอยู่ขณะนั้น และหากพาดบันไดกับหลังคาหรือยกพื้นต่างๆ ให้ปลายอยู่สูงจากขอบหลังคาหรือยกพื้นนั้นอย่างน้อย 3 ฟุต

พื้นที่โดยรอบของฐานบันไดต้องมั่นคง ปราศจากสิ่งกีดขวางต่างๆ ถ้าเป็นทางผ่าน ทางสัญจร ควรกั้นอาณาเขตและติดป้ายบอก “ห้ามชน” ถ้าพาดบันไดที่หน้าประตูให้ล็อคประตู ห้ามเปิดขณะที่ต้องทำงานในอุโมงค์หรือในเนื้อที่จำกัด ควรมีเนื้อที่เหลือตามแนวขนานกับบันไดอย่างน้อย 1 เมตร และจุดที่รองรับการพาดของบันไดต้องแนบสนิท มีที่ล็อคมั่นคง ไม่ทำให้บันไดเคลื่อนที่

ขณะขึ้นหรือลงบันได ควรหันหน้าเข้าหาบันไดและระหว่างการปีนมือควรจับอยู่ที่ขั้นบันได ถ้าเท้าซ้ายปีนขึ้นมือซ้ายต้องเลื่อนขึ้นพร้อมกัน และหากเท้าขวาปีนขึ้นมือขวาก็ขยับจับขั้นบันไดที่สูงขึ้นพร้อมกันเช่นกัน อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ควรมีที่ใส่ เช่น กระเป๋าสะพาย หรือกระเป๋าด้านหน้าของเสื้อ (คล้ายจิงโจ้มีถุงหน้าท้อง) ขณะปีนมือทั้ง 2 ข้างต้องว่างไม่ถืออะไรเลย ให้ใช้มือเฉพาะในการเกาะขณะปีนบันไดเท่านั้น อุปกรณ์เครื่องมือหนักๆควรใช้วิธีการชักรอก

งานที่ทำไม่ควรอยู่ห่างจากขั้นบันไดขึ้นสูงสุดเกินกว่า 1 เมตร บันไดต้องอยู่ในตำแหน่งที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานได้โดยสะดวก ทำให้ไม่ต้องยื่นตัวไปทำงานที่อยู่ไกล เพราะอาจเกิดอันตรายได้และผู้ทำงานในที่สูงให้คาดเข็มขัดนิรภัยด้วย

การบำรุงรักษา

- เมื่อเลิกใช้ไม่ควรเก็บในที่ใกล้แสงสว่าง ความชื้น สารเคมี และสถานที่ค่อนข้างร้อน เช่น เตาเผา ท่อไอน้ำ และบริเวณที่ใกล้เครื่องจักรกลต่างๆ เป็นต้น ให้เก็บบนชั้นหรือสถานที่เก็บโดยเฉพาะ ควรมีที่ยึดบันไดป้องกันการล้ม ไม่เก็บปะปนกับวัสดุอุปกรณ์อื่นๆ และสถานที่เก็บควรเข้าออกได้โดยเฉพาะ
- ควรตรวจสอบทุกครั้งก่อนและหลังการใช้ เมื่อตรวจพบว่ามีการชำรุดต้องรีบส่งซ่อมทุกครั้ง ควรทำป้ายแขวนติดให้เห็นชัดเจนว่าชำรุด ห้ามใช้หรือหากชำรุดใช้งานไม่ได้ให้ทำลายเพื่อป้องกันการนำกลับมาใช้อีก

- การตรวจสอบบันได ควรทำเป็นประจำทุก 3 เดือน, 6 เดือน หรือ 1 ปี ขึ้นอยู่กับลักษณะงานว่าต้องเกี่ยวข้องกับอันตรายหรือสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตรายมากน้อยเพียงใด การตรวจสอบควรทำรายงานหรือบันทึก รวมทั้งประวัติการซ่อมแซมบันได เพื่อการพิจารณาการใช้บันไดอย่างปลอดภัย

ข้อห้ามในการใช้บันไดพาด

- ห้ามใช้บันไดในขณะเดียวกันมากกว่า 1 คน ถ้าบันไดนั้นไม่ได้ออกแบบพิเศษในการรับน้ำหนักเพิ่ม
- ห้ามดัดแปลงนำบันไดไปใช้ในงานลักษณะอื่นๆ เช่น ใช้บันไดพาดเป็นทางเดินระหว่างตึก
- ห้ามนั่งทำงานบนขั้นบันได
- ไม่ควรหันหลังให้กับบันไดขณะขึ้นลง
- ห้ามนำบันไดชำรุดมาใช้งาน
- ห้ามใช้บันไดโลหะในงานที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้า

บรรณานุกรม

[1] ปางค์เพ็ญ เหลืองเอกทิน “อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล”: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม: พฤษภาคม 2559.

5. Fiber Optic Cable Installation

5.1 การสำรวจเพื่อการติดตั้ง

5.1.1 ผู้ติดตั้งต้องทำการสำรวจเส้นทางที่ต้องทำการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงทั้งหมดก่อนการติดตั้ง โดยต้องจัดทำรายละเอียดของเส้นทางในการจัดการติดตั้งสายเคเบิล การรื้อถอนสายเคเบิล (เดิม) รวมทั้งรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ในรูปแบบของไฟล์ Auto CAD ของระบบที่ออกแบบ (Detail Design Drawing)

5.1.2 ต้องทำการเสนอแบบที่ได้จากการสำรวจโดยต้องแสดงประมาณการจำนวนอุปกรณ์ ต้องใช้อย่างน้อยดังนี้

5.1.2.1 ระยะสายเคเบิลที่ต้องใช้ จำนวนและตำแหน่งจุดตัดต่อ (Closure) จำนวนและจุดที่ต้องทำการติดตั้งไม้คอนสายเพิ่มเติม จำนวนและจุดที่ต้องมีการติดตั้งเสาเพิ่มเติม และจำนวนจุดของงานด้านโยธาทั้งหมด

5.1.2.2 Typical Drawing ของแนวการติดตั้งสายและแสดงจุดตัดต่อ (Closure) และงานโยธาที่ต้องมีการทำเพิ่ม เพื่อพิจารณาอนุมัติการติดตั้ง

5.1.3 ผู้ติดตั้งต้องพิจารณาและประเมินปัญหาและอุปสรรคทั้งหมดเพื่อแจ้งต่อ Inspector เพื่อรับรู้และหาทางแก้ปัญหาก่อนการติดตั้ง

5.1.4 ผู้ติดตั้งต้องคำนวณและจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้งานทั้งหมดก่อนการติดตั้งให้ครบถ้วนเพื่อให้การติดตั้งเป็นไปอย่างถูกต้องและเป็นไปตามระยะเวลาที่กำหนด

5.1.5 หลังได้รับอนุญาตและดำเนินการติดตั้งเรียบร้อยตามข้อกำหนด ผู้ติดตั้งจะต้องแก้ไขแบบให้ถูกต้อง ตรงกับการติดตั้งจริงที่แสดงรายละเอียดของเส้นทางในการติดตั้งสายเคเบิลพร้อมระบุตำแหน่ง พิกัดจุดที่สร้างท่อร้อยสาย หัวต่อ (Closure) และบ่อพัก รวมทั้งรายละเอียดการติดตั้งวัสดุอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ตามที่ได้ดำเนินการจริง (As-built Drawing) ในมาตราส่วนมองเห็นชัดเจนในขนาดกระดาษ A3 และในรูปแบบ Digital File Format (Auto CAD)

5.2 งานติดตั้งสายเคเบิลอากาศ (Aerial Installation)

การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วที่ติดตั้งเป็นแบบแขวนอากาศ (Aerial Installation) โดยแขวนไปกับเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ ที่ระดับความสูงตามข้อตกลงในการใช้เสาไฟฟ้าสำหรับพาดสายสื่อสารโทรคมนาคม

ระหว่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกับ กสท ช่วงใดที่ไม่มีเสาเดิมอยู่ให้ปักเสาเพิ่มเติม ยกเว้นช่วงที่ต้องข้ามถนนหรือทางรถไฟให้ติดตั้งแบบใต้ดิน (Underground Installation) ให้ใช้วิธีร้อยในท่อใต้ดิน โดยการสร้างท่อและบ่อพักตามรูปแบบมาตรฐานงานโยธา (Civil) และในการติดตั้งหากมีความเกี่ยวข้องกับหน่วยงานราชการหรือรัฐวิสาหกิจหรือเอกชนใดๆ จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของหน่วยงานนั้นๆ อย่างเคร่งครัด

5.2.1 การปักเสาคอนกรีต (Concrete Poles)

5.2.1.1 ตำแหน่งของเสาคอนกรีตจะต้องไม่กีดขวางการจราจร และอยู่ในแนวเดียวกับเสาไฟฟ้า

5.2.1.2 เสาคอนกรีตจะต้องไม่มีรอยแตกหรือรอยร้าว

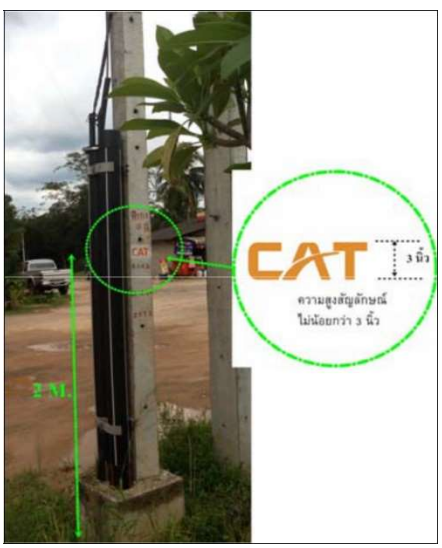
5.2.1.3 เสาคอนกรีต เมื่อติดตั้งยึดสายเคเบิลแล้วจะต้องไม่เอียง

5.2.1.4 ความลึกของเสาที่ปักจะต้องให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ตามตาราง

ความสูงของเสา (เมตร)	ความลึกในดิน (เมตร)
8.00	1.50
9.00	1.50
10.00	1.50
12.00	2.00

5.2.1.5 ต้องถมทรายที่โคนเสาแทนดินที่ขุดขึ้นมา และเทปูนรอบโคนเสาห่างจากผนังเสาด้านละไม่น้อยกว่า 30 ซม. หากพื้นเดิมเป็นปูนซีเมนต์หรือทางเท้า

5.2.1.6 ที่เสาจะต้องพ่นพื้นสีขาวและพ่นสัญลักษณ์ CAT สีส้มอยู่หน้าเสา (ด้านที่หันออกถนน) สูงจากพื้น 2 เมตร



รูปแสดงเสาคอนกรีตและการพ่นสัญลักษณ์

5.2.1.7 การปักเสาคอนกรีตต้องให้ห่างจากเสาไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 3 เมตร

5.2.1.8 เสาจะต้องไม่ติดสายไฟฟ้า (ถ้าติดให้พันสายไฟด้วย Cable Guard)

5.2.1.9 ห้ามปักเสาอยู่ในพื้นที่ส่วนบุคคล (ยกเว้นได้รับอนุญาตจากเจ้าของพื้นที่เป็นลายลักษณ์อักษร)

5.2.1.10 ทำความสะอาดบริเวณที่ทำการปักเสา เช่น เศษดิน หิน ปูน ทราย ไม้ ฯลฯ

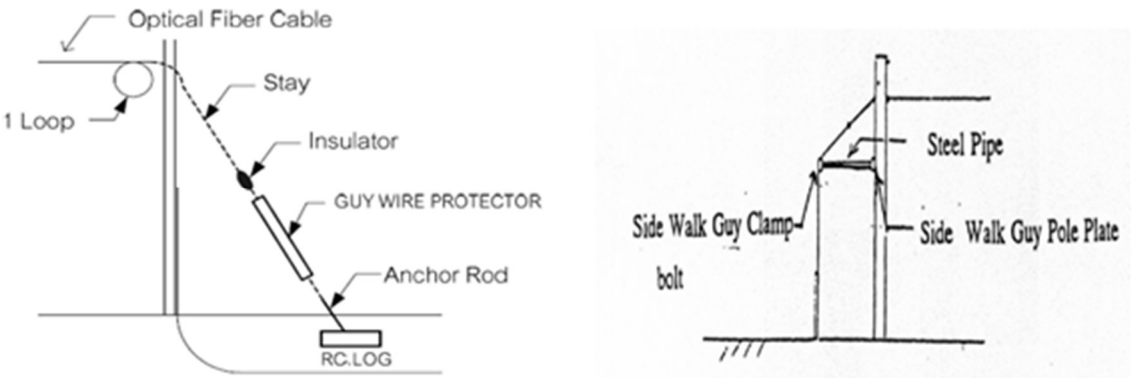
5.2.2 การติดตั้งค้ำยัน (Stays หรือ Guy)

5.2.2.1 สาย Guy จะต้องตึงและแน่นหนาได้ขนาดและตรงตามชนิดที่กำหนดในแบบ

5.2.2.2 หากพื้นที่เป็นทางเท้าหรือชุมชน จะต้องติดตั้ง Guy Protectors และพ่นสีขาว-แดงสลับกันทุกๆ 30 ซม.

5.2.2.3 Anchor Rod, RC Log จะต้องฝังลงดินไม่น้อยกว่า 1 เมตร

5.2.2.4 กรณีสายข้ามถนนที่มีระยะทางมากกว่า 40 เมตร จะต้องลง Guy ด้านหลังเสาทั้ง 2 ข้าง



รูปแสดงการติดตั้ง LEAD GUY และ SIDE WALK GUY

5.2.3 การติดตั้งไม้คอนสาย (Cross Arm)

5.2.3.1 ใช้ไม้ที่มีขนาดประมาณ 4 นิ้ว x 4 นิ้ว x 1.5 ม.

5.2.3.2 ไม้ที่ใช้จะต้องเป็นไม้เนื้อแข็งทนทาน ไม่บิดงอและไม่มีรอยร้าว

5.2.3.3 อุปกรณ์ยึดมีครบเช่น Bolts, Braces, Nuts

5.2.3.4 ต้องไม่ล้ำที่ส่วนบุคคล (ยกเว้นได้รับอนุญาตจากเจ้าของสถานที่เป็นลายลักษณ์อักษร)

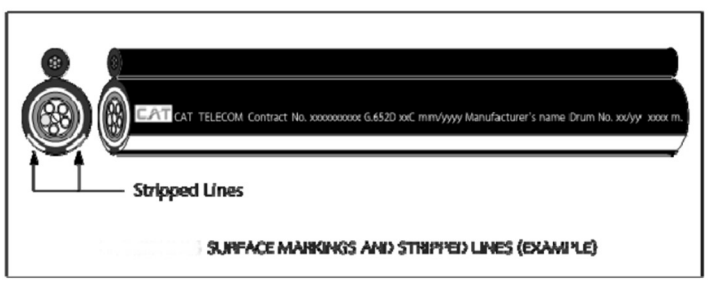
5.2.3.5 การติดตั้งจะต้องไม่เอียงและตำแหน่งที่ติดตั้งควรต่ำกว่าสายไฟฟ้าแรงต่ำหรือโคมไฟอย่างน้อย 30 ซม.

5.2.3.6 จะต้องพ่นพื้นสีขาว และพ่นสัญลักษณ์ CAT สีส้ม ขนาดตัวอักษรความสูงไม่น้อยกว่า 3 นิ้ว ไว้ที่มุมของ Cross Arm ด้านที่หันออกถนนทั้ง 2 ข้าง และมองเห็นได้ชัดเจน หากใช้ไม้คอนสายที่มีอยู่เดิมซึ่งมีสภาพที่สามารถใช้การได้ดี ให้พาดสายเคเบิลกับไม้คอนสายนั้น ถ้าไม้คอนสายเดิมชำรุดหรือไม่แข็งแรง ผู้ติดตั้งสายจะต้องเปลี่ยนไม้คอนสายใหม่ พร้อมอุปกรณ์ประกอบการติดตั้งและทำสัญลักษณ์ CAT ใหม่ให้ชัดเจน

รูปแสดงการติดตั้งไม้คอนสาย

5.2.4 การพาดสายเคเบิลใยแก้ว

ผู้ติดตั้งจะต้องพาดสายเคเบิลที่มีสัญลักษณ์ต่างๆตามข้อกำหนดของ กสท โดยมีชื่อและสัญลักษณ์ของ CAT ขนาดและชนิดของเคเบิล Length marking วันเดือนปีที่ผลิต และชื่อโครงการพร้อมชื่อผู้ผลิตสายเคเบิล



รูปแสดงรายละเอียดที่ต้องมีบนสายเคเบิล

5.2.4.1 ในการพาดสาย สายเคเบิลต้องได้รับการปฏิบัติอย่างระมัดระวัง จะต้องไม่ถูกลากกับพื้นโดยตรง สายเคเบิลจะถูกนำออกจากม้วนก็ต่อเมื่ออยู่ในสถานที่เหมาะสมกับการพาดสายเท่านั้น

5.2.4.2 การพาดสายเคเบิลสามารถทำได้สองวิธี คือ วิธีให้ม้วนสายอยู่กับที่ และวิธีให้ม้วนสายเคลื่อนที่ โดยทั้งนี้ต้องเลือกใช้ตามความเหมาะสมของชนิดของสาย สภาพแวดล้อม และข้อแนะนำของผู้ผลิต แนวการพาดสายบนเสาไฟฟ้า จะต้องไม่กีดขวางแนวทางการพาดสายหรือตู้พักสายของหน่วยงานอื่น

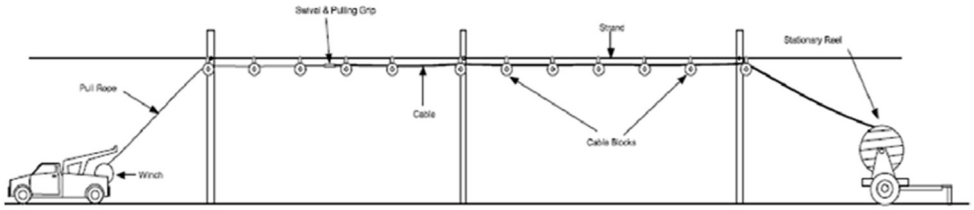


Figure - The Stationary Reel Method of Cable Placement

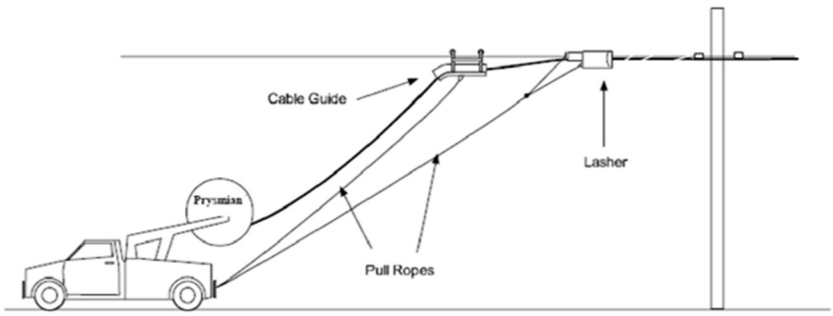
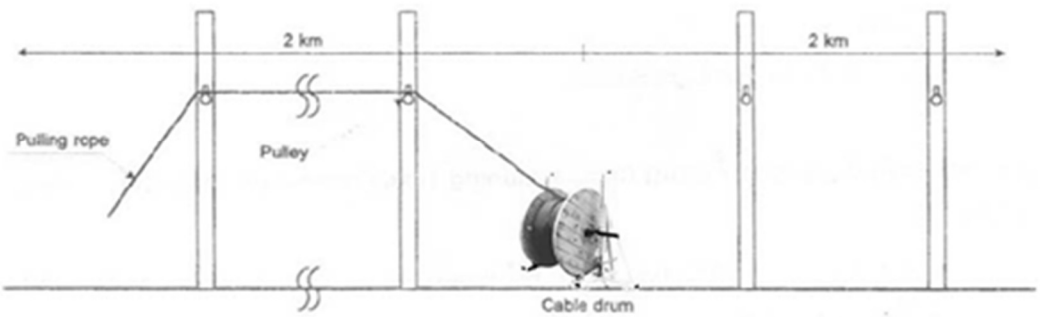
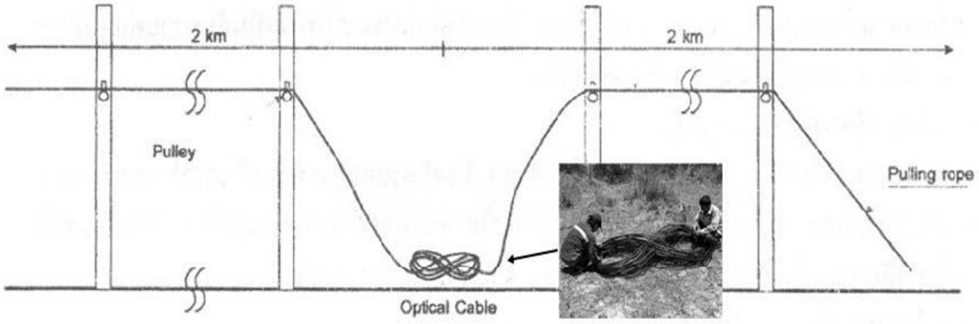


Figure - Setup for Moving Reel Method

5.2.4.3 การติดตั้งสายเคเบิลที่มีความยาว 4,000 เมตรต่อ Drum ควรแบ่งการพาดสายออกเป็น 2 ช่วงเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสายเคเบิล (Back Feed Method) โดยการวาง Drum เคเบิลไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของระยะทางช่วงนั้นๆ เพื่อจะพาดสายเคเบิลไปเป็นระยะทางครั้งละครึ่งหนึ่งของความยาว โดยปลายสายเคเบิลพาดไปกับรอกจากตำแหน่งที่วาง Drum ไปจนถึงต้นทาง หลังจากนั้นให้คลี่สายเคเบิลที่เหลืออยู่ใน Drum อีกครึ่งหนึ่งออก ขดเป็นเลขแปด (Figure 8) ซ้อนกันไว้แล้วเริ่มพาดสายเคเบิลไปอีกทางหนึ่งจนสุดระยะทาง ในระหว่างการติดตั้ง เคเบิลต้องไม่ถูกดัดหรือหักงอด้วยรัศมีที่น้อยกว่า 20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางนอกสุดของเคเบิล

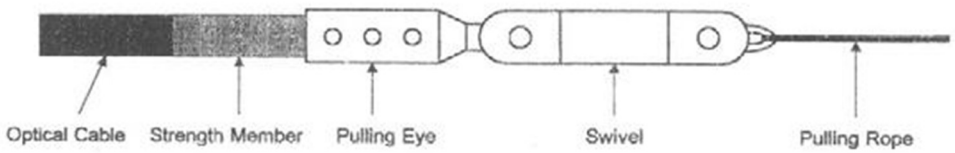


รูปแสดงการพาดสายที่ครึ่งช่วงระยะความยาวสาย



รูปแสดงการพาดสายที่ครึ่งช่วงระยะความยาวสายที่เหลือ

5.2.4.4 ในการดึงสาย ต้องใช้อุปกรณ์จับยึดที่เหมาะสม (Pulling Grip) และใช้รอกช่วยในการประคองสาย และไม่อนุญาตให้ทำการดึงเกินแรงดึงสูงสุดของสายเคเบิล และไม่อนุญาตให้มีการดึงโดยมีการผ่านโค้ง 90 องศา เกิน 4 จุด



รูปแสดงการจับยึดสายด้วย Pulling Grip

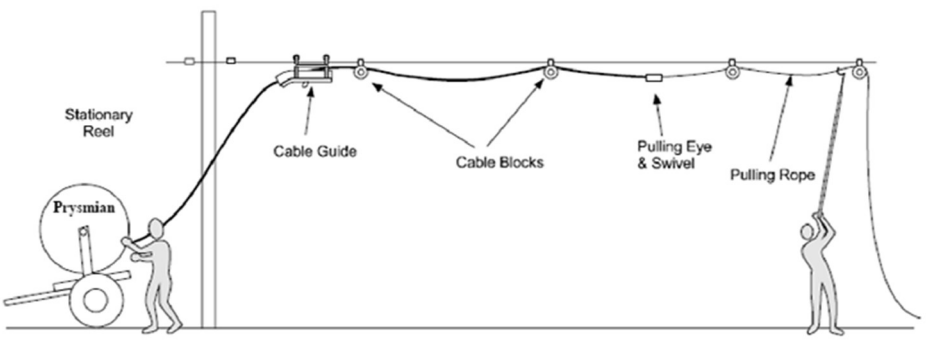
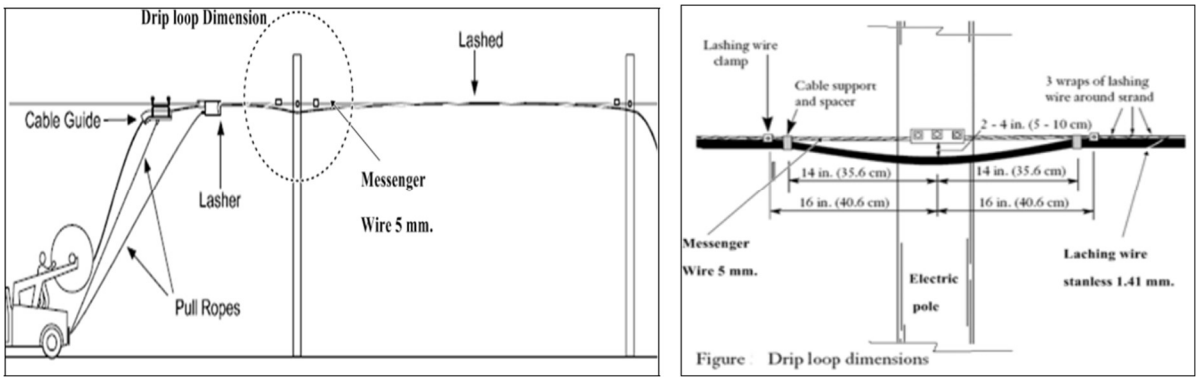


Figure - Setup for Stationary Reel Method

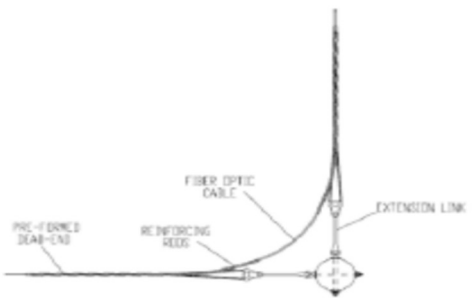
รูปแสดงการพาดสายเคเบิลโดยมีรอก ช่วยประคอง

5.2.4.5 ในกรณีที่พาดสายเคเบิลชนิด AP ให้ใช้สาย Messenger Wire ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 5 มม. (4 AWG) และใช้ Lashing Wire ชนิดแสตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 1.41 มม.

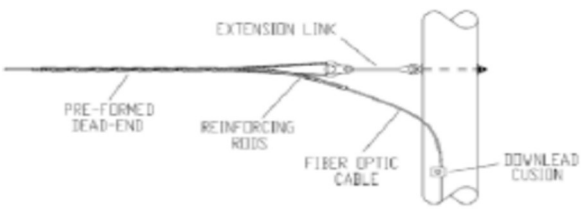


รูปแสดงการติดตั้งสายแบบ AP (Lashing Cable)

5.2.4.6 ในการพาดสายต้องรักษาความตึงของสาย Strand หรือ Messenger Wire ให้ตึงตามข้อแนะนำของโรงงาน ทั้งนี้ระยะ Span และ Sag ต้องไม่เกินค่าที่โรงงงานกำหนด ทั้งนี้ โดยทั่วไป Sag จะไม่เกิน 1% ของ Span



ตัวอย่างลักษณะการยึดสายหักมุม 90 องศา



ตัวอย่างลักษณะการยึด Clamp เพื่อนำสายลง

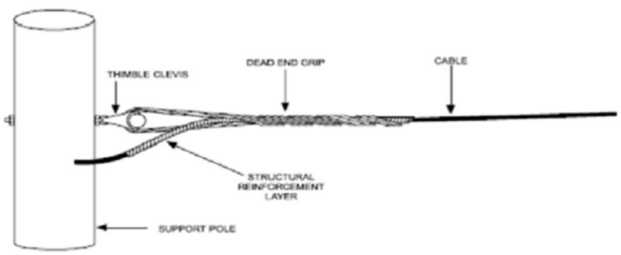


Figure -Deadend Assembly

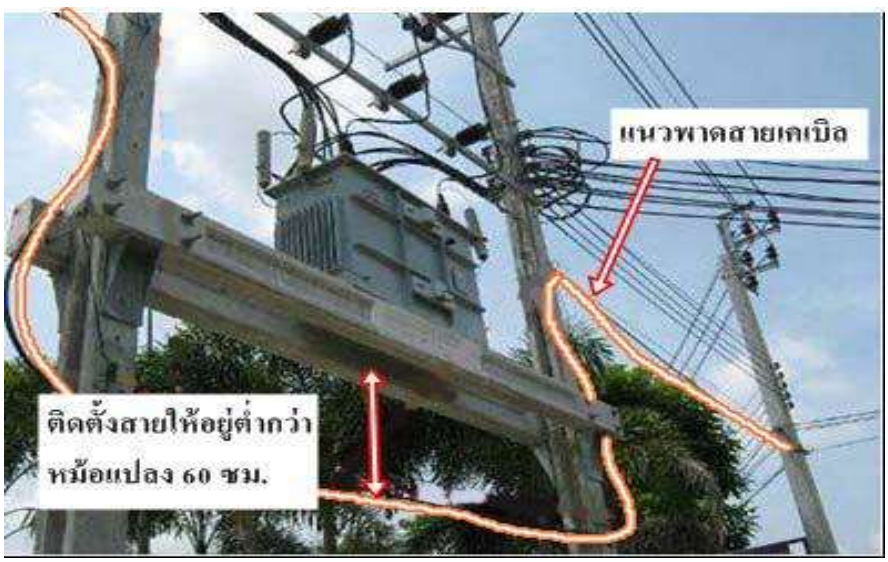
รูปแสดงการติดตั้งสายแบบใช้ Preform Deadend

5.2.4.7 ในการติดตั้ง ให้เลือกใช้อุปกรณ์ในการยึดสายเคเบิลให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และต้องยึดสายเคเบิลให้มีความมั่นคง ทั้งนี้สายเคเบิลใยแก้วต้องไม่ถูกบีบหรือกดทับจากอุปกรณ์หรือสิ่งอื่นๆ

5.2.4.8 การยึดสายต้องให้รักษาสายเคเบิลให้อยู่ในลักษณะตรงให้มากที่สุด หากมีความจำเป็น เช่นต้องมีการอ้อมเสา เลี้ยวโค้ง ยกขึ้น ลดระดับ หรืออ้อมหม้อแปลง ให้ทำโดยระมัดระวังและไม่ให้มีการดัดงอเกินค่าสูงสุดที่กำหนดไว้

5.2.4.9 ในกรณีพาดสายเคเบิลเสียดสีกับสิ่งกีดขวาง เช่นต้นไม้ป้ายโฆษณาหรือเสาไฟฟ้า ต้องใส่ Cable Guard

5.2.4.10 การพาดผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องลดระดับความสูงของสายเคเบิลให้ต่ำกว่าคานหม้อแปลงอย่างน้อย 60 ซม. เมื่อพ้นแนวหม้อแปลงแล้วให้ยกระดับสายเคเบิลมาที่ระดับเดิม และปักเสาขนาด 8 ม. รับสายเคเบิลทั้ง 2 ข้าง (สำหรับ กฟภ.) ทั้งนี้การโค้งงอทุกจุดต้องไม่เกินค่ารัศมีการโค้งงอสูงสุดที่กำหนดไว้



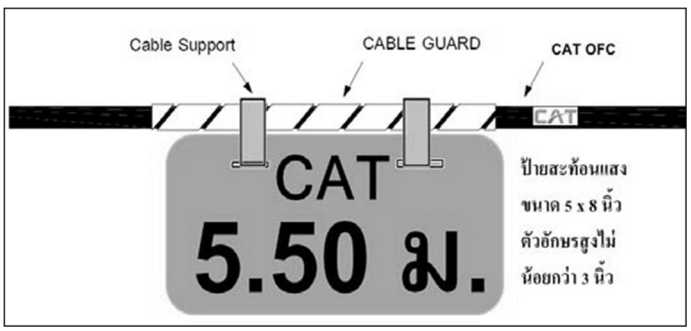
รูปแสดงการพาดสายเคเบิลผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า

5.2.4.11 สายเคเบิลที่พาดแล้วเสร็จจะต้องไม่บิดงอหรือมีรอยช้ำหรือรอยฉีกขาด

5.2.4.12 สายลวด Lashing Wire จะต้องไม่หย่อนหรือแตกออกจากสายเคเบิล

5.2.4.13 ระดับความสูงของการพาดสายเคเบิลบนเสาไฟฟ้า ควรสูงจากพื้นดินหรือทางเท้า 4.40-4.50 ม. หากเป็นเสาขนาด 22 ม. ให้พาดสายที่ระดับความสูง 4.40-4.75 ม. แต่ควรต่ำกว่าแนวสายไฟฟ้าแรงต่ำหรือโคมไฟอย่างน้อย 30 ซม. และหากพาดสายผ่านทางแยก ถนน ซอย หรือบริเวณที่มีรถใหญ่วิ่งผ่านจะต้องปักเสาเองและให้ยกขึ้นที่ระดับความสูง 5.50-5.90 ม. และสายที่พาดจะต้องไม่หย่อนหรือตึงจนเกินไป

5.2.4.14 จะต้องติดตั้งป้ายแสดงความสูงของสายเคเบิลใยแก้วที่พาดผ่านถนนที่มีความกว้างตั้งแต่ 6 เมตรขึ้นไป หรือถนนในเขตชุมชน ถ้าหากที่ระดับความสูงเดียวกันในบริเวณดังกล่าวไม่มีป้ายแสดงความสูงของสายเคเบิลอื่นใดติดตั้งอยู่ ผู้ติดตั้งต้องติดเครื่องหมาย หรือป้ายแสดงความสูงของสายเคเบิลใยแก้วผูกติดกับสายเคเบิลไว้ในช่วงกลางที่ผ่านถนนนั้นๆ โดยเขียนข้อความให้ชัดเจนด้วยสีสะท้อนแสง ขนาดตัวอักษร “CAT Y.YY ม” สูงไม่ต่ำกว่า 3 นิ้ว บนแผ่นอลูมิเนียมขนาดประมาณ 5 นิ้ว x 8 นิ้ว มองเห็นได้ชัดเจนทั้งสองด้าน โดย วัสดุที่ใช้ผูกต้องมีความทนทาน



รูปแสดงการติดตั้งป้ายบอกความสูงของสายเคเบิล

5.2.4.15 กรณีที่ต้องทำการพาดสายที่มีระยะ Span มากกว่า ระยะ Maximum Span โดยไม่มีทางเลือก ให้ปรึกษา Inspector ซึ่งอาจต้องพิจารณาให้ติดตั้งสาย Messenger เสริมตามความเหมาะสม

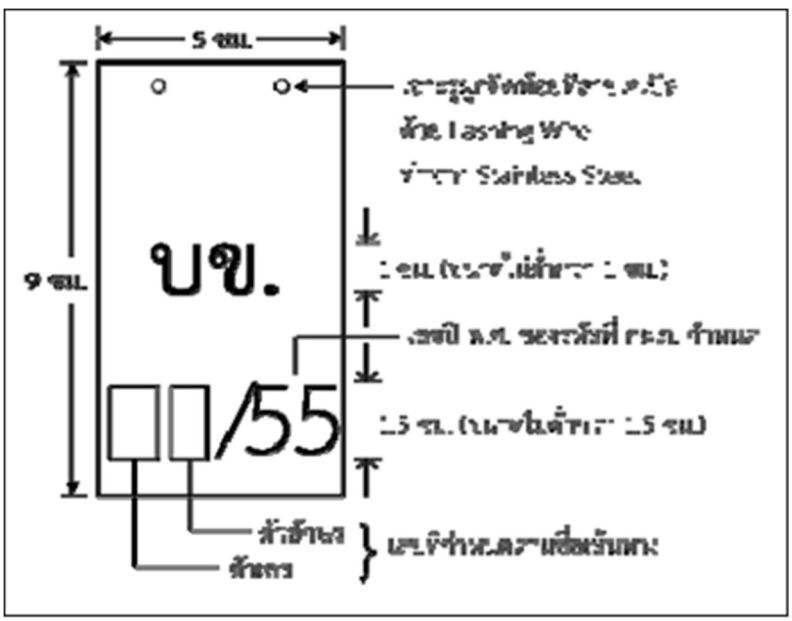
5.2.4.16 การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วลอดใต้ถนนหรือทางรถไฟให้ใช้ท่อร้อยสายเคเบิล โดยวิธี Horizontal Directional Drilling (HDD) และต่อเข้ากับบ่อพักและท่อ Riser ทั้งสองฝั่ง การวางท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินนี้หากไม่มีความจำเป็นต้องมีบ่อพัก ให้วางท่อต่อเข้ากับท่อ Riser โดยตรงได้ และการก่อสร้างงานทั้งหมดจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน และตามระเบียบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กรมทางหลวง การรถไฟแห่งประเทศไทย และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ส่วนการสร้างท่อร้อยสายเคเบิล บ่อพัก JUF-11 และท่อ Riser จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานงานโยธา ให้ร้อยท่อ Sub-Duct (Ductline) ทำด้วย HDPE สีดำขนาด Diameter 33 มม. จำนวน 3-4 ท่อทุกจุดที่มีการวางท่อ GSP หรือ PVC ขนาด 4 นิ้ว ภายใน Sub-Duct ต้องมีเชือกทำด้วย Nylon ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1 มม. ปลายท่อ Sub-Duct ต้องมีวัสดุปิดปลายท่อที่สามารถกันน้ำเข้าท่อได้

5.2.4.17 การติดตั้งเคเบิลเพื่อข้ามแม่น้ำที่กำหนดให้เป็นแบบร้อยท่อเกาะสะพาน (Bridge Crossing) ให้ติดตั้งท่อชนิด GSP หรือ PVC ขนาดไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว จำนวน 2 ท่อ ยึดติดกับโครงสร้างสะพานตลอดแนว พร้อมบ่อพักและ Riser ทั้ง 2 ด้านของเชิงสะพาน วิธีการยึดท่อชนิด GSP หรือ PVC เข้ากับโครงสร้างสะพานให้เป็นไปตามความเหมาะสมและเป็นวิธีที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกำหนดให้ร้อยท่อ Sub-Duct (Ductline) ทำด้วย HDPE สีดำขนาด Diameter 33 มม. จำนวน 3-4

ท่อ ทุกจุดที่มีการวางท่อ GSP หรือ PVC ขนาด 4 นิ้ว ภายใน Sub-Duct ต้องมีเชือกทำด้วย Nylon ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1 มม. และสามารถรับแรงดึง (Tensile Strength) ได้ไม่น้อยกว่า 130 นิวตัน หรือ 13.27 กิโลกรัม ปลายท่อ Sub-Duct ต้องมีวัสดุปิดปลายท่อซึ่งสามารถกันน้ำได้ บ่อพักที่ใช้ในการกำหนดเป็นแบบ JUF-11 ตามมาตรฐานงานโยธา

5.2.4.18 กรณีการติดตั้งเคเบิลใยแก้วกรณีเป็นเคเบิลใต้ดินบนทางเท้า ต้องร้อยเคเบิลภายในท่อโดยต้อง วางท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินจำนวน 2 ท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่าท่อละ 4 นิ้ว พร้อมบ่อพัก (JUF-11) ทุกระยะระหว่างบ่อพักต่อบ่อพักประมาณไม่เกิน 200 เมตร ท่อร้อยสายแต่ละท่อที่ใช้ต้องเป็นท่อโพลีเอทีลินแข็ง (HDPE)

5.2.4.19 สายเคเบิลสื่อสารที่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผู้ติดตั้งต้องติดตั้งแผ่นป้ายระบุรหัสตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดในแบบแผ่นป้ายแสดงสถานะฯ ตามรหัสแผ่นป้ายทำด้วยอลูมิเนียมหนาประมาณ 1 มม. ขนาด 5 x 9 ซม. สัญลักษณ์สีของแผ่นป้าย กสท กำหนดให้สีพื้นของแผ่นป้ายสีขาว สีตัวอักษรสีดำ ระยะการติดตั้งแผ่นป้ายโดยผูกแขวนกับสายเคเบิลส่วนที่พาดบนเสาไฟฟ้าที่ได้รับอนุญาต ดังนี้ในเมืองหรือเขตชุมชนนอกเมือง ให้ติดตั้งแผ่นป้ายที่จุดต้นทาง จุดปลายทางและทุก 1 กิโลเมตร สายแยกให้ติดตั้งที่จุดต้นทาง จุดปลายทาง และระยะต่อไปให้ติดแผ่นป้ายทุก 1 กิโลเมตร ติดตั้งบริเวณจุด Loop สาย ในระยะทางทุก 2 กิโลเมตร



รูปแสดงแผ่นป้ายแสดงสถานะและเงื่อนไขการขอรับอนุญาตจาก กฟภ.

5.2.5 การติดตั้งระบบสายดิน (Ground System)

5.2.5.1 ห้ามลง Ground ร่วมกับเสาที่มี Ground ของการไฟฟ้า

5.2.5.2 สายเคเบิลทั้งชนิด Self Support และ Fig.8 ที่เป็นแบบโลหะ (Metallic) จะต้องเชื่อมต่อ Messenger Wire เข้ากับสายดิน (Ground wire) ด้วย Ground Clamp ลงดินทุกๆ 250 ม.

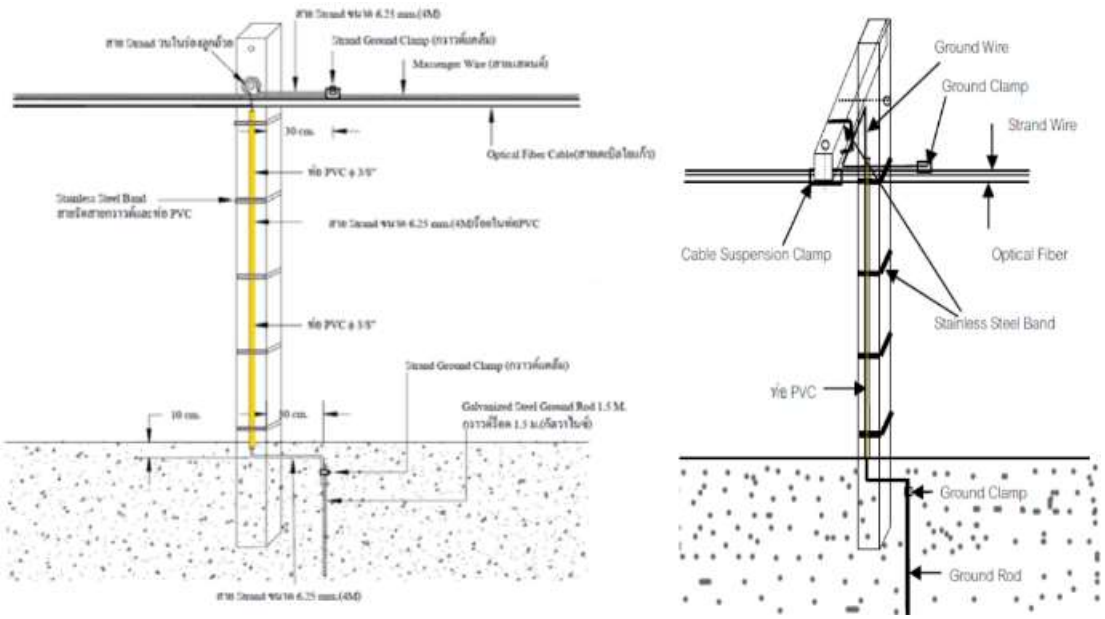
5.2.5.3 ต้องเชื่อมต่อ Messenger Wire ของสายเคเบิลลงสายดินก่อนที่จะเข้าอาคาร ห้ามไม่ให้ต่อร่วมกับระบบสายดินของอุปกรณ์หรือระบบไฟฟ้าของอาคาร ส่วน Armor ของสายเคเบิลที่ Terminate บริเวณ ODF ไม่ต้องต่อกับระบบสายดิน ให้ปล่อยลอยไว้และใช้เทปพันสายไฟอย่างดีพันให้เรียบร้อย

5.2.5.4 หากเป็นงานซ่อมบำรุงระยะทางไม่เกิน 200 ม. ให้ต่อเชื่อมสาย Messenger Wire ลงดินที่ปลายสายด้านใดด้านหนึ่ง

5.2.5.5 สายดิน (Ground wire) ให้ใช้สาย Strand M ความยาวไม่ควรเกิน 10 เมตร แท่ง Ground Rod เป็นชนิดเคลือบกัลวาไนท์ หรือทองแดงหุ้มทั้งแท่ง เส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 1/2 นิ้ว ความยาวไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร การตอก Ground Rod กรณีที่บริเวณถนนเดิมเป็นพื้นคอนกรีตหรือทางเท้า

5.2.5.6 ยึดสายดินกับ Ground Rod ด้วย Ground Clamp ใช้ท่อ PVC สีเหลืองขนาด 3/8 นิ้ว ร้อยสาย Strand แล้วใช้ Stainless Steel Band รัด PVC กับเสาไฟฟ้าอย่างน้อย 5 จุด

5.2.5.7 วัดค่าความต้านทานของดิน (Ground Rod) วัดที่ปลายสายดินด้านบนก่อนต่อเชื่อมกับ Messenger Wire จะต้องไม่มากกว่า 30 โอห์ม และเมื่อเชื่อมต่อเข้ากับสาย Messenger Wire (Ground System) แล้ววัดได้ต้องไม่มากกว่า 10 โอห์ม



รูปแสดงการติดตั้งระบบสายดินของเคเบิล

5.2.6 รายละเอียดของ Cable Installation Materials สำหรับชนิด Figure-eight

5.2.6.1 เหล็กประกับยึดเสา (Stopper Clamp)

- เหล็กประกับยึดเสา (Stopper Clamp) จะต้องผลิตจากเหล็กรีดเย็น (Cold-Rolled Steel) และผ่านกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม ไม่มีรอยตำหนิ ปริแตกร้าว หรือข้อบกพร่องอื่นๆ ที่เกิดจากกรรมวิธีการผลิต ที่อาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้

- เหล็กประกับยึดเสา (Stopper Clamp) จะต้องผ่านการชุบสังกะสี แบบจุ่มร้อน (Hot Dip Galvanized) และมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A153–95 Standard Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on Iron and Steel Hardware

5.2.6.2 Machine Bolt และ Double Arming Bolt

- Machine Bolt และ Double Arming Bolt นี้จะต้องผลิตด้วยเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) และผ่านกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสม ไม่มีรอยตำหนิปริแตกร้าว หรือข้อบกพร่องอื่นๆ ที่เกิดจากกรรมวิธีการผลิต ที่อาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้

- Machine Bolt จะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM B18.2.1-1981 Square Bolts

- Machine Bolt และ Double Arming Bolt นี้จะต้องผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-Dip Galvanized) และมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A153– 95 Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware มีผิวเรียบปราศจากรอยตะเข็บ

5.2.6.3 น็อตหัวลิง (Eye nuts and Eyelets)

- ขนาดของเกลียวน๊อตหัวลิง (Eye nuts and Eyelets) ให้เป็นไปตาม EEI - Standard for Steel Nut and Bolt หรือเทียบเท่า

- น๊อตหัวลิง (Eye nuts and Eyelets) จะต้องผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (HOT-Dip Galvanization) และมีคุณสมบัติเป็นไปตาม ASTM 153-82 Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware

5.2.6.4 Galvanized Nut

- Galvanized Nut นี้จะต้องผลิตด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม ไม่มีรอยตำหนิปริแตกร้าว หรือมีข้อบกพร่องอื่นๆ ที่เกิดจากกรรมวิธีการผลิต ที่อาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้

- Galvanized Nut นี้จะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ANSI B18.2.2-1986 Square Nuts

- Galvanized Nut นี้จะต้องผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-Dip Galvanized) และมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A153-95 Standard Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on Iron and Steel Hardware สำหรับส่วนที่เป็นเกลียวจะต้องปราศจาก Galvanized

5.2.6.5 แหวนประกับ (Washer)

- แหวนประกับ (Washer) จะต้องผลิตด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม ไม่มีรอยตำหนิ ปริ แตกร้าว หรือมีข้อบกพร่องอื่นๆ ที่เกิดจากกรรมวิธีการผลิต ที่อาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้

- แหวนประกับ (Washer) จะต้องผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-Dip Galvanized) และมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A153-95 Standard Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on Iron and Steel Hardware

5.2.6.6 ชุดเหล็กประกับจับสายสะพานแบบตรงและแบบโค้ง (Cable Suspension Clamp & Curved Cable Suspension Clamp) และชุดประกับอลูมิเนียมจับสายสะพาน (OFC Clamp)

- ชิ้นส่วนต่างๆ ของชุดเหล็กประกับจับสายพานแบบตรงและแบบโค้ง (Cable Suspension Clamp & Curved Cable Suspension Clamp) นี้จะต้องผลิตด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม ชิ้นงานแต่ละชิ้นต้องไม่มีรอยตำหนิ ปริ แตกร้าว หรือมีข้อบกพร่องอื่นๆ ที่เกิดจากกรรมวิธีการผลิต ที่อาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้

- ชิ้นส่วนต่างๆ ของชุดเหล็กประกับจับสายพานแบบตรงและแบบโค้ง (Cable Suspension Clamp & Curved Cable Suspension Clamp) นี้จะต้องผ่านการ ชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-Dip Galvanized) และมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A153-95 Standard Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on Iron and Steel Hardware

- ชุดประกับอลูมิเนียมจับสายสะพาน (OFC Clamp) ต้องออกแบบเพื่อใช้จับยึดสายสะพานในลักษณะที่ไม่ต้องแยกสายเคเบิลกับสายสะพานออกจากกัน มีร่องจับยึด สายหน้าสัมผัสด้านจับยึดสายเคเบิลต้องมีพื้นผิวที่สามารถจับยึดสายได้เป็นอย่างดี (ปุ่มแหลม หรือ เขี้ยวฟัน) ผลิตด้วย Aluminum Alloy Casting ตามมาตรฐานสากล Grade LM-6 มีแกนกลางสำหรับเป็นฉนวนไฟฟ้า (Isolator) ผลิตจาก High Quality ABS Plastic สามารถป้องกันแรงดันไม่น้อยกว่า 2,000 โวลต์ในสภาพอากาศปกติ

5.2.6.7 เหล็กค้ำยันไม้กางเขน (Cross Arm Brace)

- เหล็กค้ำยันไม้กางเขน (Cross Arm Brace) จะต้องผลิตด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม ไม่มีรอยตำหนิ ปริ แตกร้าว หรือมีข้อบกพร่องอื่นๆ ที่เกิดจากกรรมวิธีการผลิต ที่อาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้

- เหล็กค้ำยันไม้กางเขน (Cross Arm Brace) จะต้องผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot–Dip Galvanized) และมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A153-95 Standard Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on Iron and Steel Hardware

5.2.6.8 Thimble Eye Bolt และ Angle Thimble Eye

- Thimble Eye Bolt และ Angle Thimble Eye Bolt นี้จะต้องผลิตด้วยกรรมวิธีขึ้นรูปแบบร้อน (Heat Forging) โดยไม่มีรอยตำหนิ ปริ แตกร้าว หรือข้อบกพร่องอื่นๆ ที่เกิดจากกรรมวิธีการผลิต ที่อาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้

- Thimble Eye Bolt และ Angle Thimble Eye Bolt นี้จะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ANSI C135.4-1979

- Thimble Eye Bolt และ Angle Thimble Eye Bolt นี้จะต้องผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-Dip Galvanized) และมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A153-95 Standard Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on Iron and Steel Hardware

5.2.6.9 Anchor Rods

- Anchor Rods นี้จะต้องผลิตด้วยกรรมวิธีขึ้นรูปแบบร้อน (Heat Forging) โดยไม่มีรอยตำหนิ ปริ แตกร้าว หรือมีข้อบกพร่องอื่นๆ ที่เกิดจากกรรมวิธีการผลิต ที่อาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้

- Anchor Rods นี้จะต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ANSI C135.4-1979

- Anchor Rods นี้จะต้องผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-Dip Galvanized) และมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A153-95 Standard Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on Iron and Steel Hardware

5.2.6.10 Strand Ground Clamp

- ชิ้นส่วนต่างๆ ของ Strand Ground Clamp นี้จะต้องผลิตด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม ชิ้นงานแต่ละชิ้นต้องไม่มีรอยตำหนิ ปริ แตกร้าว หรือมีข้อบกพร่องอื่นๆ ที่เกิดจากกรรมวิธีการผลิต ที่อาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้

- ชิ้นส่วนต่างๆ ของ Strand Ground Clamp นี้จะต้องผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-Dip Galvanized) และมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM A153-95 Standard Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on Iron and Steel Hardware

5.2.7 การตัดต่อ (Fusion Splice) สาย Fiber Optic

5.2.7.1 ในการเชื่อมต่อสายเคเบิลนั้นต้องทำด้วยความระมัดระวัง

5.2.7.2 การเชื่อมต่อต้องทำโดยการเชื่อมด้วยความร้อน (Fusion Splicing) เท่านั้น

5.2.7.3 ค่า Loss ที่จุดตัดต่อแต่ละ Core จะต้องไม่เกิน 0.1 dB ต่อจุด

5.2.7.4 อุปกรณ์เครื่อง Fusion Splice ที่ใช้ในการทำการ Splice ต้องมีคุณภาพสูง สามารถวัดค่า Loss ของจุด Splice ได้ในตัว

5.2.7.5 จุดที่ทำการเชื่อมต่อแบ่งเป็นสองประเภทคือ จุดเชื่อมต่อระหว่างทาง (SJ/Striaght Joint หรือ BJ/Branch joint) และจุดเชื่อมต่อปลายทาง (TP/Terminate Point)

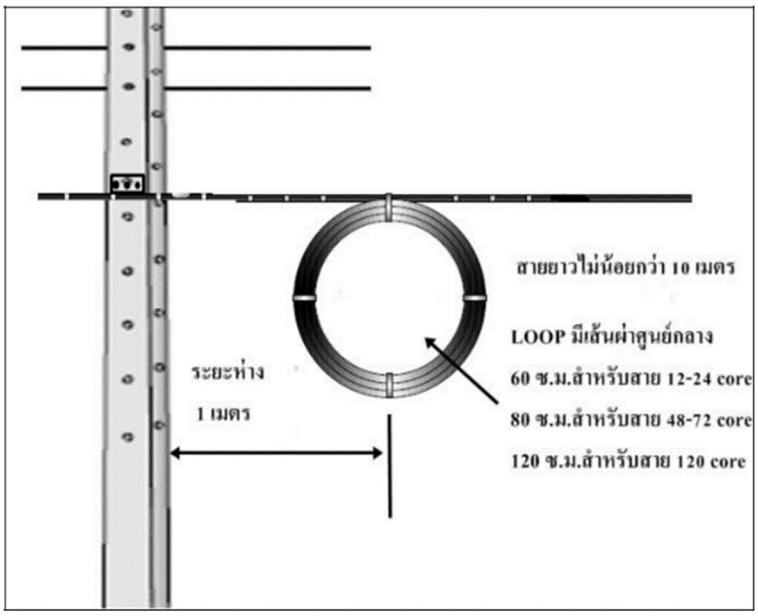
5.2.7.6 กรณีที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างทาง ต้องเก็บจุดเชื่อมต่อลงใน Splice Enclosure ตามข้อกำหนดของ CAT โดยจะต้องพิจารณาหาจุดเชื่อมต่อที่เหมาะสมเพื่อติดตั้ง Enclosure อย่างปลอดภัย และไม่อนุญาตให้ทำการติดตั้ง Enclosure กลาง Span

5.2.7.7 กรณีที่เป็นจุดเชื่อมต่อปลายทาง (TP) ต้องเชื่อมต่อกับ ชุด ODF ที่จัดเตรียมไว้ตามข้อกำหนดการนำสายเข้าอาคารและการติดตั้งชุด ODF

5.2.8 การติดตั้งจุดตัดต่อ (Splice Joint) และการ Loop สาย Fiber Optic

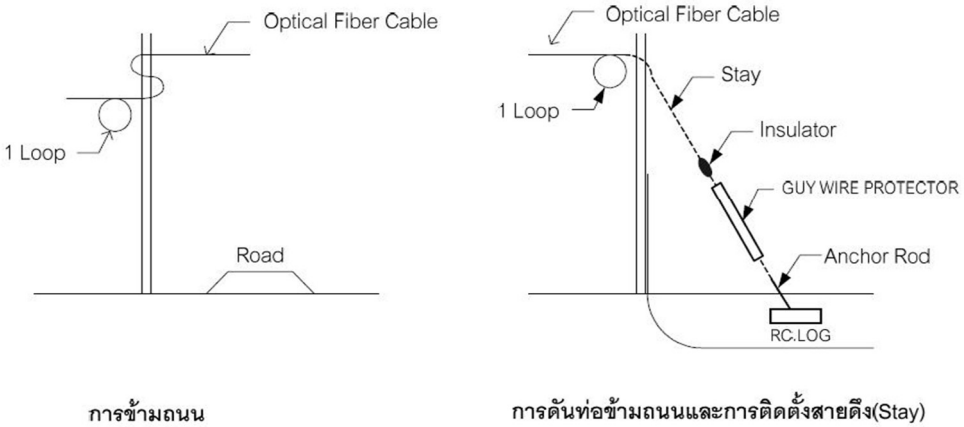
5.2.8.1 ห้ามติดตั้งจุดตัดต่อสายเคเบิล (Enclosure) หรือ Loop สาย กับเสาไฟฟ้าที่มีหม้อแปลง หรือบริเวณที่ไม่ปลอดภัยต่อจุดตัดต่อหรือผู้ปฏิบัติงาน

5.2.8.2 การ Loop สาย จุดประสงค์ของการ Loop สาย Fiber เพื่อเตรียมสายไว้ในกรณีงานซ่อมบำรุง ในการ Loop เส้นผ่านศูนย์กลางต้องเป็นไปตามที่ระบุในตารางที่กำหนด และสายจะต้องไม่เก็บไว้ติดกับเสาไฟฟ้า เส้นผ่านศูนย์กลางของ Loop ควรจะอยู่ห่างจากเสาประมาณ 1.0 เมตร (ยกเว้นเสาที่ CAT ปักเอง) ทั้งนี้กำหนดให้ทำการ Loop ในระยะทุกๆ 2,000 เมตร ตามข้อกำหนดของ CAT



รูปแสดงการติดตั้งสาย Loop

5.2.8.3 จุดที่มีการข้ามถนน ขนาดความกว้างตั้งแต่ 6 เมตรขึ้นไป และจุดดันท่อลอดข้ามถนน หรือ ทางรถไฟ จะต้อง Loop สายเคเบิลไว้เพื่อการปรับปรุงหรือซ่อมบำรุง



การข้ามถนน **การดันท่อข้ามถนนและการติดตั้งสายดึง(Stay)**

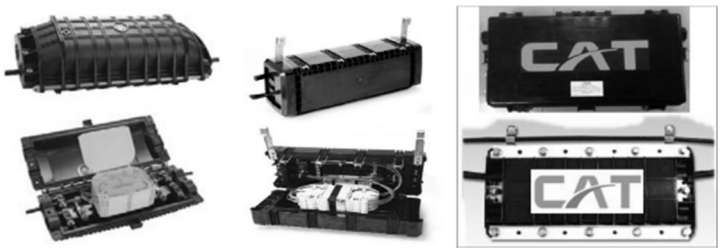
รูปแสดงการติดตั้ง สาย Loop ที่จุดข้ามและลอดถนน

5.2.8.4 การ Loop สาย สำหรับจุดตัดต่อ Splice และตำแหน่งการเก็บ Enclosure สำหรับการ Splicing นั้น เพื่อให้มีสายเผื่อไว้ให้สามารถทำการ Splice ได้สะดวก ไม่ว่าจะเป็น Fusion Splice หรือ Mechanical Splice ในงานติดตั้งใหม่หรืองานซ่อมบำรุง โดยในการ Loop สาย และการเก็บ Enclosure ไม่ควรที่จะเก็บไว้ติดกับเสาไฟฟ้าเช่นกัน ควรจะอยู่ห่างจากเสาประมาณ 1 เมตร ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้า

5.2.8.5 การติดตั้ง Joint Box หรือ Optical Fiber Closure มีวิธีการติดตั้งดังต่อไปนี้

- สำรวจตำแหน่งของเสาไฟฟ้าที่จะทำการติดตั้ง Closure ซึ่งรูปแบบของตัว Closure มีทั้งแบบโดม (Dome) แนวตั้ง และแบบแขวนในแนวนอน ซึ่งถ้าหากไปติดตั้งที่เสาไฟฟ้าจะทำกีดขวางการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่การไฟฟ้าฯ จึงไม่อนุญาตให้ติดตั้ง Closure ที่เสาไฟฟ้า เว้นแต่เสาที่ กสท ทำการปักเอง

- ลักษณะและส่วนประกอบของ Closure ส่วนมากแล้วต้องใช้แบบแขวน มีสายเข้าออกได้ทั้ง 2 ด้าน แต่ละด้านสามารถมีช่องเข้าออกได้มากกว่า 1 เส้น ภายในประกอบด้วย Splice Tray เพื่อจัดเก็บ Protection Sleeve, Core fiber และ Tube ให้อยู่ในลักษณะที่ปลอดภัย ต้องเป็นชนิดที่สามารถกันน้ำกันความชื้นได้เป็นอย่างดี มีความแข็งแรงและทนทานต่อสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย และขาสำหรับไว้แขวนกับสาย Strand



รูปแสดงลักษณะของ Enclosure ที่ใช้ในการเชื่อมต่อจุด Splice

- ในแต่ละชุดจะต้องมีอุปกรณ์ประกอบพร้อมใช้งาน และสามารถถอดและประกอบเพื่อการซ่อมสายเคเบิลได้ในการติดตั้งหากเป็นชนิดที่ต้องยึดติดกับเสาให้ปักเสาเพิ่ม เพื่อยึดอุปกรณ์ดังกล่าวทุกจุด และต้องพ่น logo CAT ด้วยสีส้ม ขนาดตัวอักษรสูงประมาณ 2½ นิ้วลงบน Joint Box ทุกตัวให้ชัดเจน

- ถ้า Fiber เป็นชนิด Figure-8 ให้แยกและตัดส่วนที่เป็น Strand หรือ Messenger Wire ออกก่อน ตัดส่วนที่ยาวเกินออกแล้วนำปลายสาย Messenger Wire ของเคเบิลทั้ง 2 เชื่อมถึงกัน

- การติดตั้งสายและการ Splice ที่จุดตัดต่อ

❑ สายเคเบิลที่จุดตัดต่อจะต้องเผื่อความยาวไว้ 10-15 เมตร ให้ปอกสายเคเบิลที่ปลายสายทั้ง 2 เส้นออกเหลือไว้แต่ Tube ยาว ประมาณ 1.5 เมตร

❑ ทำความสะอาด Tube ต่างๆ และจัดเรียงหรือติดหมายเลขประจำ Tube กรณีที่มีสีเหมือนกัน

❑ ทำการติดตั้งหรือล๊อกสายเคเบิลเข้ากับตำแหน่งการติดตั้งใน Closure

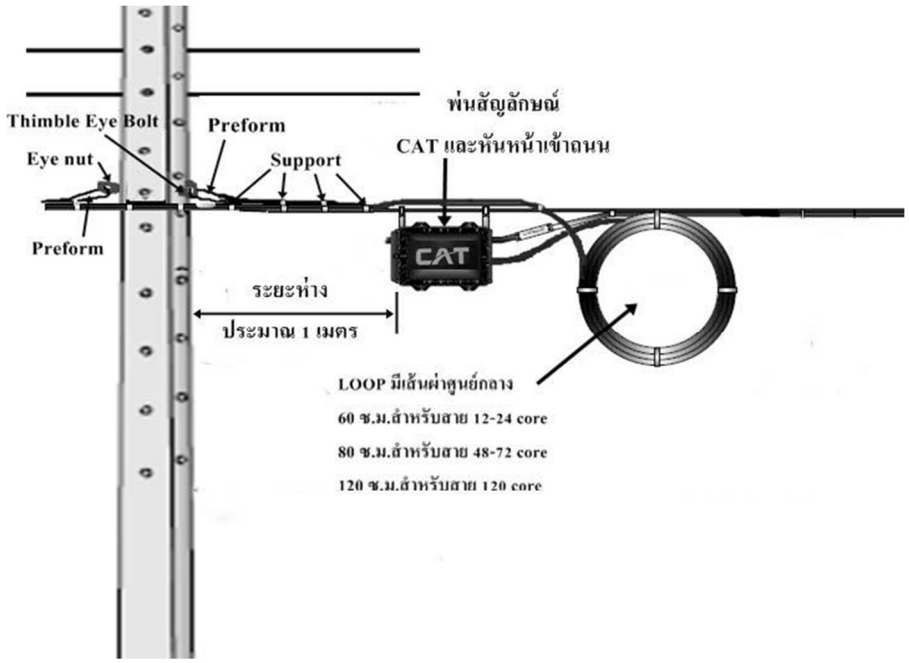
❑ ปอก Tube ออก ให้เหลือ Core Fiber ยาวประมาณ 1 เมตร ทำความสะอาด Core ด้วยน้ำยาล้างเฉพาะ

❑ Loop และล๊อก Tube เข้ากับ Tray โดยให้สีหรือลำดับของ Tube ของปลายเคเบิลทั้ง 2 ด้านให้ตรงกันกรณีที่มีการ Splice ตรงกันทุก Core Fiber

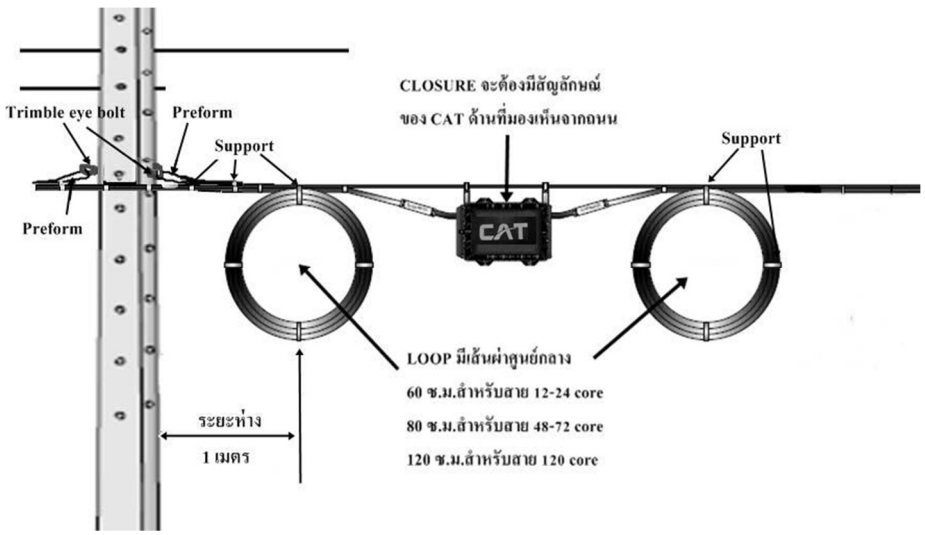
❑ ทดลองจัด Loop สาย Fiber ที่จะเก็บใน Tray ให้สวยงามตามแนวที่จะ loop และเผื่อการติดตั้งอุปกรณ์ Protection sleeve แล้วตัดเศษสายของ Core ที่ยาวเกินไปออก

❑ ทำการ Splice ให้ Core ตรงตามสีมาตรฐานที่กำหนด พร้อมเก็บ Protection Sleeve ที่ Heat แล้วเข้าร่องเก็บพร้อม Loop Core Fiber ใน Tray ให้เรียบร้อยตามขนาดวงรอบของ Tray

5.2.8.6 เมื่อจัดเก็บภายใน Enclosure และประกอบเสร็จแล้ว ให้นำ Enclosure ไปแขวนเข้ากับสาย Strand ของเคเบิลให้ได้ระยะห่างจากเสาไฟฟ้าประมาณ 1 เมตร ซึ่งการติดตั้งจุดตัดต่อนี้สามารถทำได้ 2 แบบ



รูปแสดงการติดตั้งจุดตัดต่อ (Splice) แบบ 1 loop



รูปแสดงการติดตั้งจุดตัดต่อ (Splice) แบบ 2 loop

5.2.8.7 เก็บสาย Fiber ส่วนที่จะต้องทำการ Loop เส้นผ่านศูนย์กลางตามที่ระบุในตารางที่กำหนด และห่างจากจากเสาไฟฟ้าฝั่งใดฝั่งหนึ่ง ประมาณ 1 เมตร

ตารางแสดงเส้นผ่าศูนย์กลางการ Loop สายแต่ละขนาด

ขนาดเคเบิล (Core)	เส้นผ่านศูนย์กลางของ LOOP (cm)
12,24	60
48,60,72	80
96,120	90

5.2.8.8 ใช้สายรัด (Support) มัด Loop รวบสายให้เรียบร้อยประมาณ 4 จุด โดยทิศทางเข้าออกของสายเคเบิลที่ Loop ต้องเป็นไปตามแบบที่กำหนดเท่านั้น

5.2.9 การนำสายเคเบิลเข้าในสถานี (Site) ที่เป็นอาคาร และตู้ Container

5.2.9.1 การนำสายเข้าสถานีมี 2 แบบ

- แบบที่ 1 Aerial หรือ Overhead โดยการพาดเคเบิลไปยังเสาไฟฟ้าที่อยู่ใกล้อาคารสถานีหรือตู้ Container

- แบบที่ 2 Underground โดยการทำ Riser และ Duct เชื่อมต่อเข้าอาคาร หรือตู้ Container

5.2.9.2 ให้ทำการ Loop สายเคเบิล 10 เมตร ที่เสาต้นสุดท้ายก่อนเข้าสถานี (Site) หรือก่อนร้อยท่อ Riser ลงใต้ดินเพื่อเข้าสถานี

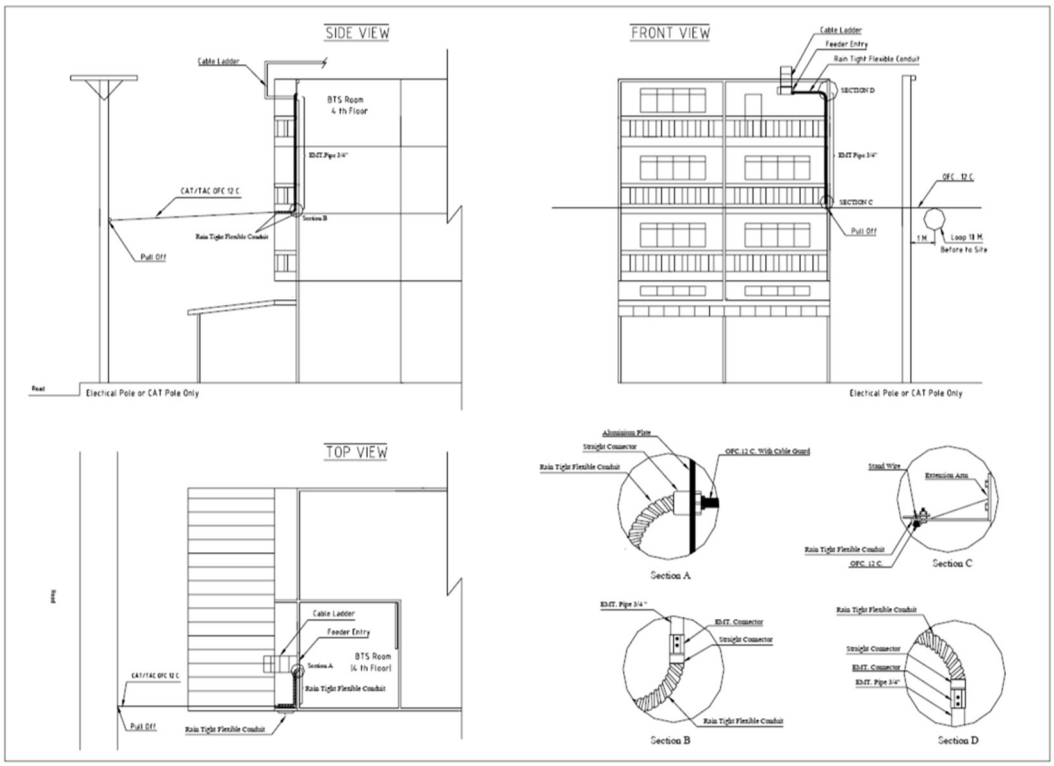
5.2.9.3 การใช้อุปกรณ์ยึดสายกับอาคารด้านนอก ต้องติดตั้งและใช้อุปกรณ์ที่ทำให้สายเคเบิลเกิดความปลอดภัยสูงสุด

5.2.9.4 ควรหลีกเลี่ยงการยึดสายเคเบิลที่จะนำเข้าสถานีกับโครงเสาอากาศ หากมีความจำเป็น ให้ปักเสารับ

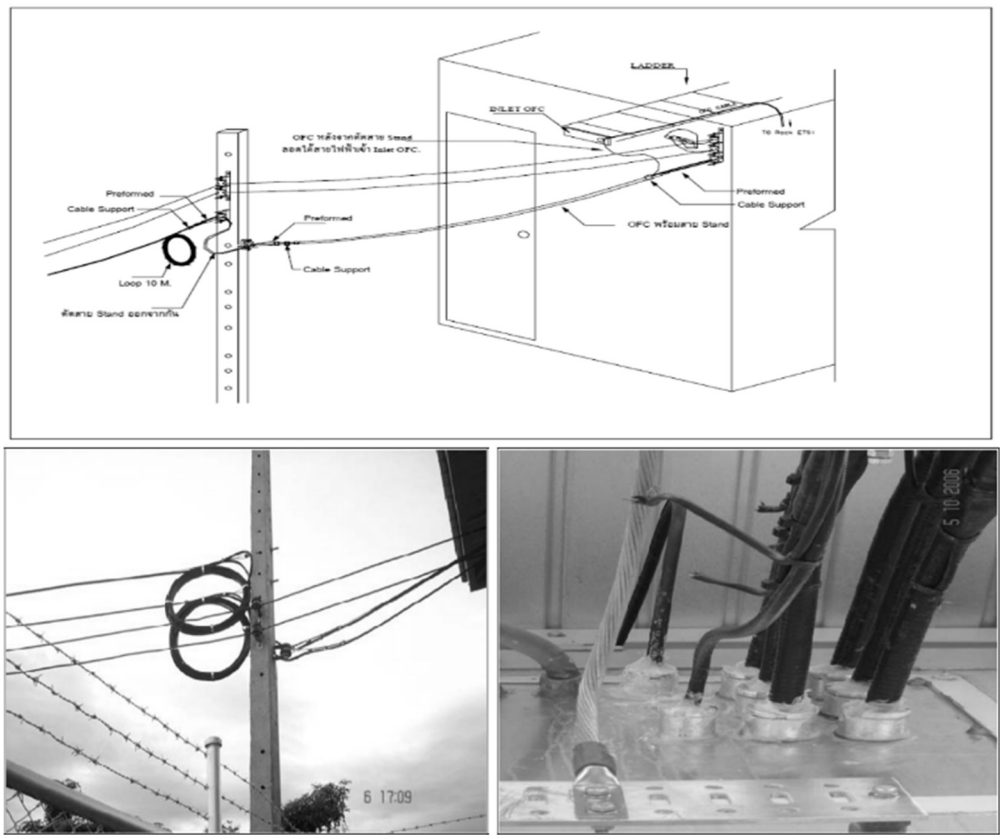
5.2.9.5 ให้ติดตั้งท่ออ่อนกันน้ำ ความยาว 30 ซม. กับ Connector บริเวณรูที่เจาะ เพื่อนำสายเคเบิลเข้าสถานี และให้ยาซิลิโคนใสรอบ Connector และ Cable เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าไปในสถานีได้

5.2.9.6 ภายในสถานีจะต้องจัดเรียงหรือยึดสายเคเบิลบนรางพาดสายหรือ Ladder ด้วยเข็มขัด รัดสายให้เรียบร้อย แข็งแรงเพียงพอ

5.2.9.7 สายชนิด IPT การนำสายเข้า ODF จะต้องปอก Cable Sheath ก่อนลง Rack และหุ้ม Loose Tube ด้วยไส้ไก่ (Coils) เพื่อความปลอดภัย



รูปแสดงการนำสายเคเบิลเข้าอาคาร



รูปแสดงการ loop สายและการนำเคเบิลเข้าสถานีแบบ Container

5.2.10 การติดตั้ง ODF (Optical Distribution Frame)

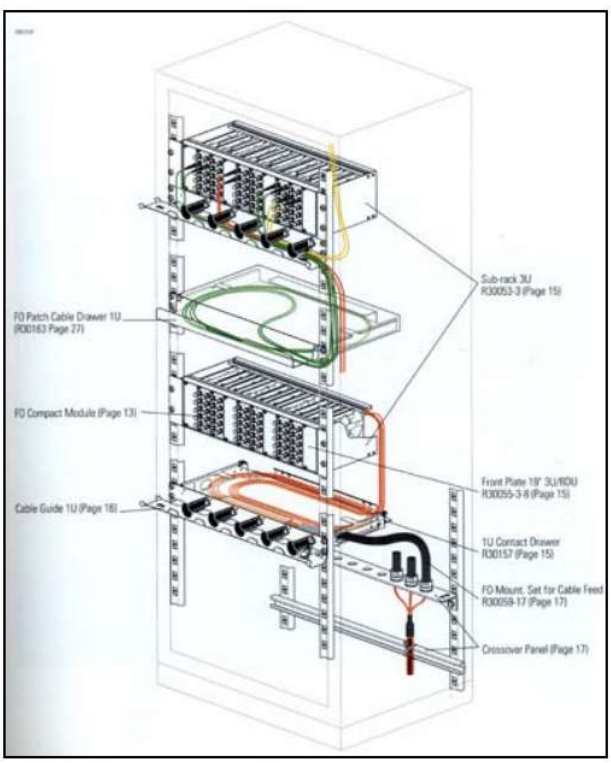
5.2.10.1 อุปกรณ์ Optical Distribution Frame (ODF) ที่ติดตั้งในแต่ละสถานี Connector จะต้องเป็นแบบมาตรฐาน FC/PC หรือ LC/PC หรือ Type ตามข้อกำหนดของ CAT จำนวนเท่ากับจำนวนสายใยแก้ว (Fiber Core) และจะต้องมีป้ายชื่อระบุชนิดของสายใยแก้ว รวมทั้งโค้ดสีให้ชัดเจนว่า Connector นั้นๆ เป็นของสายใยแก้วเส้นใดในรูปแบบ “Fiber Core Color – Tube Color” พร้อมด้วยชื่อของสถานีต้นทางปลายทาง และ Core ใดที่ยังไม่ได้นำมาใช้งานต้องปิดฝาครอบกันฝุ่นให้เรียบร้อยด้วย ส่วน Armor ของสายเคเบิลใยแก้วให้ปล่อยลอยไว้และใช้เทปพันสายไฟอย่างดีพันทับให้เรียบร้อยด้วย

5.2.10.2 Adapter ต้องเป็น Type ตามข้อกำหนดของ CAT และกำหนดให้ค่า Insertion Loss ของ Connector ที่เสนอมีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.3 dB และเมื่อ Connector Loss รวมกับค่า Splice Loss ที่ Pigtail แล้ว มีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.5 dB ต่อจุด โดยการทดสอบด้วย OTDR

5.2.10.3 ODF ที่ต้องติดตั้งแบบRack Mount ต้องได้รับการติดตั้งอย่างเรียบร้อย และมั่นคง

5.2.10.4 การเดินสายต้องไม่ถูกกดทับ หรือเสียดสีกับเคเบิลหรืออุปกรณ์อื่นๆ และไม่กีดขวางการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ในกรณีต่างๆ ในอนาคต

5.2.10.5 การหักมุมสายต้องเป็นไปตามแนวโค้งและมีรัศมีการโค้งไม่น้อยกว่า 10 ซม. โดยห้ามหักมุม 90 องศาโดยตรง

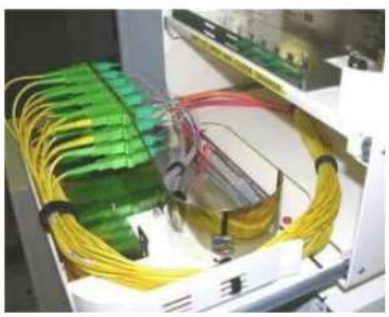


รูปแสดงการร้อยสายเคเบิลเข้า Rack และ ODF

5.2.10.6 การนำสายเข้าและการเก็บ Fiber ใน ODF จะต้องถูกต้องตามข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต ODF นั้นๆ

RACK 24 PORT

RACK 48 PORT



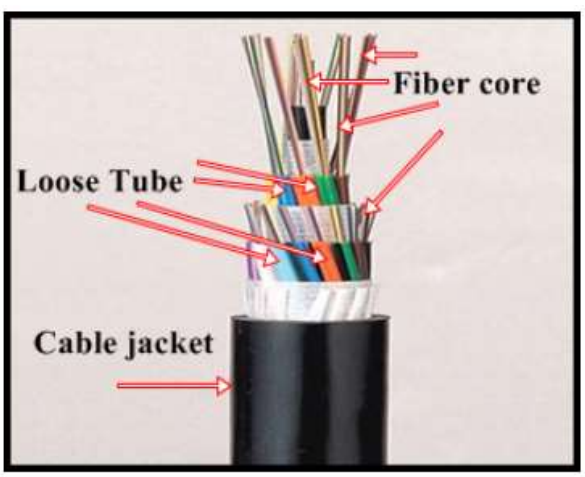
รูปแสดงลักษณะของ ODF และการจัดเก็บ Tube และสาย patch

5.2.10.7 ติดตั้งตำแหน่ง Core ถูกต้องตาม Core Assignment Drawing และสีของ Core ตามมาตรฐาน EIA/TIA-359 และ EIA/TIA-598

5.2.10.8 Loose Tube ที่เข้า ODF เพื่อให้เกิดความเรียบร้อยไม่ให้สาย Fiber Optic เกิดการ Loss และเชื่อมต่อ Core ให้ถูกต้องตามลำดับโดยจัดเรียงสีของ Loose Tube ให้ได้ตามมาตรฐาน EIA/TIA-359 และ EIA/TIA-598 หรือเคเบิลบางยี่ห้ออาจจะมีการจัดสีของ Loose Tube ที่แตกต่างเช่น เริ่มต้น Tube ที่ 1 สีน้ำเงิน (BL) Tube ที่ 2 สีส้ม (OR) และสีต่อไปเป็นสีขาวทั้งหมด ต้องให้ผู้ติดตั้งต้องติดตั้งให้ถูกต้องตรงกันตามการจัดเรียงของ Tube

ตารางแสดงลำดับสีมาตรฐานของ Core และ Loose Tube

Position No.	Color	Abbreviation
1	Blue /น้ำเงิน	BL
2	Orange / ส้ม	OR
3	Green / เขียว	GR
4	Brown / น้ำตาล	BR
5	Slate / เทา	SL
6	White / ขาว	WH
7	Red / แดง	RD
8	Black / ดำ	BK
9	Yellow / เหลือง	YL
10	Violet / ม่วง	VI
11	Rose / ชมพู	RS
12	Aqua / ฟ้า	AQ



รูปแสดงส่วนประกอบของเคเบิลและการจัดสี Tube และ Fiber Core

5.2.10.9 ป้ายบอก Core ของ Fiber ที่สาย Pig Tail ด้านใน ODF (Cable Marker) ติดไว้อย่างถูกต้อง คงทน และเรียบร้อย

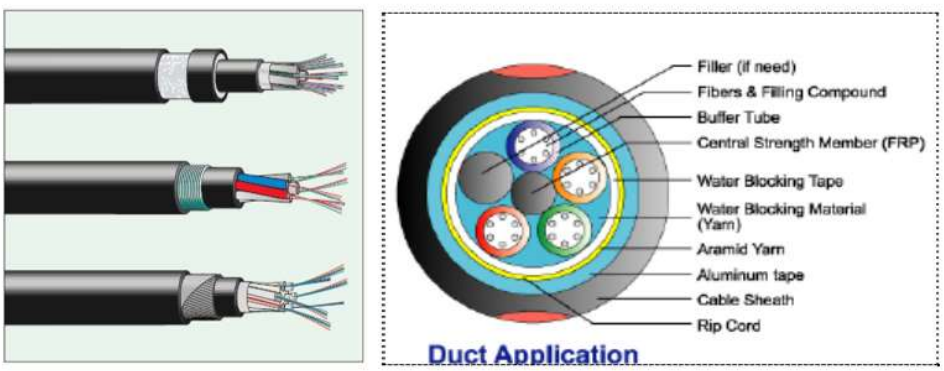
5.2.10.10 ด้านหน้า ODF จะต้องมี Label บอกชื่อสถานีปลายทาง และลำดับที่ของ Core Fiber ให้ถูกต้อง และเรียบร้อยสวยงาม

5.2.10.11 การยึด Cable Tube กับ Cable Tray จะต้องไม่กีดขวางการเปิด Cable Tray อื่นและเผื่อความยาวของ Loose Tube อย่างเพียงพอ เพื่อการดึงถาดที่วางจุด Splice ออกมาตรวจเช็คได้สะดวก ปลอดภัย

5.2.11 การติดตั้งสายเคเบิลใต้ดินหรือติดตั้งในท่อร้อยสาย (Underground Installation/Duct Cable)

5.2.11.1 การติดตั้งสายเคเบิลที่ต้องร้อยสายไปในท่อใต้ดิน ก่อนการติดตั้งนั้นจะต้องออกแบบและทำการสร้างท่อร้อยสาย (Duct) กรณีร้อยท่อใต้ดินบนทางเท้า ให้ทำบ่อพัก (Pull Box) ทุกระยะ 200 เมตร ตามแบบมาตรฐาน JUF-11 หรือกรณีสร้างท่อร้อยสายใต้ดินในช่องทางจราจรต้องสร้างบ่อพักขนาดใหญ่ (Man Hold) และสร้าง Riser ตามรูปแบบมาตรฐานงานโยธาซึ่งมีรายละเอียดในหัวข้องานโยธา (Civil Work)

5.2.11.2 สายเคเบิลที่ใช้ ควรเป็นแบบ Duct Cable ตามข้อกำหนดของ CAT



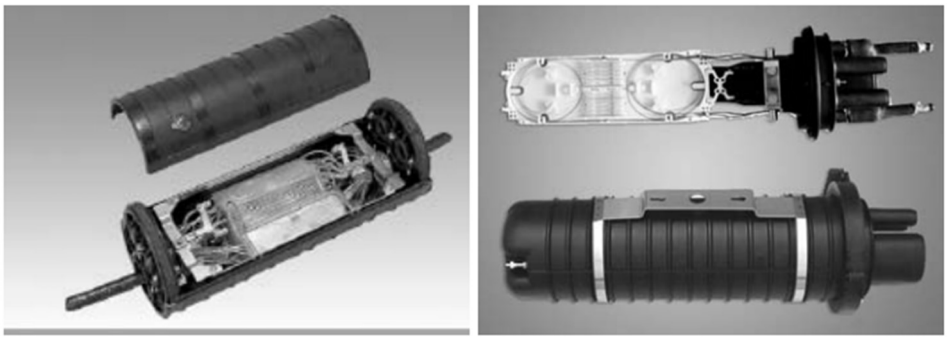
รูปแสดงตัวอย่างส่วนประกอบของ Duct Cable

5.2.11.3 การติดตั้งเคเบิลใต้ดินภายในท่อร้อยสายเคเบิล กสท ที่มีอยู่แล้ว ให้ร้อยสายเคเบิลภายในท่อที่มี Sub-Duct ว่างอยู่ หากไม่มี Sub-Duct ว่าง ให้ติดตั้ง Sub-Duct ทำด้วย HDPE สีดำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 33 มม. จำนวน 3-4 ท่อในท่อ Main Duct GSP หรือ PVC ขนาด 4 นิ้วที่ต้องการร้อยสายภายใน Sub-Duct ต้องมีเชือกทำด้วย Nylon ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1 มม. และปลายท่อ Sub-Duct ต้องมีวัสดุปิดปลายท่อที่สามารถกันน้ำเข้าท่อได้

5.2.11.4 เพื่อการซ่อมบำรุงกำหนดให้การติดตั้งแบบร้อยสายในท่อใต้ดิน ให้ Loop สายเคเบิลไว้ประมาณ 8-10 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60 เซนติเมตร เก็บในบ่อพักทุกระยะประมาณ 600 เมตร

5.2.11.5 ในกรณีบ่อพักที่มี Riser ให้ Loop สายเคเบิลไว้ประมาณ 5 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60 เซนติเมตร

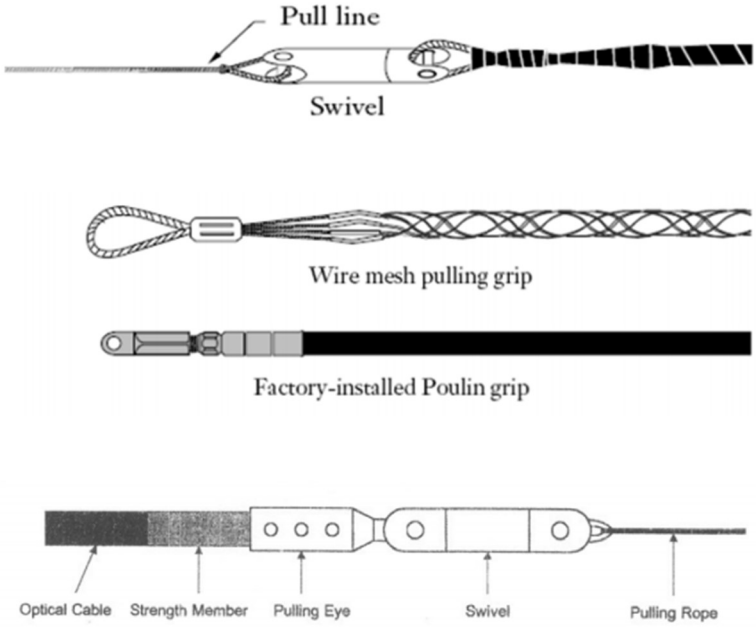
5.2.11.6 จุดตัดต่อ (Splicing Joint) ให้มีปลายสายข้างละ 10 เมตร เพื่อการตัดต่อ โดยวิธีการตัดต่อทำเช่นเดียวกันกับการตัดต่อเคเบิลแบบแขวนอากาศ เมื่อทำการตัดต่อแล้วให้ติดตั้งจุดตัดต่อเข้ากับ Rack ที่ติดตั้งใน Pull Box หรือ Man Hold พร้อมเก็บสาย Loop มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60 เซนติเมตร ให้เรียบร้อย



รูปแสดง Splice Box สำหรับงานตัดต่อสายเคเบิลในบ่อพัก

5.2.11.7 Splice Box สำหรับสายเคเบิลใต้ดิน จะต้องมีคุณสมบัติที่สามารถป้องกันน้ำได้เป็นอย่างดีและมีความทนทาน

5.2.11.8 การดึงสายเคเบิล ควรใช้ Pulling Grip หรือ Pulling Eye จับที่ปลายสายเคเบิลใยแก้วที่จะดึง และควรจับกับ Strength Member แทนที่จะจับเฉพาะเปลือกสายเคเบิล และควรป้องกันไม่ให้น้ำเข้าสายเคเบิลและควรติดตั้ง Swivel เพื่อป้องกันไม่ให้สายดึงมัดเป็นเกลียวระหว่างการดึง Swivel ควรเป็นแบบมี Fuse ซึ่งสามารถกำหนดแรงดึงได้หากแรงดึงเกินกว่าที่กำหนด



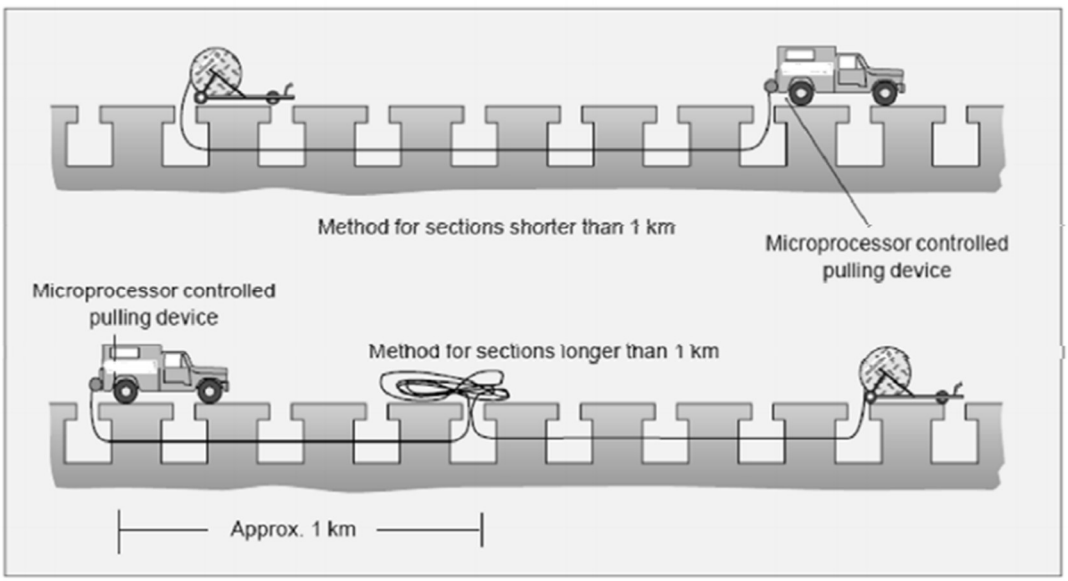
รูปแสดงอุปกรณ์จับปลายสายเพื่อดึงสายร้อยท่อ (Pulling Grip)

5.2.11.9 การปล่อยเคเบิล ควรใช้ Cable Feeder หรือ Flexible Tube ในการปล่อยสายเคเบิลเข้าไปในท่อร้อยสายหรือ Sub-duct

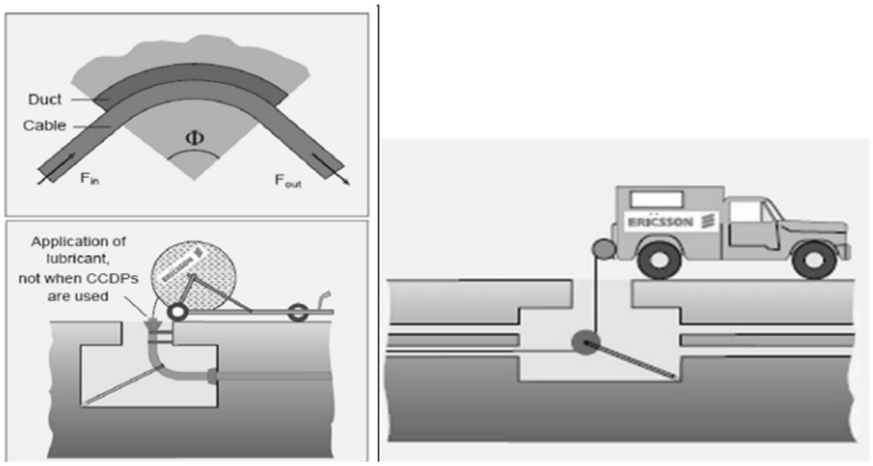
5.2.11.10 การหล่อลื่นสายเคเบิล ควรได้รับการหล่อลื่นระหว่างการดึงตลอดเวลา เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างเปลือกเคเบิลและผนังของท่อร้อยสาย สายที่ใช้หล่อลื่นควรเลือกประเภทที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน เปลือกสายเคเบิล รวมทั้งท่อร้อยสายด้วย

5.2.11.11 การเปลี่ยนทิศทางหรือแนวระดับ เมื่อต้องการเปลี่ยนทิศทางของสายเคเบิลให้ใช้รอก โดยยึดรอกอยู่ระหว่างพื้นกับปากท่อร้อยสาย ซึ่งสามารถปรับระยะรอกให้ไปในทิศทางที่ต้องการได้ หากต้องการเปลี่ยนระดับจากท่อด้านหนึ่งไปยังท่ออีกด้านหนึ่งให้ใช้ Light weight pulley ช่วยประคองสายเคเบิลไว้

5.2.11.12 ระยะดึงสายเคเบิล โดยปกติระยะทางการดึงสายเคเบิลใยแก้วสามารถดึงได้ในระยะทางประมาณ 1–1.5 กม. ตามเส้นทางตรงด้วยเครื่องดึง (Winch) โดยไม่ทำอันตรายหรือความเสียหายต่อสายเคเบิล แต่ถ้าหากระยะทางมากกว่า 1.5 กม. ควรแบ่งเป็น 2 ช่วงด้วยเทคนิคที่เรียกว่า “Back Feed” โดยขดสายเคเบิลเป็นรูปเลขแปด (Figure 8) ที่กลางทางแล้วดึงต่อไปเป็นช่วงๆ เครื่องดึงสายเคเบิลควรสามารถปรับและควบคุมความแรงดึงรวมถึงความเร็วได้ หากเกินกว่าข้อกำหนดที่ตั้งไว้ เครื่องจะต้องหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติ และควรมีหน้าปัดแสดงค่าแรงดึงและความเร็วที่ใช้ รวมทั้งสามารถบันทึกค่าดังกล่าวไว้ตลอดการติดตั้ง ในกรณีการดึงสายเคเบิลไม่ยาวมากนัก อาจจะใช้แรงงานคนแทนเครื่องดึงเคเบิลได้ แต่ควรมีการควบคุมแรงดึงให้สัมพันธ์กันในทุกๆ จุด และไม่เกินค่าที่ระบุในข้อกำหนด



รูปแสดงถึงการดึงสายร้อยท่อในแนวตรง



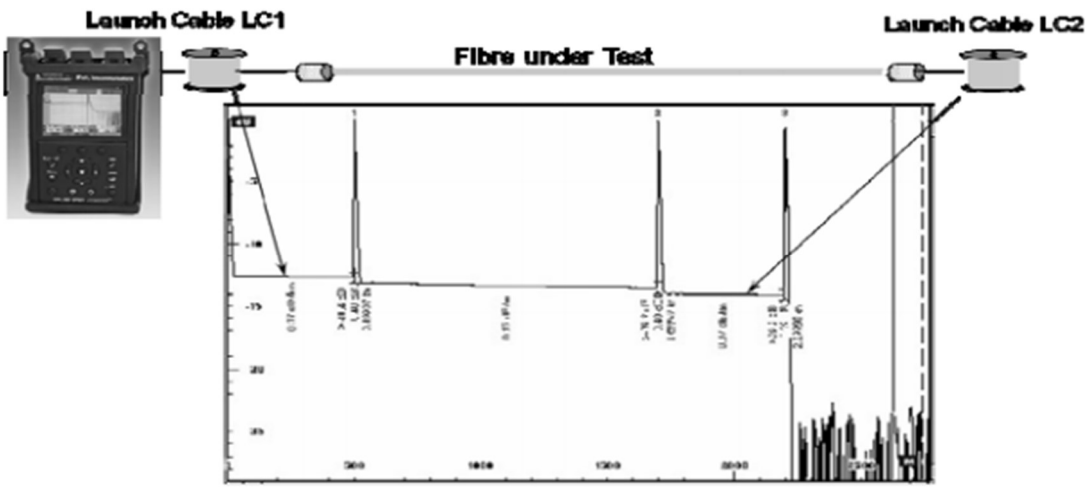
รูปแสดงถึงการดึงสายร้อยท่อโดยใช้รอกทำมุมให้เหมาะสม

5.2.11.13 เคเบิลร้อยท่อใต้ดิน จะต้องมีแผ่นป้าย (Maker Tag) กำกับไว้ในทุกๆ บ่อพักเคเบิล แผ่นป้ายดังกล่าว จะต้องมีคุณสมบัติทนต่อทุกสภาวะแวดล้อม ต้องแสดงรายละเอียดดังนี้ ชนิดสายเคเบิล วันเดือนปีที่ติดตั้งเคเบิล ชื่อสถานที่ต้นทางและปลายทาง

5.2.12 การวัดค่าการสูญเสีย (Loss) ด้วย OTDR และ ค่า CD, PMD

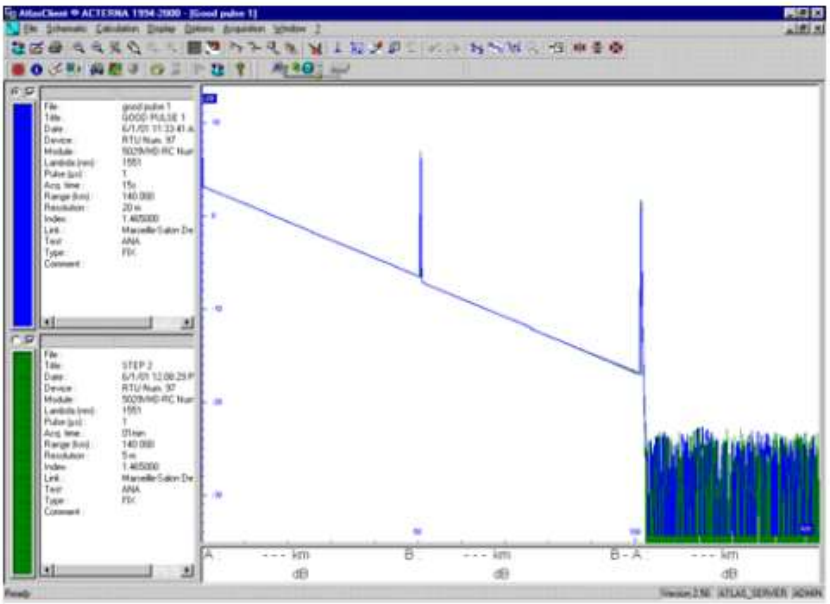
5.2.12.1 ในการติดตั้งสายเคเบิลหากมีการตัดต่อสายเคเบิล (Splicing) และการเชื่อมต่อด้วยหัวต่อ (Connector) ค่าสูญเสียของเคเบิลตามความยาวปกติ และค่าสูญเสียที่เกิดจากการ Splice โดยวัดด้วย OTDR แบบสองทาง (two-way) รวมทั้งค่า CD และ PMD ระหว่างสถานีที่ติดตั้งโดยใช้วิธีการทดสอบและวิธีการคำนวณ

5.2.12.2 อุปกรณ์และการวัด ต้องใช้ Dummy Load (Launch Cable) ที่มีความยาวไม่ต่ำกว่า 2,000 เมตร ต่อเข้ากับ OTDR หรือหากต้องการต่อด้านปลายสายอีกก็จะได้ผลทดสอบตามรูป



รูปแสดงการต่อ Dummy load เพื่อทดสอบ Fiber ด้วย OTDR

5.2.12.3 ตั้งค่าระยะปลายสาย ที่แสดงผลประมาณ 80% ของความกว้างหน้าจอ เช่น ระยะทาง 40 กม. ให้ตั้งค่า Range 45 กม.



รูปแสดงการวัด OTDR ให้ได้กราฟแสดงผลประมาณ 80 % ของหน้าจอ

5.2.12.4 การวัดค่า Loss จะต้องทำการวัดทั้งปลายทางและต้นทาง (two-way) โดยนำค่าที่วัดได้ทั้ง 2 ค่ามารวมหาค่าเฉลี่ย โดยไม่นำเครื่องหมายมาคำนวณ ยกเว้นงานซ่อมบำรุง อนุโลมให้วัดด้านใดด้านหนึ่ง แต่ค่า Loss จะต้องไม่เกินตามกำหนด ค่า Loss ปกติตามความยาวสายเคเบิล ต้องไม่เกิน 0.33 dB/km ที่ 1310 nm และ 0.20 dB/km ที่ 1550 nm

5.2.12.5 ค่า splice loss ต่อจุดให้คำนวณดังตัวอย่างต่อไปนี้ ณ จุด splicing จุดที่ 1

- ใช้ OTDR ทดสอบจาก station A ไปยัง station B, ค่าsplicing loss = x dB ณ จุด Splice ที่ 1
- ใช้ OTDR ทดสอบจาก station B ไปยัง station A, ค่าsplicing loss = y dB ณ จุด Splice ที่ 1
- ค่า splice loss จุดที่ 1 = (x+ y)/2 (จะต้องไม่เกิน 0.1 dB)

5.2.12.6 ค่า splicing loss ต่อจุดเฉลี่ยทั้ง section = splicing loss ณ จุดที่ [(1)+(2)+(3)+.....+(N)]/N dB/จุด (ต้องไม่เกิน 0.05 dB)

5.2.12.7 เวลาที่ใช้ในการทดสอบ OTDR ที่ค่า Averaging Time อย่างน้อย 2 นาที

5.2.12.8 ค่า Loss ที่ Connector รวมกับจุด Splice ใน ODF จะต้องไม่เกิน 0.5 dB

5.2.12.9 การนับจุด Splice ไม่ต้องนับจุด Splice ใน ODF

5.2.12.10 ค่าความยาวของสายเคเบิล (ระหว่างจุด 2 จุดที่แสดงในกราฟของเครื่อง) ต้องมีค่าเท่ากับความยาวที่แสดงในแบบ Detail Map

5.2.12.11 การตั้งค่าดัชนีหักเหของแสง (Index) ใน OTDR เพื่อการทดสอบสายเคเบิลมีค่าถูกต้องตามข้อกำหนดของผู้ผลิต ดังตัวอย่างต่อไปนี้

☐ INDEX OF OPTICAL FIBER CABLE

☐ MM CABLE 1,310 nm. USE 1.468

1,550 nm. USE 1.468

☐ IPT 1,310 nm. USE 1.47

1,550 nm. USE 1.47

☐ NOKIA 12,48 C 1,310 nm. USE 1.47 (1.4667)

1,550 nm. USE 1.47 (1.4667)

☐ PIRELLI 1,310 nm. USE 1.47 (1.467)

1,550 nm. USE 1.47 (1.467)

☐ HBC 12 C. 1,310 nm. USE 1.462

1,550 nm. USE 1.462

☐ TFOC 12 C 1,310 nm. USE 1.467

1,550 nm. USE 1.467

☐ TFOC 8 C. 1,310 nm. USE 1.467

1,550 nm. USE 1.467

5.2.12.12 ค่า Loss ที่วัดได้ ต้องไม่เกินค่าจากการคำนวณ

5.2.12.13 การตั้งค่า Pulse Width ใน OTDR เพื่อการทดสอบต้องตั้งค่าให้เหมาะสมกับความยาวของเคเบิลที่ต้องการทดสอบ

ตารางแสดงการ Set ค่า Pulse width กับระยะทางที่จะทำการวัด

	5 ns(0.5 m)	20 ns(2 m.)	100 ns(10 m.)	300 ns(30 m.)	1 us(100 m.)	3 us(300 m.)	10 us(1 km.)
2 km.	X	X					
5 km.	X	X	X				
10 km.	X	X	X	X			
20 km.			X	X	X		
40 km.				X	X	X	
80 km.						X	X
140 km.							X
260 km.							X

REMARK: 1 us (100 m.) ในวงเล็บหมายถึง Event Dead Zone

5.2.12.14 เครื่อง OTDR ที่ใช้จะต้องได้มาตรฐาน มีค่าในการวัดที่เที่ยงตรง ควรได้รับการ Calibrate ตามเวลาที่เหมาะสม

5.2.12.15 การวัดค่า CD และ PMD

 ค่า Chromatic Dispersion (CD) ต่อ station A-B จะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่คำนวณได้ดังตัวอย่างนี้ ให้ใช้เครื่องมือวัด CD Analyzer ทดสอบจาก station A ไปยัง station B ค่า CD not more than 3.5 ps/nm.km at 1310 nm, 20 ps/nm.km at 1550 nm x ระยะทาง (km)

 ค่า Polarization Mode Dispersion (PMD) ต่อ station A-B จะต้องมีค่าไม่เกินจากค่าในข้อกำหนดของเคเบิลใยแก้วนำแสง ให้ใช้เครื่องมือวัด PMD Analyzer ทดสอบจาก station A ไปยัง station B ค่า PMD Not more than 0.20 ps/km Dispersion Limits เป็นค่า PMD สูงสุดของเครือข่ายเคเบิลใยแก้วที่ความเร็วต่างๆ จะสามารถยอมรับได้โดยไม่เกิด Error ในการรับส่งสัญญาณ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเทคนิคของการ Mod สัญญาณไฟฟ้ากับสัญญาณแสงด้วย โดยที่ค่าDispersion Limits แสดงตามตารางดังนี้

ตารางแสดงค่า PMD Limit ของเครือข่ายเคเบิลใยแก้วที่ความเร็วต่างๆ

Table 1

SDH	SONET	Transmission Rate	Bit Time	PMD Limit[1]
	OC-1	51.84 Mb/s	19.29 ns	2 ns
STM-1	OC-3	155.52 Mb/s	6.43 ns	640 ps
STM-4	OC-12	622.08 Mb/s	1.61 ns	160 ps
	OC-24	1,244.16 Mb/s (1.2 Gbps)	803.76 ps	80 ps
STM-16	OC-48	2,488.32 Mb/s (2.5 Gbps)	401.88 ps	40 ps
STM-64	OC-192	9,953.28 Mb/s (10 Gbps)	100.47 ps	10 ps
STM-256	OC-768	39,318.12 Mb/s (40 Gbps)	25.12 ps	2.5 ps

[1] Dispersion is typically limited to 10% of the bit time

ตารางแสดงค่า PMD Limit ของเครือข่ายเคเบิลใยแก้วที่ความเร็วและเทคนิคการ Modulation ชนิดต่างๆ

Modulation format	Symbol speed	Maximum tolerable PMD
OOK NRZ 40 Gbit/s	40 GBaud	2.5 ps
OOK NRZ 10 Gbit/s	10 GBaud	10 ps
OOK NRZ 2.5 Gbit/s	2.5 GBaud	40 ps
OOK NRZ 1 Gbit/s	1 GBaud	100 ps
ODB 40 Gbit/s	40 GBaud	3.5 ps
DPSK 40 Gbit/s	40 GBaud	3 ps
Coherent DP-QPSK 100Gbit/s	25 GBaud	30 ps

5.2.13 การคำนวณวัดผลมาตรฐานการติดตั้งของ Path Way

หลังจากการติดตั้งและวัดค่า Loss ของสายเคเบิลแล้ว ผู้ติดตั้งต้องทำการคำนวณเพื่อตรวจสอบว่าค่าที่วัดได้จากการติดตั้งได้ผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดโดย CAT หรือไม่ หากไม่ผ่านผู้ติดตั้งต้องทำการแก้ไขให้ได้ตามค่ามาตรฐาน

5.2.13.1 ทำการคำนวณเปรียบเทียบค่า Loss ของสายจากทฤษฎีกับค่าที่วัดได้จริง

- คำนวณค่า Loss ของสายโดย

  L1 = (ค่า Loss/Km ที่ได้โรงงาน x ระยะสายจาก OTDR) + 1

- คำนวณค่าต่างของ Loss ที่วัดได้กับที่คำนวณโดย

  L(dif) = ค่า Loss จาก OTDR – Splice Loss – Connector Loss – L1

- คำนวณ % ค่าต่างของ Loss โดย

  %L(dif)={L(dif)x100}/L1

ในกรณีที่เป็นเคเบิลไม่ใช่ D/W Fiber ค่าที่ได้ต้องไม่เกิน 10% ทั้งนี้หากในทางปฏิบัติค่าที่ได้ไม่สามารถปรับให้ต่ำกว่าที่กำหนดได้ ให้ขอผ่อนผันกับ Inspector เป็นกรณีไป พร้อมแสดงเหตุผลชี้แจงมาในเอกสารตรวจรับงาน (โดย Inspector ต้องปรึกษากับ Auditor หรือ ผ่ายวิศวกรรมของ CAT เพื่อผ่อนผันก่อน)

5.2.13.2 ทำการคำนวณจำนวนจุด Splice และจำนวน Loop เพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนที่ติดตั้งจริง

- คำนวณจำนวนจุด Splice โดยจำนวนจุด Splice = {Round Up (ระยะสายจาก OTDR / 4,000)} + 1 จำนวนที่ติดตั้งจริงต้องไม่เกินค่าที่ได้ +1 หากจำนวนที่ติดตั้งเกินกว่านี้ให้ชี้แจงการ Splice ที่เกินมากับเอกสารตรวจรับงาน

- คำนวณจำนวน Loop โดยจำนวน Loop = [{Round Up (ระยะสายจาก OTDR / 4,000)} - 1] x 2 + 2 + [Round Up (ระยะสายจาก OTDR / 2,000) – Round Up (ระยะสายจาก OTDR / 4,000)] กรณีนี้เป็นกรณีที่ไม่มีการทำ Fixed Loop ระหว่างทาง

5.2.14 การคำนวณวัดผลคุณภาพของ System

หลังจากการติดตั้งและวัดค่า Loss ของสายเคเบิลแล้วหากค่าที่วัดได้ผ่านมาตรฐานข้อกำหนด Inspector ต้องพิจารณาว่าระบบที่ใช้งานเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ โดยทำการคำนวณหาค่า System Margin ที่ได้จริง

5.2.14.1 ทำการคำนวณตรวจสอบหาค่า System Margin จากการออกแบบโดย

- หาค่า Power Budget = Min Tx Power – Rx Sensitivity
- System Margin = Power Budget – Loss ทั้งหมดที่ได้จาก OTDR
- ค่า System Margin ที่ได้ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 4 dB

ทั้งนี้การคำนวณทั้งหมดต้องใช้ค่าความยาวคลื่นเดียวกับที่ใช้งานจริง และหากค่า System Margin ต่ำกว่า 3 dB Inspector ต้องถือว่าระบบไม่มีเสถียรภาพ

<u>รายการอุปกรณ์ เครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้ว</u>

ชุดเครื่องมือสำหรับปอกสาย Optical Fiber	
เครื่อง Fusion Splicer	
เครื่องวัดทดสอบ OTDR	
Power Meter และ Light Source	

Closure	
Aluminium High Plate	
Angle Thimble Eye Bolt	
B-Lashed Cable Support & Cable Spacer	
Cable Extension Metal Arm M1 M2 M3	
Cable Guard	

Cable Lashing Wire 0.045"	
Cable Name Plate	
Cable Suspension Clamp	
Curved CableSuspension Clamp	
Double Arming Bolt	
Double Expension Shield	
ไขควงแฉก	
สว่าน	
Double Arming Eye Bolt	

Figure (8) Cable Clamp Forged Eye Nut	
Galvanized Steel Ground Rod	
หัวแร้งแก๊ส	
ตะกั่วบัดกรี	
ขาตั้งตั้มสาย	
บันไดไม้ไผ่	

Figure (8) Cable Clamp Forged Eye Nut	
Galvanized Steel Ground Rod	
หัวแร้งแก๊ส	
ตะกั่วบัดกรี	
ขาตั้งตั้มสาย	
บันไดไม้ไผ่	

Machine Bolt	
Omega Steel Omega Type &U Type	
Oval Eye Bolt	
Pole Bracket	
Preformed Guy Grip Deadend	
ล้อวัดระยะทาง Measuring Wheels	
เข็มขัดเซฟตี้	

หมวก	
ถุงมือ	

บรรณานุกรม

[1] บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) “คู่มือมาตรฐานการติดตั้ง บำรุงรักษาโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสง”: กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน): สิงหาคม 2555.

[2] บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) “คู่มือมาตรฐานการติดตั้งวงจรสื่อสารข้อมูล”: กรุงเทพฯ: สิงหาคม 2555.

ภาคผนวก A

วิธีดำเนินการทดสอบเคเบิลใยแก้ว

การทดสอบเคเบิลใยแก้วแบ่งเป็นการทดสอบใน 3 ส่วนคือ

1. การทดสอบ Optical Fiber Characteristics

Attenuation & Optical Fiber Characteristics

: Not more than 0.33 dB/km at 1310 nm

: Not more than 0.32 dB/km at 1383 nm

:: Not more than 0.20 dB/km at 1550 nm

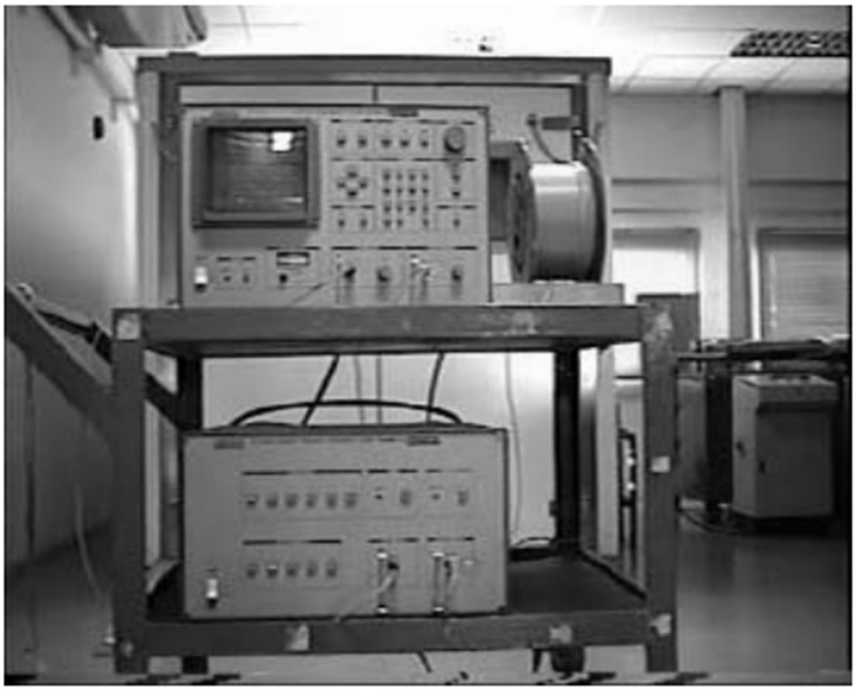
:: Not more than 0.21 dB/km at 1625 nm

Mode Field Diameter	: Shall be conformed to ITU-T Rec.G.652.D.
Cladding diameter	: 125 μm ± 1 μm or better
Cladding non-circularity	: Less than or equal to 1%
Core concentricity error	: The value shall not exceed 0.6 μm

Cable cut-off wave length (λ_{cc})

Cable cut-off wave length (λ_{cc}) : Less than or equal to 1260 nm

Chromatic dispersion coefficient (CD)



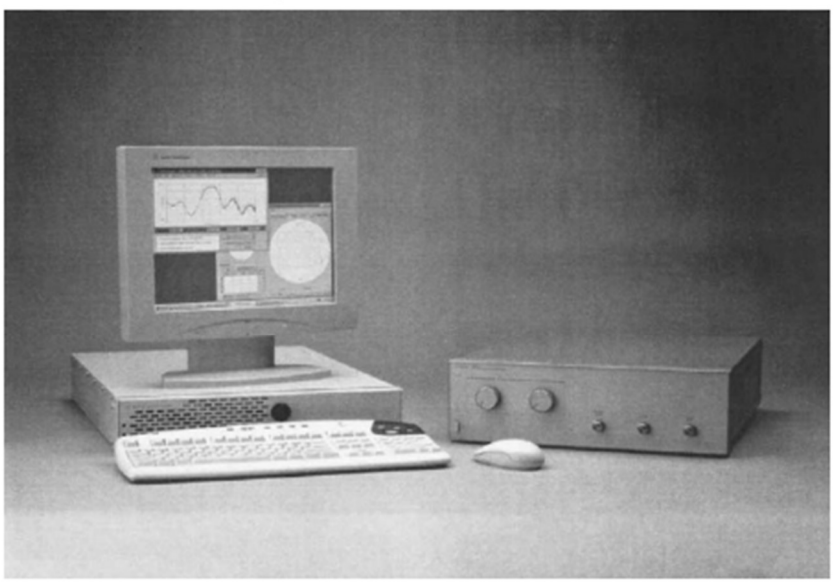
Chromatic dispersion coefficient : Not more than 3.5 ps/nm.km at 1310 nm

: Not more than 20 ps/nm.km at 1550 nm

Zero dispersionwavelength : 1300-1324 nm

Zero Dispersion Slope : Max. 0.093 ps/(nm2.km)

Polarization Mode Dispersion coefficient



Polarization Mode Dispersion coefficient (PMD) : Not more than 0.20 ps/√km

2. การทดสอบ Mechanical และ Environment

2.1 Tensile Loading test

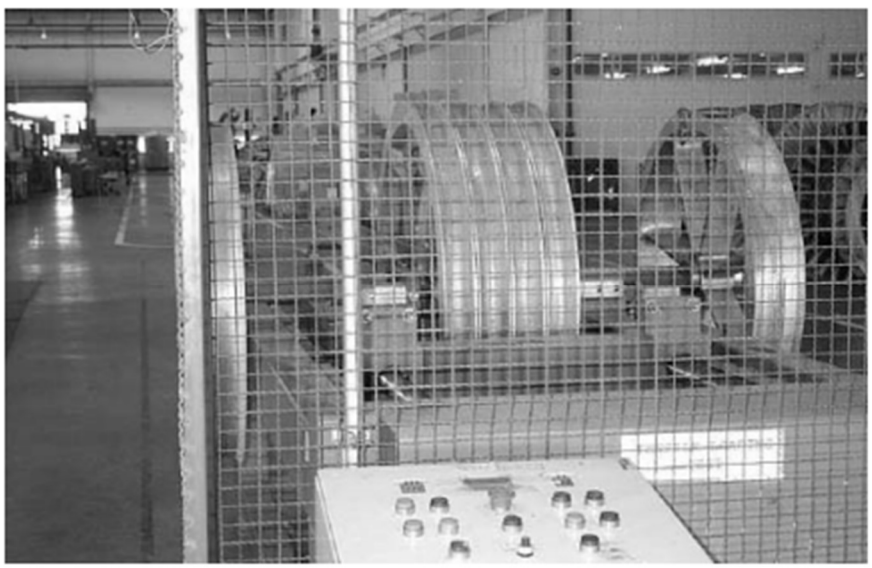
Test Method : IEC 60794-1-2 Method E1A or EIA 455-33A

Tensile Loading : At least as specified in the specification

Period : At least 1 hour

Criteria : Attenuation change before, during and after testing shall not exceed 0.05 dB @ 1550 nm and no physical damage.

: A fiber strain shall not be greater than 0.33% during and after testing.



2.2 Impact test

Test Method : IEC 60794-1-2 Method E4 or TIA/EIA-455-25C

Impact Energy : 4.4 N.m According to Table 1 in TIA/EIA-455-25C

Number of Cycle : 2 in 3 different places spaced not less than 500 mm apart

Criteria : Attenuation change during and after testing shall not exceed 0.1 dB @ 1550 nm and no physical damage

2.3 Crush or compressive loading resistance test

Test Method : IEC 60794-1-2 Method E3 or TIA/EIA-455-41A

Test Length : 100 mm

Load : 4,400 N (Armored cable)

: 2,200 N (Non armored cable)

Position : At least 3 times at 3 places where not less than 500 mm apart

Period : At least 10 minutes each

Criteria : Attenuation change during and after testing shall not exceed 0.1 dB @ 1550 nm and no physical damage

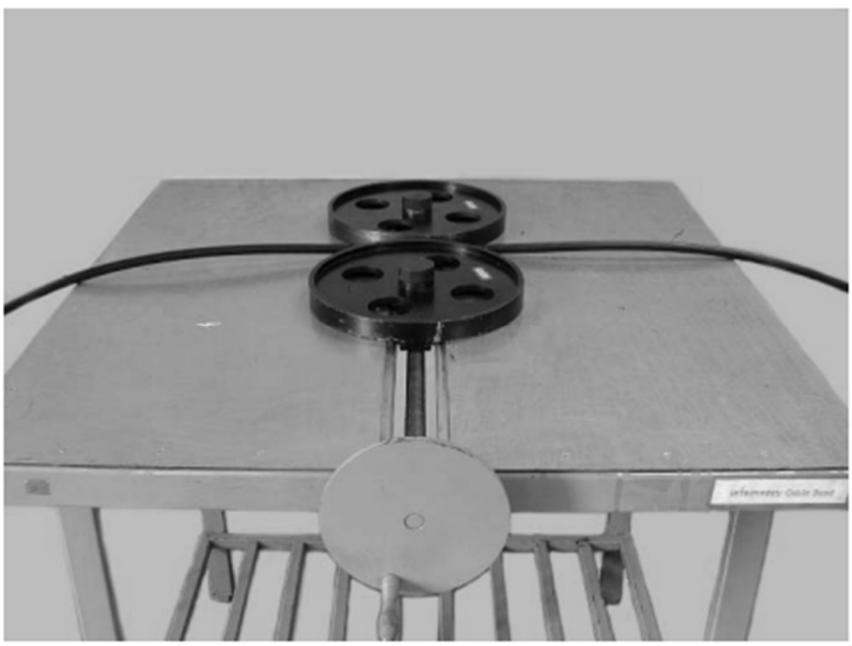
2.4 Bending test

Test Method : IEC 60794-1-2 Method E11B

Mandrel Diameter : 20xD (D is outer cable diameter excluding messenger wire)

Number of Cycle : At least 10 cycles

Criteria : Attenuation change during and after testing shall not exceed 0.1 dB @ 1550 nm and no physical damage



2.5 Repeated bending or cyclic flexing test

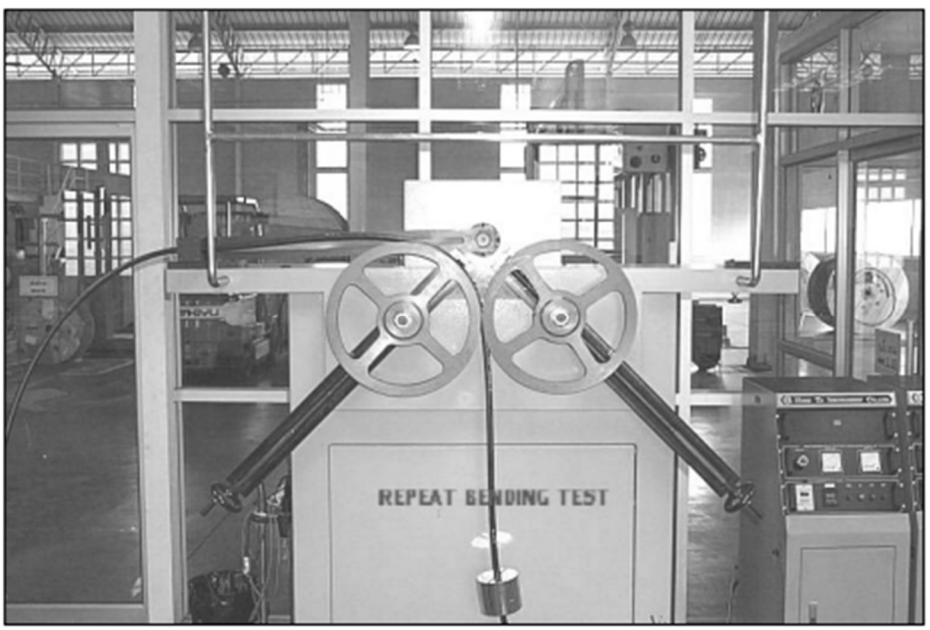
Test Method : IEC 60794-1-2 Method E6 or TIA/EIA-455-104A

Number of Cycle : At least 10 cycles

Bending radius : 20xD (D is outer cable diameter excluding messenger wire)

Angle of Turn : ±90°

Criteria : Attenuation change during and after testing shall not exceed 0.1 dB @ 1550 nm and no physical damage



2.6 Torsion or twist test

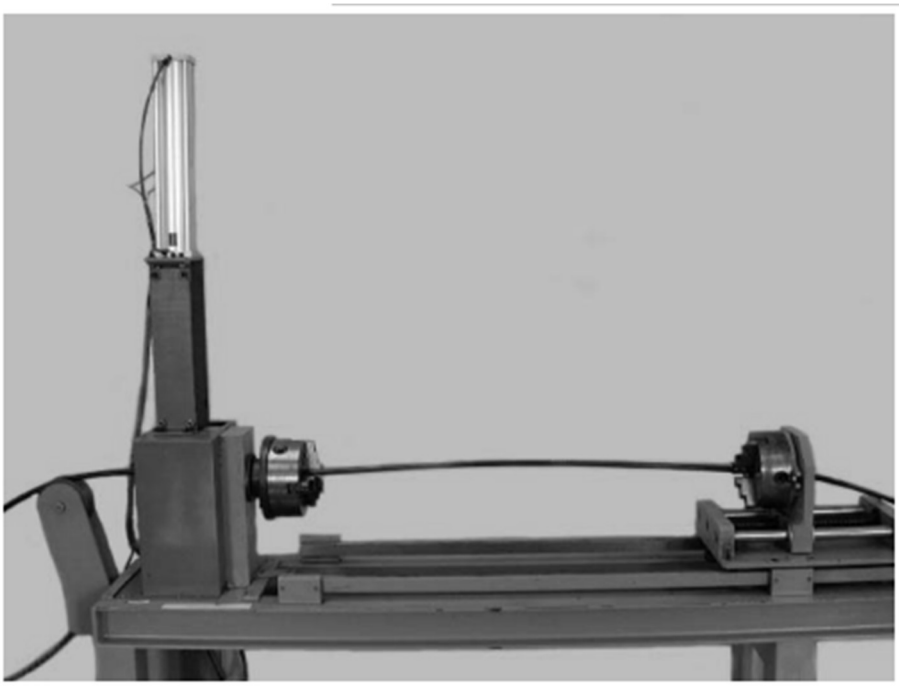
Test Method : IEC 60794-1-2 Method E7 or TIA/EIA-455-85A

Test Length : 1 m

Number of Cycle : At least 10 cycles

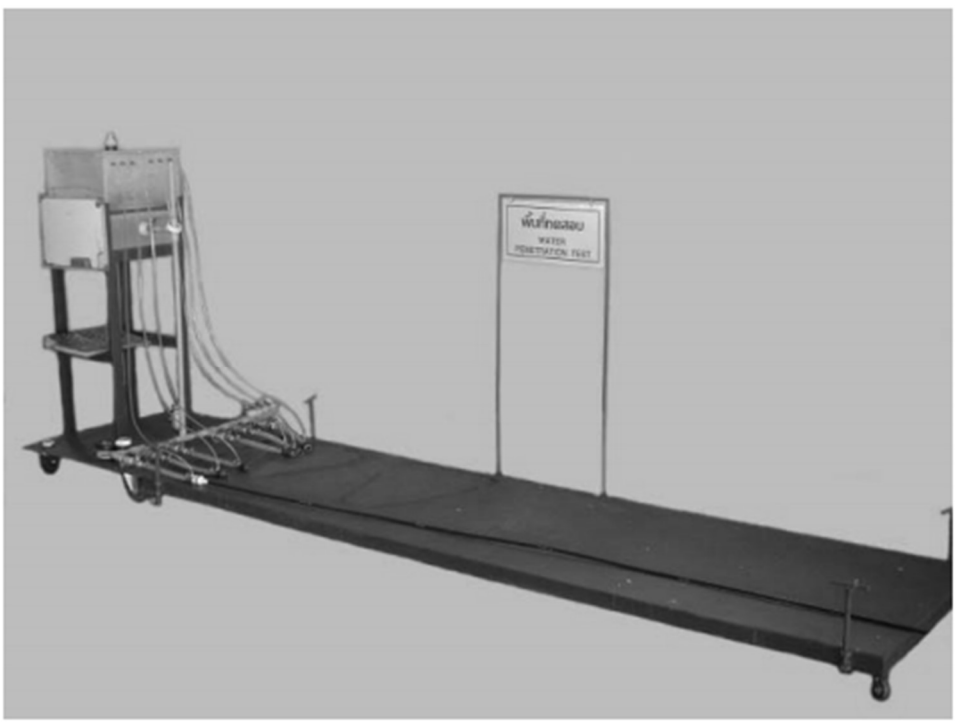
Angle of Turn : ±180°

Criteria : Attenuation change during and after testing shall not exceed 0.1 dB @ 1550 nm and no physical damage



2.7 Water penetration test

Test Method	: IEC 60794-1-2 Method F5B or TIA/EIA-455-82B
Height of Water	: 1 m
Cable Length	: 3 m
Period	: At least 24 hours
Criteria	: No fluid leakage



2.8 Temperature cycling test

Test Method	: IEC 60794-1-2 Method F1 or TIA/EIA-455-3A
Number of Cycle	: At least 1 cycle
Cycle and Temperature	: 1 cycle consists of -10°C for at least 16 hours and 70°C for at least 16 hours excluding soaking time
Criteria	: Attenuation change during and after testing shall not exceed 0.1 dB/Km @ 1550 nm and no physical damage

3. การทดสอบ Construction Check and Visual Inspection

3.1 Construction Check โครงสร้างภายในของเคเบิลใยแก้วต้องเป็นตามข้อกำหนดของ กสท และมีการทดสอบในส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1.1 Thickness of the Cable Jacket

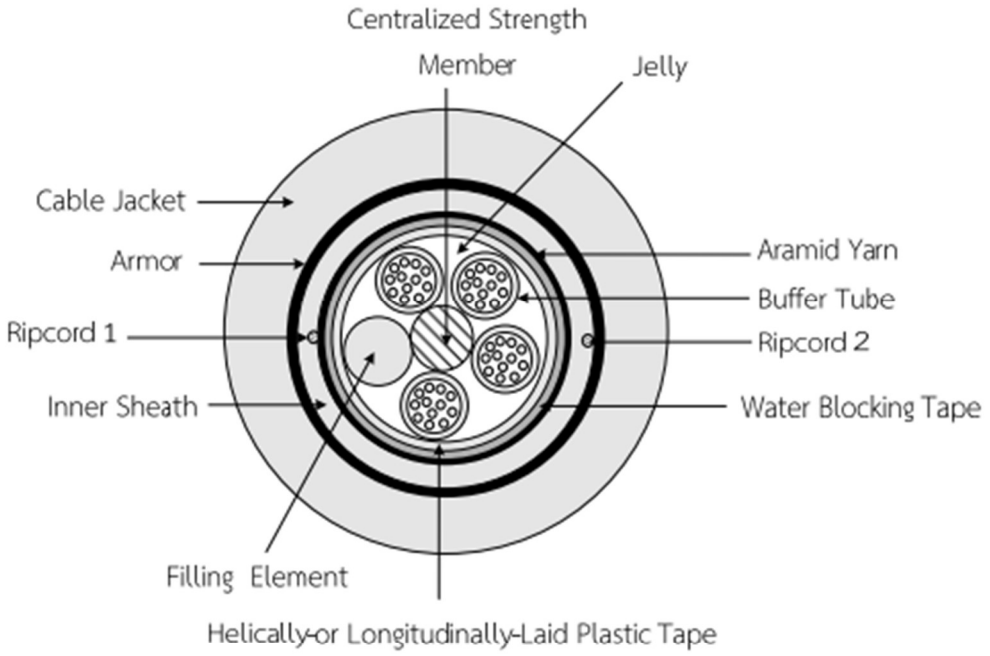
Test result : Measured value shall be in accordant with the value specified in the specification

3.1.2 Thickness of the Armor

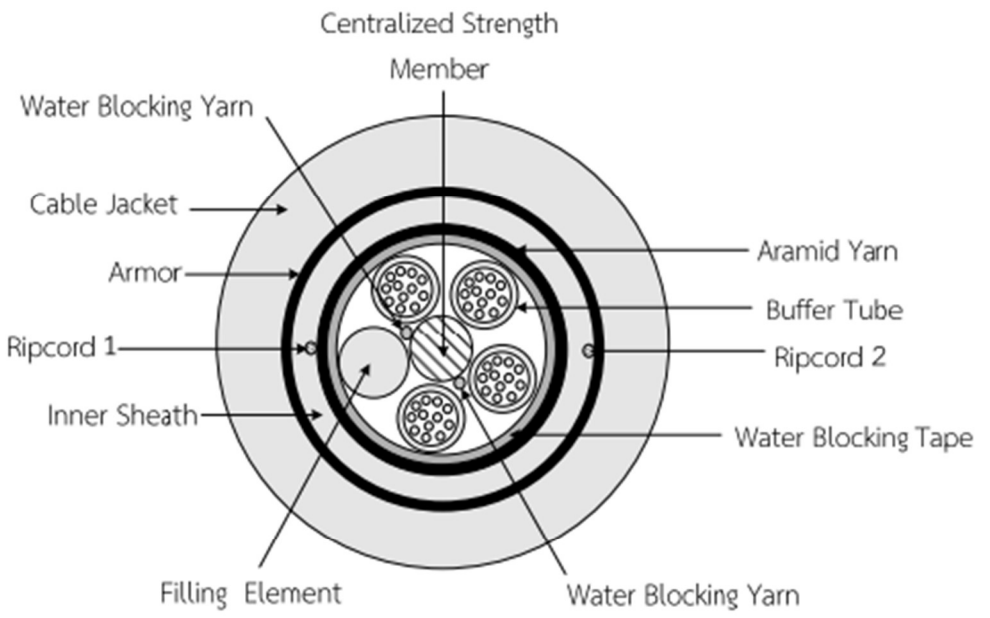
Test result : Measured value shall be in accordant with the value specified in the specification

3.1.3 Outer Diameter including Messenger Wire

Test result : Measured value shall be in accordant with the value specified in the specification

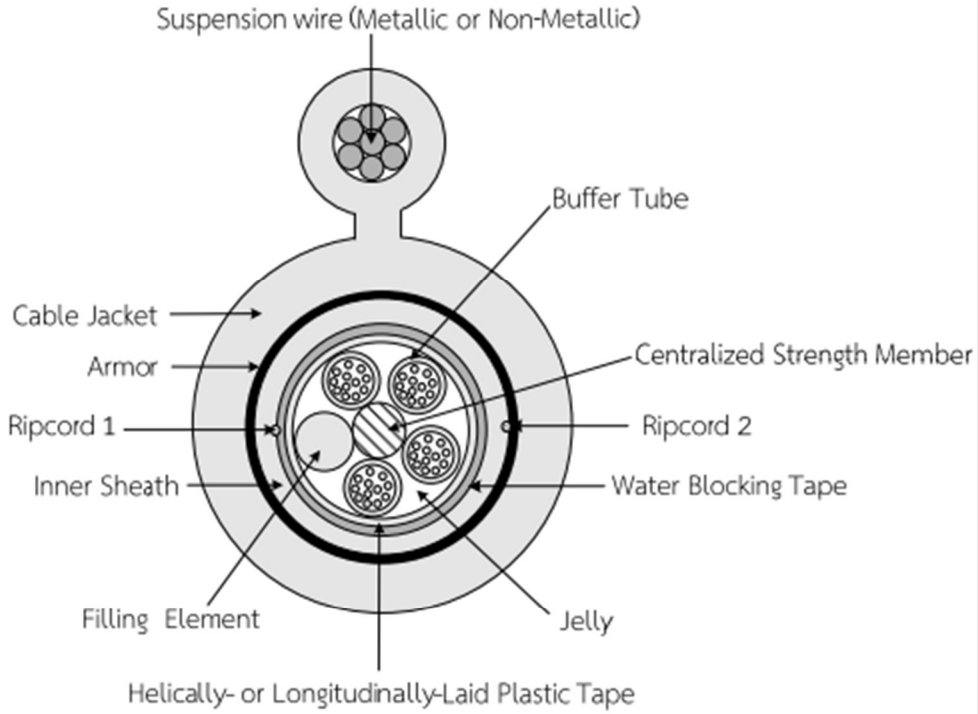


A. Filling compound using jelly

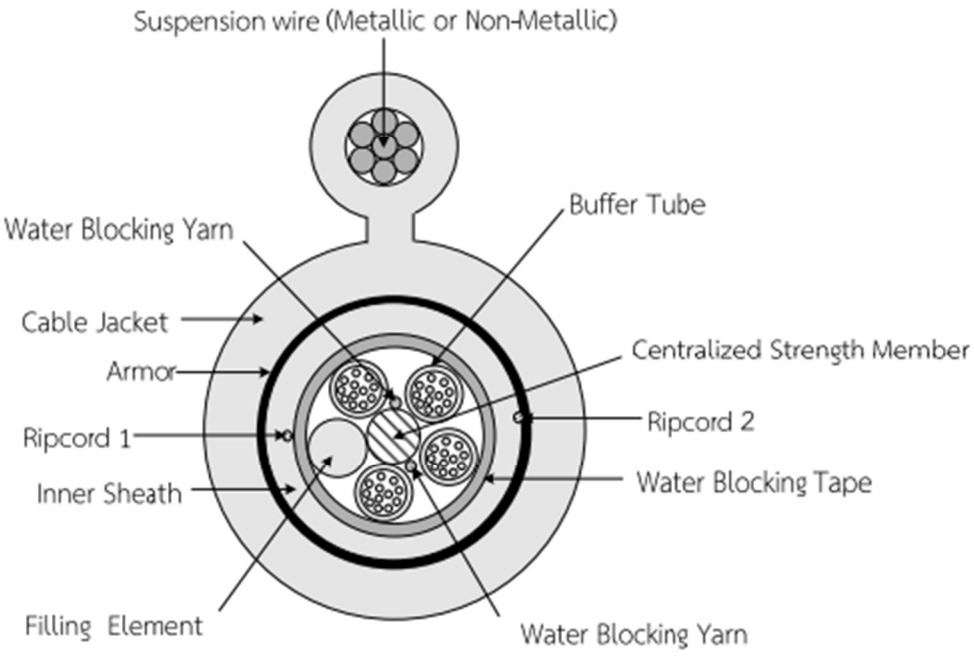


B. Filling compound using dry core

FIGURE 2-2.1 : ROUND LOOSE-TUBE OPTICAL FIBER CABLE



A. Filling compound using jelly



B. Filling compound using dry core

FIGURE 2-2.2 : FIGURE-EIGHT LOOSE-TUBE OPTICAL FIBER CABLE

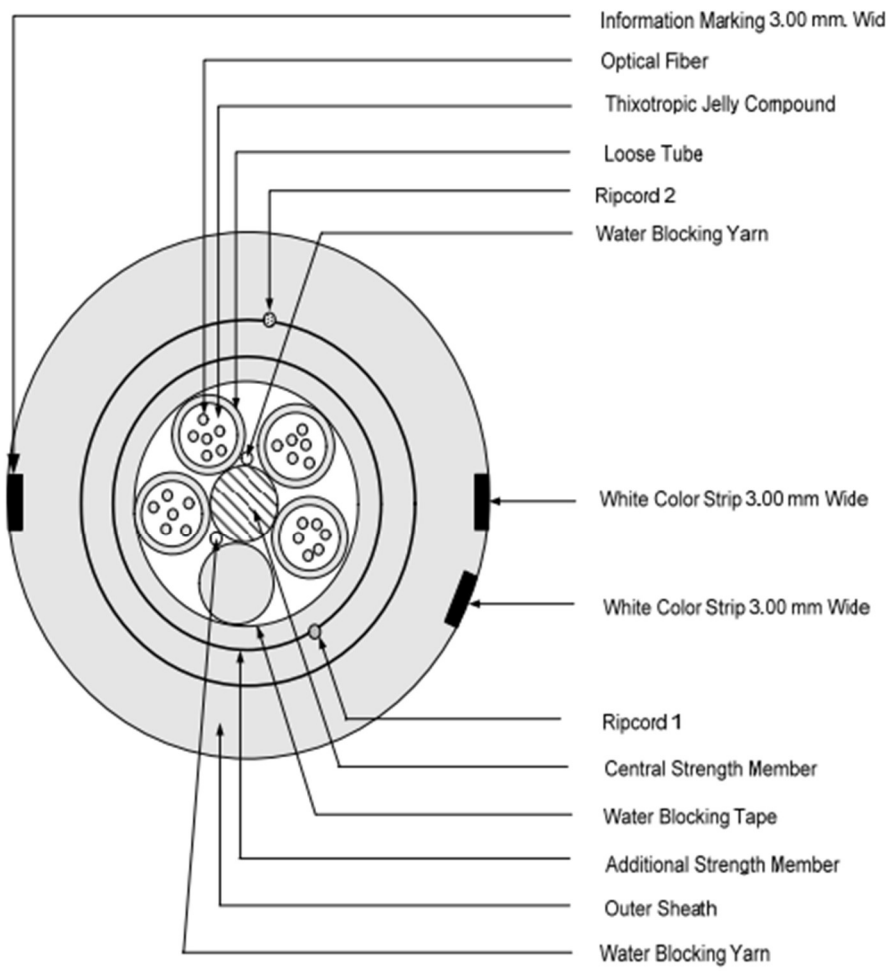


Figure 2-2.1 Cross-Section for ADSS cable

3.2 Visual Inspection

3.2.1 Marking

Test result : Measured value shall be in accordant with the value specified in the specification

3.2.2 Length

Test result : Measured value shall be in accordant with the value specified in the specification

3.2.3 Packing

Test result : Measured value shall be in accordant with the value specified in the specification

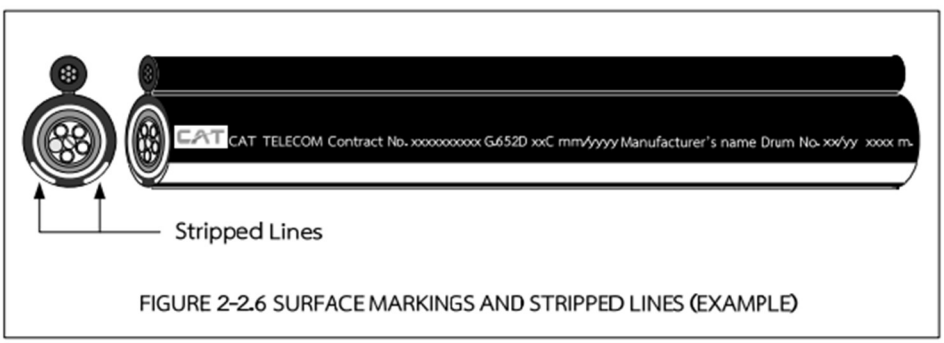


FIGURE 2-2.6 SURFACE MARKINGS AND STRIPPED LINES (EXAMPLE)

Cable outer surface markings shall be permanently marked with suitable size, easily readable and UV-proof with the following information at every interval of 1 meter throughout the length of cable.

1. The CAT's logo
2. The word "CAT TELECOM"
3. CAT's contract no. (เลขที่สัญญา)
4. Type (e.g., G.652.D) and number of cores
5. Date of manufacture (month/year)
6. Manufacturer's name
7. Drum Number/Number of drum (e.g., Drum XX/YY)
8. Length marking

ภาคผนวก B

ต้นเหตุของความเสียหายที่มีต่อเคเบิลใยแก้ว

1. ไฟฟ้าแรงสูงเหนี่ยวนำหรือช็อตลงสาย Strain หรือ Shield ของเคเบิล ทำให้เกิดความร้อนสูงจนทำให้เคเบิลได้รับความเสียหาย
2. หม้อแปลงไฟฟ้าระเบิดและอาจทำให้เกิดไฟไหม้สายเคเบิลใยแก้ว
3. ได้รับความเสียหายจากสัตว์กัดแทะ rodent เช่น หนู กระรอก กระแต ทำให้เคเบิลใยแก้วเสียหายชำรุด
4. โครงสร้างของเคเบิลใยแก้วไม่ได้มาตรฐาน เมื่อติดตั้งใช้งานไปนานๆ โครงสร้างของเคเบิลชั้นในเกิดการหดตัวหรือถูกรั้งออกไปอีกด้านหนึ่งตามแรงดึงที่มีอยู่ตลอดเวลา (ในกรณี ที่เป็นเคเบิลอากาศ) ทำให้ตำแหน่งที่มีการตัดต่อ fiber ซึ่งอยู่ภายใน closure หัก งอ จนได้รับความเสียหายได้
5. เคเบิลพาดอากาศในบางพื้นที่ล่อแหลมต่อการเกี่ยวชนโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ยานพาหนะ (รถยนต์) เช่น กรณีเคเบิลผ่านทางแยกต่างๆ หรือ พาดผ่านทางเข้าอาคารสำนักงาน สถานีบริการ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางแยกที่มีหม้อแปรงไฟฟ้าแรงสูงติดตั้งอยู่ด้วย
6. ขั้นตอนการติดตั้งเคเบิลปฏิบัติไม่ถูกวิธี โดยเฉพาะการติดตั้งเคเบิลอากาศร่วมกับการใช้อุปกรณ์ aluminum suspension clamp ซึ่งทำให้ fiber ได้รับความเสียหาย
7. มีการรื้อถอนเสาไฟฟ้าเพื่อขยายถนน ทำให้ต้องรื้อถอนสายเคเบิลใยแก้วลงมาวางกับพื้นและถูกรถยนต์เหยียบทับ โดยอาจทำให้เคเบิลใยแก้ว Crack และได้รับความเสียหายได้

ภาพไฟไหม้เคเบิลใยแก้ว

ภาพความเสียหายที่เกิดจากสัตว์กัดแทะ

ความเสียหายที่เกิดจากขั้นตอนหรือการปฏิบัติการติดตั้งเคเบิลฯ ไม่ถูกวิธี

ภาพความเสียหายที่เกิดจากยานพาหนะ (รถยนต์บรรทุกขนาดใหญ่)

ภาพการรื้อถอนเสาไฟฟ้าเพื่อขยายถนน ทำให้ต้องปลดสายเคเบิลใยแก้วลงมาวางกับพื้น
ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายกับสายเคเบิลฯ

ทั้งนี้ มาตรฐานความปลอดภัยสำหรับการปฏิบัติงานติดตั้งและบำรุงรักษาข่ายสายตอนนอกและงานสายภายในอาคาร สามารถศึกษาจากคู่มือความปลอดภัยในการปฏิบัติงานติดตั้งและบำรุงรักษาข่ายสายตอนนอก และ คู่มือความปลอดภัยในการปฏิบัติงานติดตั้งและบำรุงรักษาสายภายในอาคาร

การตรวจสอบค้นหาตำแหน่งของเคเบิลใยแก้วที่ชำรุด ด้วยเครื่องทดสอบOTDR

โดยอาศัย route map ซึ่งแสดงให้เห็นถึงระยะทางเคเบิล และถ้าตำแหน่งของ closure มาประกอบในการค้นหาตำแหน่งใหม่ที่ชำรุด โปรดจำไว้ว่า ระยะทางบนผิวจราจรนั้นคลาดเคลื่อนกันพอสมควร กล่าวคือ ระยะเคเบิลจะมีความยาวมากกว่าระยะทางผิวจราจรเสมอ อันเนื่องมาจากตำแหน่งที่มีการตัดต่อ fiber ไม่ว่าที่ใดๆ ก็ตาม โดยปกติต้องเผื่อความยาวเคเบิลทั้งสองด้านเอาไว้ด้านละประมาณ 15–20 เมตร เพื่อความสะดวกต่อการปฏิบัติงานตรวจสอบสภาพทางสายเคเบิลร่วมกับเครื่องมือทดสอบ OTDR และ route map ถ้าหากไม่พบสิ่งผิดปกติจากการสังเกตด้วยสายตา เราสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กรณีดังนี้

1. หาก fiber ขาดทุกเส้นหรือขาดบางเส้น เป็นไปได้ว่า เคเบิลที่ชำรุดนั้นอาจจะมีสาเหตุมาจากเคเบิลไหม้อันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากไฟฟ้าแรงสูงเหนี่ยวนำหรือซ็อตลงสาย strain หรือ shield ของเคเบิล หรือซ็อตลงเสาไฟฟ้าซึ่งบังเอิญสายเคเบิลใยแก้วพาดแนบติดกับเสาไฟฟ้านั้นโดยตรง

❑ อีกกรณีหนึ่งถ้าหากระยะทางเคเบิลที่อ่านได้จาก OTDR เป็นตำแหน่งเดียวกับการตัดต่อ fiber บน closure ซึ่งมีการจดบันทึกเอาไว้ล่วงหน้านี้แล้ว ตำแหน่งที่ชำรุดอาจเป็นไปได้ว่า fiber หักอยู่ภายใน closure นั้นเองโดยมีสาเหตุที่ทำให้ชำรุดในลักษณะนี้มากที่สุดก็คือ ขั้นตอนการปอกสายเคเบิลไม่ถูกวิธี กล่าวคือ ผู้ปฏิบัติงานอาจจะใช้ใบมีดไปสัมผัสกับ fiber โดยมิได้ตั้งใจ หรือการทำความสะอาด gel compound ให้หมดไปจากผิว fiber ซึ่งอาจจะทำให้เกิดรอยร้าวบน fiber ได้และเมื่อระยะเวลาผ่านพ้นไป สภาพสิ่งแวดล้อมจากภายนอก ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ความชื้นของอากาศ และแรงสั่นสะเทือนสิ่งต่างๆ เหล่านี้จะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ fiber หัก เสียหาย เกิดขึ้นได้ในเวลาต่อมา

2. ค่า Loss สูงเกิดขึ้นบน fiber เป็นบางเส้นหรือทุกๆ เส้นที่ระยะความยาวเดียวกัน เป็นไปได้ว่าเคเบิลที่ติดตั้งไว้นั้นไม่ว่าจะพาดแขวนอากาศ หรือร้อยท่อใต้ดินก็ตาม อาจจะรับแรงจากภายนอกมากดทับหรือเกี่ยวจนทำให้สายเคเบิลมีลักษณะโค้งงอหรือที่เรียกว่า "macro bending" หรือไม่เช่นนั้นอาจเกิดภายในหัวต่อ closure ซึ่งบางครั้งการจัดเก็บ fiber บน organized tray นั้นรัศมีความโค้งของ fiber อาจจะน้อยเกินไป (น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร) นอกจากนี้สาเหตุที่ทำให้เกิดค่า Loss สูงอีกอย่างหนึ่งคือการเชื่อมต่อ fiber โดยการใช้ connector ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเกิดจากหน้าสัมผัสไม่สะอาด หรือ connector ชำรุด

ภาคผนวก C

ข้อกำหนดการติดตั้งงานข่ายสายตอนนอก

1. ขั้นตอนการติดตั้ง

1.1. ติดตั้ง FODF และ FODP ที่สถานีต้นทางและสถานีปลายทาง (In-plant Preparation)

1.2. เตรียมงาน/ติดตั้ง/ก่อสร้างงาน Civil

1.3. ดำเนินการพาด/ติดตั้งเคเบิล (Cable Placing)

1.4. เชื่อมต่อเคเบิลแต่ละช่วงเข้าด้วยกัน (Cable Splicing)

1.5. Terminate เคเบิลที่ FODF

1.6. ทดสอบการเชื่อมโยง (Testing)

1.7. เก็บงาน (Site Cleaning)

2. ข้อกำหนดทั่วไป

2.1 การวางเคเบิล

2.1.1 สายเคเบิลที่แขวนบนเสาตามแนวถนน ควรมีลูกรอกขณะดึง

2.1.2 ห้ามดึงเคเบิลข้ามรั้ว ผนัง อุปกรณ์บนเสาไฟฟ้า หรือวัสดุที่มีคม

2.1.3 รัศมีความโค้งของเคเบิล ต้องไม่น้อยกว่า 20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเคเบิล

2.1.4 ถ้าพบเคเบิลมีสภาพผิดปกติหรือชำรุด ต้องแจ้งให้ผู้รับจ้างทราบ และต้องซ่อมแซมหรือเปลี่ยนใหม่

2.1.5 จุดที่เคเบิลร้อยท่อภายหลังการร้อยท่อเสร็จ ต้องปิดท่อและ Sub-Duct ให้เรียบร้อยรวมถึงปิดท่อ Sub-Duct ที่ไม่ได้ใช้งานด้วย

3. Cable Work

3.1. จุดสำคัญสำหรับงาน Cable Work

3.1.1 การขนส่ง การเก็บเคเบิล และวัสดุต่างๆ

3.1.2 การวางหรือการดึงเคเบิล

3.1.3 การเข้าสายเคเบิล (Cable Termination)

3.1.4 การตรวจงานและการบันทึกรายงาน

3.1.5 ความปลอดภัยในการทำงาน

3.1.6 การทดสอบสื่อสัญญาณ

3.2 Arial Cable

3.2.1 ความสูงของการติดตั้งเคเบิล 5.50–6.00 ม. เหนือระดับพื้นราบและใต้ระดับแนวไฟฟ้าแรงต่ำของเสา 22/33/115 kV ประมาณ 1.2 ม.

3.2.2 กรณีที่เคเบิลพาดผ่านอุปกรณ์แรงสูงเช่น หม้อแปลง Cap, Bank ฯลฯ ให้ติดตั้งตามข้อกำหนดในแต่ละกรณี เช่น ติดตั้งโครงเหล็กค้ำยันเพื่อเบี่ยงแนวเคเบิล หรือ sag ลงที่เสาไฟฟ้าก่อนถึงอุปกรณ์ดังกล่าว

3.2.3 แรงดึงในเส้นเคเบิลในขณะติดตั้งต้องไม่เกิน 360 กก.

3.2.4 เคเบิล Sag ต้องไม่เกิน 1% หรือระยะ Sag ประมาณไม่เกิน 40 ซม. สำหรับระยะห่างเสา 40 ซม.

3.2.5 จุดที่ต้อง Spare เคเบิล

- ❑ ทุกๆ ระยะทาง 2 กม. – ให้ Spare 30 ม.
- ❑ จุดเชื่อมต่อเคเบิล (Splice Enclosure) – ให้ Spare 15 ม. ทั้งสองข้างของ Splice Enclosure
- ❑ Riser Pole ทุกต้น (จุดเข้าออกสถานี, จุดPipe Jacking, Bridge Crossing) – ให้ Spare 15 ม.
- ❑ การม้วนเก็บสายเคเบิล Spare ทำโดยม้วนเป็นขดวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 ซม.

3.3 การตัดต่อเคเบิล

3.3.1 ให้ Splice Enclosure แบบ Straight Joint

3.3.2 ให้ Spare โดยการขดสายทั้งสองข้าง ข้างก่อนเข้า Splice Enclosure ข้างละ 15 ม. เพื่อความสะดวกในการติดตั้งและบำรุงรักษา

3.3.3 ไม่อนุญาตให้ทำการ Splice บนเสา ต้องทำบนพื้นราบเท่านั้น

3.3.4 การตัดต่อต้องใช้วิธี Fusion Splicing

3.3.5 ค่าความสูญเสียในจุดเชื่อมต่อ (Splicing) ต่อ 1 จุดไม่เกิน 0.15 dB

3.4 In-Plant (งานติดตั้งเคเบิลในสถานี)

3.4.1 เคเบิลต้องติดตั้งบนรางเคเบิลหรือร้อยสายท่อที่มีอยู่เดิมหรือจัดสร้างขึ้นใหม่

3.4.2 ที่ Fiber Optic Distribution Panel (FODP) ให้ Spare เคเบิลความยาวที่เหมาะสมโดยการ Loop ไว้

3.4.3 สาย Pigtail ต้องใช้ Optical fiber ชนิดเดียวกับ Optical fiber ของเคเบิล กล่าวคือถ้าเคเบิลใน route นั้นเป็น G.652 สาย Pigtail ต้องใช้ชนิด G.652 ถ้าเคเบิลใน route นั้นเป็น G.655 สาย Pigtail ต้องใช้ชนิด G.655

3.5 การนำเคเบิลเข้า/ออกสถานี/สำนักงาน

3.5.1 มีวิธีการเข้า/ออก 2 วิธีคือ

- ❑ Underground: โดยการทำ Riser และ Duct เชื่อมต่อเข้าอาคาร

- ❑ Arial หรือ Overhead: โดยการพาดเคเบิลไปยังเสาไฟฟ้าที่อยู่ใกล้อาคารสถานี และพาดต่อไปยังอาคารและหาจุดยึดเคเบิลที่เหมาะสม หลังจากนั้นให้ร้อยเคเบิลในท่อโลหะและยึดเกาะอาคารไปจนถึงจุดที่จะนำเคเบิลเข้าสู่ตัวอาคาร (ในบางกรณี จำเป็นต้องปักเสาเพิ่มตำแหน่งใกล้อาคารเพื่อรองรับเคเบิลก่อนเข้าอาคาร)

4. Civil Work

4.1 จุดสำคัญ

4.1.1 Pipe Jacking

4.1.2 Riser and Under Ground Duct (GIP and PVC)

4.1.3 Bridge Crossing

4.1.4 Pullbox

4.1.5 การฝังกลบและซ่อนพื้นผิวที่ขุด

4.2 Duct Cable

4.2.1 การติดตั้งเคเบิลลอดใต้ถนนใหญ่หรือทางรถไฟที่กำหนดให้เป็นแบบดันท่อลอด (Pipe Jacking)

- ❑ ให้ใช้ท่อชนิด GIP ขนาด Diameter 100 mm (4 นิ้ว) จำนวน 1 ท่อ
- ❑ ให้ร้อยท่อ Sub-Duct (ductline) ทำด้วย HDPE สีดำขนาด Diameter 29.8 mm จำนวน 3 ท่อทุกจุดที่มีการวางท่อ GIP หรือ PVC ขนาด 4 นิ้ว
- ❑ ภายใน Sub-Duct ต้องมีเชือกทำด้วย Nylon ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1 มม.
- ❑ ปลายท่อ Sub-Duct ต้องมีวัสดุปิดปลายท่อ ที่สามารถกันน้ำเข้าท่อได้

4.2.2 การติดตั้งเคเบิลเพื่อข้ามแม่น้ำที่กำหนดให้เป็นแบบร้อยท่อเกาะสะพาน (Bridge Crossing)

- ❑ ให้ติดตั้งท่อชนิด GIP หรือ PVC ขนาด Diameter 50 mm (2 นิ้ว) ยึดติดกับโครงสร้างสะพานตลอดแนว พร้อมบ่อพักและ riser ทั้ง 2 ด้านของเชิงสะพาน
- ❑ วิธีการยึดท่อชนิด GIP หรือ PVC เข้ากับโครงสร้างสะพานให้เป็นไปตามความเหมาะสมและเป็นวิธีที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกำหนด
- ❑ บ่อพักที่ใช้ในการกำหนดเป็นแบบ JUF-11 ตามมาตรฐานของ NT

4.2.3 กรณีการวางเคเบิลใต้ดินนอกเหนือจากการลอดใต้ถนนหรือทางรถไฟ เช่นบนทางเท้าต้องร้อยเคเบิลในท่อ โดยวางท่อขนาด 100 มม. พร้อม Sub-Duct จำนวน 3 ท่อและต้องมีบ่อพัก JUF-11 ทุกระยะระหว่างบ่อพักไม่เกิน 200 ม. ท่อร้อยสายต้องเป็นชนิดรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ❑ PVC ในกรณีกลบทราย (in Sand) ต้องมีความหนา 5.7 + 0.35 มม. และในกรณีที่หุ้มคอนกรีตเสริมเหล็ก (in RC) ต้องมีความหนา 3.0 + 0.30 มม. ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 216-2524

- ❑ HDPE มีเส้นผ่านศูนย์กลางรวม 125 มม. ความหนา 10 มม. ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 982-2533
- ❑ GIP เป็นท่อทำด้วยเหล็กอาบสังกะสี ที่มีคุณสมบัติชนิด Medium Grade Class B ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ มอก. 277-2532

4.2.4 เคเบิลร้อยท่อใต้ดิน จะต้องมีแผ่นป้าย (Maker Tag) กำกับไว้ในทุกๆ บ่อพักเคเบิล แผ่นป้ายดังกล่าว จะต้องมีคุณสมบัติทนต่อทุกสภาวะแวดล้อม ต้องแสดงรายละเอียดดังนี้

- ❑ ชนิดสายเคเบิล
- ❑ วันเดือนปี ที่ติดตั้งเคเบิล
- ❑ ชื่อสถานที่ต้นทางและปลายทาง

5. เครื่องมือที่ใช้ในงานติดตั้ง

5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ช่วยในการติดตั้งเคเบิล ได้แก่

5.1.1 Tensioner

5.1.2 Puller

5.1.3 Traveler

5.1.4 Dynamometer

5.1.5 Winch

5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมต่อเคเบิลได้แก่

5.2.1 Fusion Splicer

5.2.2 Cleaver

5.2.3 Stripper

5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบได้ต่อ

5.3.1 OTDR

5.3.2 Power Meter and Light Source

6. การทดสอบสื่อสัญญาณในขั้นตอน Commissioning Test, Provisioning Acceptance Test (PAT)

6.1 End to End Attenuation Test โดยการใช้ Power Meter and Light Source เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

6.2 Splice Loss Test โดยการใช้ Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) โดยค่า Splice Loss ต่อ 1 จุดต้องมีค่าไม่เกิน 0.15 dB เมื่อวัดที่ความยาวคลื่น 1550 nm

ภาคผนวก D

ตัวอย่างรายละเอียดการตรวจรับงานขยายโครงข่ายเคเบิลใยแก้ว แบบที่ 1

รายละเอียดในการตรวจสอบก่อนเริ่มงานติดตั้ง

Section	เลขหมายเส้นทาง	ชื่อเส้นทาง	ระยะทางของเส้นทาง (กม.)	ชนิดเคเบิล

รายละเอียด	มี	ไม่มี	หมายเหตุ
1. การตรวจสอบแบบติดตั้งพบว่ามีอุปสรรคในตำแหน่งที่ติดตั้ง เช่น บ่อพัก ,แนวท่อร้อยสาย , การปักเสา เป็นต้น			
2. ผู้รับจ้างได้เริ่มงานหลังจากได้รับ/มี ● หนังสือแจ้งเปิดงาน ● ใบอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง กทม, MEA, PEA, กรมทรงหลวง, แขวงการทาง, เทศบาล, อบต, อบจ. ฯลฯ			
3. ผู้รับจ้างได้รับ/มีเอกสารอนุมัติการใช้วัสดุติดตั้งและเคเบิลตามข้อกำหนด _PEA.			
4. ผู้รับจ้างมีการประสานงานด้านการจราจรเรียบร้อยแล้ว			
5. ผู้รับจ้างได้จัดทำป้ายประกาศเตือน ณ บริเวณที่ติดตั้ง			

รายละเอียดในการตรวจสอบงาน Arial Cable

Section	เลขหมายเส้นทาง	ชื่อเส้นทาง	ระยะทางของเส้นทาง (กม.)	ชนิดเคเบิล

รายละเอียด	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	หมายเหตุ
1. การติดตั้งเคเบิลอากาศ (Aerial Cable Installation)			
1.1 ระยะความสูงของเคเบิลจากพื้นดิน (Clearance form Overhead Cables) มีระยะห่างจากไฟฟ้าแรงสูง ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าฯ			
1.2 การติดตั้งเคเบิลเมื่อผ่านอุปกรณ์แรงสูงเป็นไปตามข้อกำหนด			
1.3 ความตึงของเคเบิล (Tension of Cable)			
1.4 มีการ Sag ไม่เกิน 40 cm. ของ Span 40 – 50 เมตร (Sag ≤ 1%)			
1.5 มีการ Loop เคเบิล (30 เมตร) ไว้ที่เสาทุกระยะ 2 กม.			
1.6 การติดตั้ง Support หรือ Clamp			
1.7 การจัดสายเคเบิลขึ้นเสา (Riser Cables)			
1.8 ติดตั้งป้ายบอกความสูงจริงของเคเบิลตามทางแยกต่างๆ			
2 การตัดต่อเคเบิลอากาศ (Aerial Cable Splices)			
2.1 การติดตั้ง Splice Enclosure อยู่ในสภาพเรียบร้อย			
2.2 มีการเผื่อเคเบิลข้างละ 15 เมตรที่ทั้งสองด้านของหัวต่อ			
2.3 การตัดต่อด้วยวิธี Fusion Splice ของเครื่องตัดต่อ OFC			
2.4 มีการ Set Core Alignment ด้วยวิธีอัตโนมัติของเครื่องตัดต่อ OFC			
2.5 ค่า Splice Loss ไม่เกิน 0.05 at 1550 nm			
3 Cable Incoming			
3.1 การยึดเคเบิลเข้ากับอาคารสำนักงาน			
3.2 การติดตั้งท่อร้อยสายหรือรางเคเบิลเข้าสู่ห้องสื่อสาร			
3.3 มีการเผื่อเคเบิล 15 ม. ก่อนเข้าอาคาร			

รายละเอียดในการตรวจสอบงาน Civil / Duct Cable

Section	เลขหมายเส้นทาง	ชื่อเส้นทาง	ระยะทางของเส้นทาง (กม.)	ชนิดเคเบิล

รายละเอียด	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	หมายเหตุ
1. Pull box			
1.1 ตำแหน่ง Pull box ตามแบบติดตั้ง			
1.2 ขนาดและชนิดของ Pull box ตามแบบติดตั้ง			
1.3 ฝาบ่อปิดได้สนิทและระดับเสมอขอบฝาบ่อ			
1.4 ระดับบริเวณโดยรอบมีการซ่อมเรียบร้อย			
2. Duct Route			
2.1. การวางแนวท่อและจำนวนท่อเป็นไปตามแบบ			
2.2. ระดับการวางท่อ, วัสดุถมกลับไปตามมาตรฐาน			
2.3. จำนวน Sub Duct ครบ			
2.4. Sub Duct มีการอุดปลั๊กยางเรียบร้อย			
2.5. การทดสอบท่อร้อยสาย			
3. Pipe Jacking			
3.1. การป้องกันไม่ให้ผิวจราจรเสียหาย			
3.2. ความแข็งแรงของจุดเชื่อมต่อท่อ GIP และ PVC			
3.3. การทดสอบท่อ Pipe Jacking			
3.4. การซ่อมผิวจราจร/พื้นที่ทำงานให้เหมือนเดิม			
4. Bridge crossing 4.1. การติดตั้งท่อมั่นคงแข็งแรง 4.2. การเชื่อมต่อท่อ PVC/GIP เข้ากับ Pull box			
5. Riser 5.1. GIP Pipe 5.2. การติดตั้ง Riser Support 5.3. Sub Duct มีการอุดปลั๊กยางเรียบร้อย			
6. Cable incoming			
6.1 การติดตั้ง Riser			
6.2 การติดตั้ง Sub Duct มั่นคงแข็งแรง			
6.3 การติดตั้งท่อร้อยสายหรือรางเคเบิลเข้าสู่ห้องสื่อสาร			

รายละเอียดในการตรวจสอบงาน In - Plant

Section	เลขหมายเส้นทาง	ชื่อเส้นทาง	ระยะทางของเส้นทาง (กม.)	ชนิดเคเบิล

รายละเอียด	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	หมายเหตุ
1. Fiber Optic Distribution Rack (FODR) และ Fiber Optic Distribution Panel (FODP)			
1.1 FDOR และ FODP ได้รับการติดตั้งอย่างเรียบร้อยและมั่นคง			
1.2 เคเบิลได้รับการติดตั้งเข้ากับรางและ FODR อย่างถูกต้องและปลอดภัย และมี Cable Tag บอกรายละเอียด			
1.3 Pigtail เป็นชนิดเดียวกับ Optical Cable (G.652/G.655)			
1.4 การเข้าหัว Connector และ Through Connector ถูกต้องเรียบร้อย			
1.5 การกำหนด Core ของเคเบิลถูกต้องตาม Core Assignment Drawing			
1.6 ปิดฝาครอบกันฝุ่นหัว Connector ที่ยังไม่ใช้งานให้เรียบร้อย			
1.7 แผ่นป้ายหรือ Marking บอก Core ของเคเบิลที่สาย Pigtail ติดไว้อย่างถูกต้อง			
1.8 แผ่นป้ายบอก Core ของเคเบิลที่ผาของ FODP และบนแผงของ FODR ติดไว้อย่างถูกต้องและเรียบร้อย			
1.9 มีการ Loop เคเบิลไว้อย่างเพียงพอที่กล่อง FODP			
1.10มีการจัดสาย Pigtail ที่ FODP อย่างเรียบร้อยและง่ายต่อการทำงาน			
1.11 การลงกราวด์ ตู้ FODF			
2. การใช้งาน OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)			
2.1. เครื่องควรได้รับการปรับแต่ง (Calibration) ในเรื่องความเที่ยงตรงในการวัดอย่างถูกต้อง			
2.2. ผลการทดสอบเคเบิลเป็นไปตามข้อกำหนด (ค่า Cable Loss, Splice Loss, Link Loss)			
2.3. ความยาวคลื่นที่ใช้ทดสอบคือ 1550 nm			
2.4. ค่าความยาวเคเบิล (ระหว่าง 2 จุดในกราฟของเครื่อง) มีค่า			

ใกล้เคียงความยาวใน Detail Design Drawing			
2.5. ดัชนีหักเหของแสงมีค่าถูกต้องตาม Spec. ของเคเบิลที่ใช้ในงานติดตั้ง			
3. การใช้ OTDR วัดค่า Link Loss = Cable loss + Splice loss			
3.1. เช็คค่า Loss ของทุก Core ของเคเบิล (ทั้งไปและกลับ)			
3.2. ค่า Loss ที่จุดตัดต่อต้องไม่เกิน 0.1 dB			
4. การหาค่า Link Loss ทั้งหมดของ Cable (โดยใช้ Light Source และ Power Meter)			
4.1. เครื่องที่ใช้ได้รับการปรับแต่ง (Calibration) ในเรื่องความเที่ยงตรงในการวัดอย่างถูกต้อง			
4.2. เช็คค่าความแรงของสัญญาณที่ใช้ส่ง			
4.3. เช็คค่าระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับ			
4.4. ค่า Loss ที่วัดได้จากผลทดสอบในการสร้างไม่เกินค่าที่คิดจากการคำนวณ			

ตัวอย่างรายละเอียดการตรวจรับงานขยายโครงข่ายเคเบิลใยแก้ว แบบที่ 2

CONSTRUCTION ACCEPTANCE TEST DATA OPTICAL FIBER CABLE WORK การตรวจสอบการสร้างงานเคเบิลใยแก้ว				
Contractor No. เลขที่สัญญา	Contractor Name ชื่อบริษัทที่รับจ้าง	Route Name ชื่อเส้นทาง	Route Number หมายเลขเส้นทาง	Route Distance (KM) ระยะของเส้นทาง

Description รายละเอียด	Result ผ่าน	 ไม่ผ่าน	Remark หมายเหตุ
1. <u>งานพาดสายเคเบิล</u>			
1.1 การติดตั้งสายเคเบิล			
1.2 สายเคเบิลที่นำมาติดตั้งต้องเป็นชนิด Figure-Eight หรือ Round Type ซึ่งมีคุณสมบัติตาม Annex 2			
1.3 ใช้ Materials เป็นไปตามข้อกำหนดฯ			
1.4 การตกท้องช้าง (Sag) ไม่เกิน 1 % ของระยะ Span			
1.5 ความปลอดภัยของระยะห่างจากสายไฟฟ้า ไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร			
1.6 ต่อระบบ Ground ทุกระยะไม่เกิน 250 เมตร จำนวน.....จุด			
1.7 การ Splice สายเคเบิล ไม่เกินจุดละ 0.05 dBM			
1.8 Cross Arm & Extenstion Arm Installation			
1.9 High Marker (เขียนบอกด้วยสีสะท้อนแสง สูงไม่ต่ำกว่า 3 นิ้วบนแผ่นอลูมิเนียมขนาดประมาณ 5 x 8 นิ้ว มองเห็นชัดเจนทั้งสองด้าน			
1.10 Symbol of CAT at Cross Arm (พ่นสีขาวคำว่า "กสท." ขนาดตัวอักษรสูงไม่ต่ำกว่า 3 นิ้ว) & Closure (พ่นสีขาวคำว่า "กสท." ขนาดตัวอักษรสูงประมาณ 2 x ½ นิ้ว)			
2. <u>งานติดตั้งอุปกรณ์ ODF</u>			
2.1 อุปกรณ์ ODF ที่ได้มาตรฐาน			
2.2 Connecter of ODF ต้องเป็นมาตรฐาน Fc/Pc จำนวนเท่าสายใยแก้วและต้องมีป้ายชื่อระบุ Code สีในรูปแบบ Fiber Core Color – Tube Color			
2.3 การติดตั้งสายเคเบิลภายใน			
2.4 Termination of Cable			
2.5 Numbering of Pigtail Cord			
2.6 Termination of Ground Wire			
2.7 Name Plate (ระบุชื่อสถานีต้นทางปลายทาง)			
2.8 Site Cleanlines			
3. <u>งานตัดท่อลอดและสร้าง Riser</u>			

3.1 ท่อ HDPE และ Subduct ถูกต้องตามข้อกำหนด			
3.2 บ่อพักได้มาตรฐาน JUF-11 จำนวน.....บ่อ			
3.3 ฝาบ่อได้มาตรฐาน			
3.4 ฝาบ่อมีระยะห่างพอประมาณเมื่อการเคลื่อนตัวได้			
3.5 ขอบบ่ออยู่ในระดับเดียวกับถนน			
3.6 สร้าง Riser ได้ถูกต้องตามแบบจำนวน.....จุด			
3.7 ท่อ GSP ถูกต้องตามข้อกำหนด			
3.8 ท่อ PVC ถูกต้องตามข้อกำหนด			
4. <u>งานสร้างท่อร้อยสายเคเบิลและบ่อพักใหม่</u>			
4.1 มีการเผื่อสายเคเบิลไว้ประมาณ 15 เมตรเก็บในบ่อพักทุกระยะประมาณ 600 เมตร			
4.2 บ่อพักได้มาตรฐาน จำนวน.....บ่อ			
4.3 ฝาบ่อได้มาตรฐาน			
4.4 ฝาบ่อมีระยะห่างพอประมาณ			
4.5 ขอบบ่ออยู่ในระดับเดียวกับถนน			
4.6 ท่อเกาะสะพาน ต้องใช้ท่อ PVC หรือ HDO ไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว 4 ท่อ และต้องมีบ่อพักและ Riser ทั้ง 2 ด้านของเชิงสะพานและร้อย Sudduct ในใดท่อหนึ่ง			
4.7 ใช้ Subduct ถูกต้องตามข้อกำหนด(เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกไม่น้อยกว่า 30 มม. หนา 2.5 $\pm$ 0.3 มม.)			
4.8 ท่อ PVC ถูกต้องตามข้อกำหนด			
5. งานร้อยสายเคเบิลในบ่อเก่า			
5.1 ใช้ Subduct ถูกต้องตามข้อกำหนด(เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกไม่น้อยกว่า 35 มม. ภายในไม่น้อยกว่า 30 มม. หนา 2.5 $\pm$ 0.3 มม.)			
5.2 มีการเผื่อสายเคเบิลไว้ประมาณ 8 – 10 เมตร ทุกๆบ่อพักที่มี Riser			
6. <u>งานปักเสาคอนกรีต</u>			
6.1 ใช้เสาได้มาตรฐาน จำนวน.....ต้น			
6.2 เสาไม่เอียง			
7. การซ่อมคืนผิวถนน			
7.1 FOOTHPATH INTERLOCK			
7.2 ROAD REINSTATEMENT CONCRETE 0.25 M			
7.3 ROAD HOTMIXED 0.10 M			

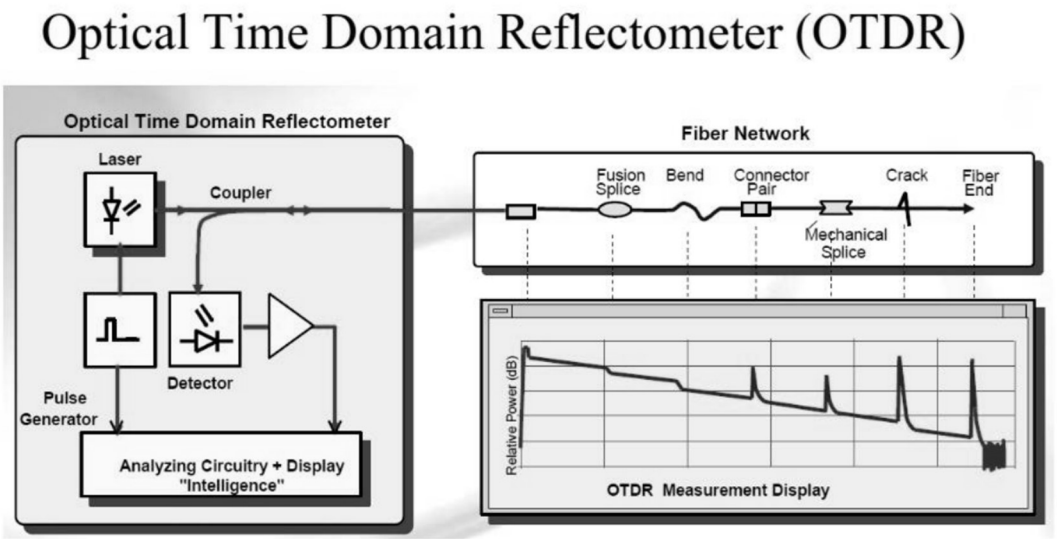
For	CAT Inspector	Contractor Project Manager
Name		
Signature		
Date		

Module IV:

6. OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer)

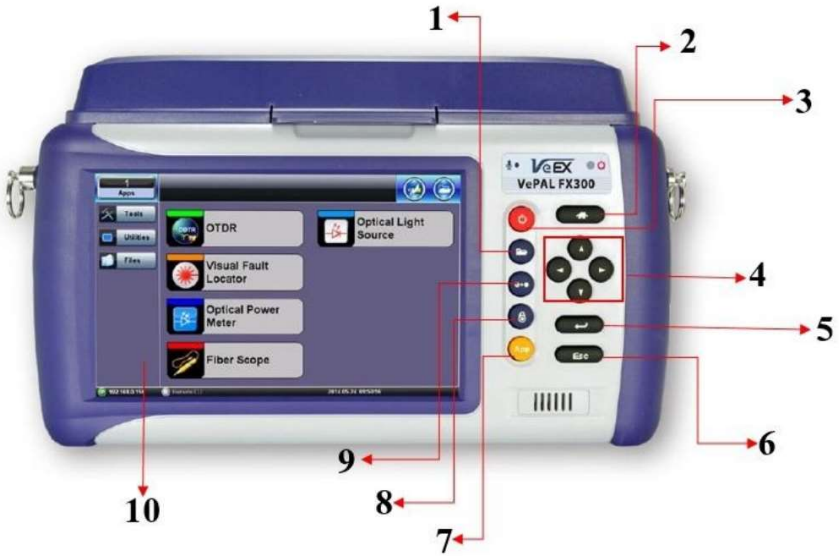
OTDR เป็นอุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมา เพื่อใช้ตรวจสอบวัดค่าพารามิเตอร์ภายในโครงข่ายสายใยแก้วนำแสงหรือสาย Fiber Optic นั้นเอง

หลักการทำงานของเครื่อง OTDR เบื้องต้นนำปลายคอนเนคเตอร์ (Connector) ด้านหนึ่งของเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการวัดต่อเข้ากับเครื่อง OTDR เครื่อง OTDR จะส่ง Optical Pulse เข้าไปในสาย Fiber Optic แสงที่ส่งออกไปจะสะท้อนกลับมาต้นสาย Fiber optic ภายในเครื่อง OTDR จะตรวจจับด้วยตัว Detector ที่อยู่ภายในตัวเครื่องเอง ความแตกต่างระหว่างที่ระยะเวลาเริ่มส่ง Optical Pulse ออกไปจนถึงเวลาที่รับสัญญาณ จะถูกคำนวณออกมาเป็นระยะความยาวของสาย Fiber Optic การแสดงผลของเครื่อง OTDR แกนนอนจะเป็นระยะทางและแกนตั้งจะแสดงปริมาณแสงที่ตรวจจับได้ แสดงดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 หลักการทำงานของเครื่อง OTDR

6.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่อง OTDR



รูปที่ 6.2 โครงสร้างปุ่มกดของเครื่อง OTDR ยี่ห้อ VeEX รุ่น FX300

จากรูปที่ 6.2 สามารถอธิบายความหมายของแต่ละส่วนได้ดังนี้

1. ปุ่มบันทึกข้อมูล (Save Trace/Result)
2. ปุ่มกลับหน้าจอหลัก (Home Key)
3. ปุ่มเปิดปิดเครื่อง (Power Key)
4. ปุ่มทิศทาง บน ล่าง ซ้าย ขวา (Navigation/Marker Key)
5. ปุ่มยืนยันคำสั่ง (Enter Key)
6. ปุ่มยกเลิกคำสั่ง (Escape Key)
7. ปุ่มเลือกโปรแกรมประยุกต์ (App Key)
8. ปุ่มล็อคหน้าจอ (Lock Screen)
9. ปุ่มแสดงประวัติการใช้งาน (History)
10. หน้าจอสัมผัส (Touch Screen)

6.1.1 คุณสมบัติที่สำคัญของเครื่อง OTDR ยี่ห้อ VeEX รุ่น FX300

SPECIFICATIONS

Optical

OTDR	Multimode	Singlemode
Wavelength (± 20 nm)	850/1300	1310/1490/1550//1625
Dynamic Range (db)[2]	Refer to Ordering Guide	Refer to Ordering Guide
Pulse width (ns)	3, 10, 25, 100, 300, 500, 1000, 3000, 10000, 20000	
Event dead zone (m)[3]	Refer to Ordering Guide	Refer to Ordering Guide
Attenuation dead zone (m)[4]	Refer to Ordering Guide	Refer to Ordering Guide
Distance Display Range (km)	0.5 to 80	1 to 400
Distance Units	Kilometers, meters, kilofeet, feet, miles	
Distance Measurement Accuracy (m)[5]	± (0.5 + resolution + $2x10^{-5}$ x L)	
Sampling resolution (m)	0.04 to 8	
Sampling points	Up to 256,000	
Loss resolution (dB)	0.01 dB	
Attenuation Linearity (dB/dB)	± 0.05	
Group Index Range (IoR)	1,3000 to 1,7000	
Measurement time	Preset or Live (real time)	
Internal memory capacity (SD card)	>5,000 traces, Bellcore GR196 and Telcordia SR-4731 sor format	
Fiber analysis	Automatic, event table, user defined PASS/FAIL thresholds	
Fiber type	50/125 µm	9/125 µm
Intelligent Link Mapping (V-Scout)	Intelligent Link Mapping using intuitive icons derived from multiple test acquisitions	
OTDR Laser safety	IEC 60825-1, Class 1M	
Optical connectors (OTDR/LS)	Fixed or Universal 2.5 mm, UPC or APC interface, FC/SC/ST/LC adaptors optional	

Optical Test Options	Multimode	Singlemode
Visual Fault Locator (VFL)	Optional	
-Wavelength (nm)	650 ± 10 nm	
-Output (mW)	Max 1 mW	
-Laser Safety	IEC 60825-1, Class II	
Light Source (LS) - (O/P shared with OTDR)	Optional	
-Wavelengths (nm)	850/1300	1310/1490/1550//1625
-Output power (dBm)	N/A	> -4 SM / > -6 MM
-Level Instability (dB)	N/A	Better than ± 0.05 SM / ±1 MM (15 min)
Optical Power Meter (OPM)	Optional	
-Calibrated wavelengths (nm)	850/1300	1310/1490/1550/1625
-Power range (dBm) - PM1, PM2	-60 to +3 (PM1) / -40 to +23 (PM2)	-65 to +10 (PM1) / -50 to +25 (PM2)
-Accuracy, %	± 8	± 5
-Linearity, %	± 6	± 2.5
Optical connectors (VFL/OPM)	Universal 2.5 mm interface, FC/SC/ST/LC adaptors optional	

Notes:

1. Unless noted, all specifications are valid at 23°C ± 2°C (73.4°F ± 3.6°F) using FCUPC connectors
2. Typical dynamic range after three-minute averaging and SNR = 1
3. Typical dead zone using 3 ns pulse and reflections below -45 dB
4. Typical dead zone using 3 ns pulse and reflections below -55 dB
5. Excludes uncertainty due to fiber refractive index (IoR) setting

Optical Test Functions

Optical Specifications			Test Application						
Multimode OTDR									
Wavelength (nm)	Range (dB)	Dead Zone (m)	LAN	Access	FTTx PON	Live PON	CATV	Metro	Long Haul
850/1300	28/30	< 1/4	☑	☑					
Singlemode OTDR									
Wavelength (nm)	Range (dB)	Dead Zone (m)	LAN	Access	FTTx PON	Live PON	CATV	Metro	Long Haul
Medium Range									
1310/1550	39/36	< 1/4		☑	☑		☑	☑	
1310/1490/1550	39/35/36	< 1/4			☑				
1310/1550/1625	39/36/39	< 1/4		☑	☑		☑	☑	
1310/1550//1625(F)	39/36//39	< 1/4		☑	☑	☑		☑	
1310/1490/1550/1625(F)	39/35/36/39	< 1/4			☑	☑			
1310/1550//1650 (F)	39/36//39	< 1/4		☑	☑	☑		☑	
Long Range									
1310/1550	43/43	< 1/4		☑			☑		
1310/1490/1550	43/38/43	< 1/4			☑				
1310/1550/1625	43/43/39	< 1/4		☑	☑		☑	☑	☑
1310/1550/1625(F)	43/43/39	< 1/4		☑	☑	☑		☑	☑
1310/1490/1550/1625(F)	43/38/43/39	< 1/4			☑				
1310/1550//1650 (F)	43/43//39	< 1/4		☑	☑	☑		☑	☑
Ultra Long Range									
1310/1550	45/45	< 1/4		☑	☑		☑	☑	☑
1310/1550/1625	45/45/41	< 1/4		☑	☑		☑	☑	☑
1310/1550//1625(F)	45/45/41	< 1/4		☑	☑	☑		☑	☑
Combo Multimode/Singlemode OTDR									
Wavelength (nm)	Range (dB)	Dead Zone (m)	LAN	Access	FTTx PON	Live PON	CATV	Metro	Long Haul
850/1300/1310/1550	26/27/38/35	< 1/4	☑	☑				☑	

Hardware Options
Standard OPM (+10 to -65 dBm)
High Power OPM (+25 to -50 dBm)
PONT OPM (dual wavelengths, 1550 nm (+23 dBm) and 1490 nm (+7 dBm))
Visual Fault Locator (650 nm)
Light Source (per OTDR laser fitted)
Fiber Inspection Scope

General Specifications

Size	290 x 140 x 66 mm (W x H x D) 11.40 x 5.50 x 2.60 in
Weight	Less than 3 kg (less than 6.6 lb)
Battery	Li-ion smart battery, 5200 mAh 10.8 VDC
Power Supply (AC Adaptor)	Input: 100-240 VAC, 50-60 Hz Output: 15 VDC, 5.33 A
Operating Temperature	0˚C to 50˚C (32˚F to 122˚F)
Storage Temperature	-20˚C to 70˚C (-4˚F to 158˚F)
Humidity	5% to 95% non-condensing
Display	TFT 7" full color touch-screen display
Ruggedness	Survives 1m drop to concrete on all sides
Interfaces	Standard: USB, RJ45, 10/100-T Ethernet Optional: Bluetooth, Data Card/GPS, WiFi
Languages	Multiple languages supported
System Memory	128 Mbyte RAM, 2 Gbyte SD

VeEX
The Verification Experts

VeEX Inc.
2827 Lakeview Court
Fremont, CA 94538 USA
Tel: +1.510.651.0500
Fax: +1.510.651.0505
www.veexinc.com
customercare@veexinc.com

© 2017 VeEX Inc. All rights reserved.
VeEX is a registered trademark of VeEX Inc. The information contained in this document is accurate. However, we reserve the right to change any contents at any time without notice. We accept no responsibility for any errors or omissions. In case of discrepancy, the web version takes precedence over any printed literature.
D05-00-047P E00 2017/01

รูปที่ 6.3 โครงสร้างปุ่มกดของเครื่อง FFR-20 Fiber Ranger

เครื่อง Fiber Optic Fiber Ranger ใช้หลักการทำงานเดียวกับ OTDR ซึ่งใช้งานได้ง่าย ไม่มีเส้นแสดง OTDR FFR-20N ได้รับการออกแบบเพื่อระบุตำแหน่งของสายไฟเบอร์ จุดที่แตกหักหรือบกพร่อง เครื่องสามารถตรวจจับได้รวดเร็ว และระบุสายไฟเบอร์ที่แตกหักและความบกพร่องในการติดตั้ง และแสดงผลได้ถึง 8 จุด ขึ้นอยู่กับสภาพของสายไฟเบอร์ สภาพแวดล้อมการทดสอบ และความยาวของสายไฟเบอร์ที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน FFR-20N สามารถควบคุมกำลัง Output ได้โดยอัตโนมัติ และเลือกความกว้างของคลื่น (Pulse Width) ที่เหมาะสมที่สุด มีความยาวคลื่น (Wave Length) ถึง 1550 nm ฟังก์ชั่นการใช้งานตัวค้นหาระบุตำแหน่งข้อบกพร้อง (Visual Fault Locator (VFL)) ซึ่งใช้ความยาวคลื่น 650 nm ที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องสำหรับแก้ปัญหาสายเคเบิลใยแก้วนำแสงได้ถึง 15 กิโลเมตร สามารถระบุข้อบกพร่องในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่สม่ำเสมอ, ODF, patch Panels, Splice Trays และอื่นๆ เครื่อง Fiber Ranger สามารถค้นหาตำแหน่งที่บกพร่องของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงได้อย่างแม่นยำ

6.1.2 คุณสมบัติเด่น

- ❑ ขนาดเครื่องถูกออกแบบให้มีขนาดเท่าฝ่ามือ เหมาะสำหรับใช้ในการแก้ปัญหางานกลางแจ้ง
- ❑ การเชื่อมต่อใช้งานง่าย
- ❑ รองรับความยาวคลื่น 1550 nm
- ❑ ภายในเครื่องมีฟังก์ชั่นตัวค้นหาระบุตำแหน่งข้อบกพร่อง VFL

❑ วิเคราะห์ผลสะท้อนที่เกิดขึ้นและผลการลดทอนความแรงของสัญญาณโดยอัตโนมัติ

❑ เลือกการส่งออกกำลัง Output และความกว้างของคลื่นโดยอัตโนมัติ

❑ ปิดเครื่องอัตโนมัติในเวลา (10 นาที) เมื่อไม่มีการใช้งาน

❑ เก็บข้อมูลการทดสอบได้ 1,000 Records

❑ การวัดทั่วไป (Fiber Ranger) ได้ถึง 2,500 ครั้ง (แบตเตอรี่)

6.1.3 การประยุกต์ใช้งาน

❑ ทดสอบความยาวสายเคเบิลใยแก้วนำแสงและค้นหาตำแหน่งที่บกพร่อง

❑ หาตำแหน่งระยะทางระหว่างจุดเชื่อมต่อสองจุด

❑ การติดตั้ง บำรุงรักษา และตำแหน่งที่บกพร่องของ FTTH และ Access Network

จากรูปที่ 6.3 สามารถอธิบายความหมายของแต่ละส่วนได้ดังนี้

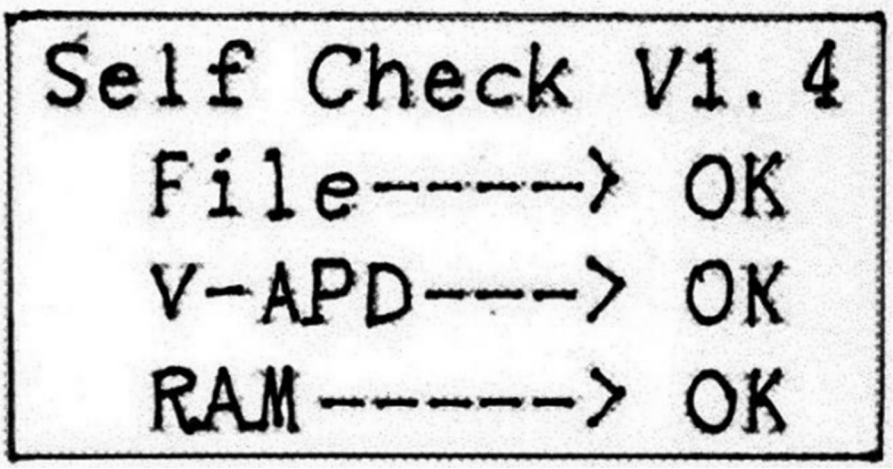
1. ปุ่มปิดเปิดเครื่อง กดค้างไว้มากกว่า 3 วินาที เพื่อปิดเครื่อง เมื่อไม่มีการใช้งานในเวลา 10 นาที เครื่องจะถูกปิดโดยอัตโนมัติ
2. ปุ่ม VFL ใช้งานเพียง VFL Module สามารถใช้ได้เพียงฟังก์ชั่น VFL เช่น เปิด/ปิด, CW หรือ 1 Hz
3. ปุ่ม Recall แสดงข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ เลือกข้อมูลหนึ่งและกดปุ่มเพื่อแสดงข้อมูลที่บันทึกไว้ หรือ กดค้างไว้มากกว่า 2 วินาทีเพื่อลบข้อมูล
4. ปุ่ม Down ใช้เลื่อนลงเพื่อไปฟังก์ชั่นต่างๆ ภายใต้โหมดการทดสอบ กดปุ่มนี้เพื่อแสดงผลทดสอบถัดไป และภายใต้โหมดการแก้ไข กดปุ่มนี้เพื่อลดค่าดัชนีหักเหของแสง (อยู่ที่วัสดุที่เป็นส่วนประกอบของที่เป็นแกนอยู่ตรงกลางหรือชั้นใน)
5. ปุ่ม Save กดปุ่มเพื่อบันทึกข้อมูลการทดสอบปัจจุบัน
6. ปุ่ม Scan เพื่อเปิดเครื่อง กดปุ่มนี้เพื่อเข้าสู่โหมดการวัด OTDR ภายใต้การทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงและแสดงผลที่หน้าจอ
7. ปุ่ม Up ใช้เลื่อนขึ้นเพื่อไปฟังก์ชั่นต่างๆ ภายใต้โหมดการทดสอบ กดปุ่มนี้เพื่อแสดงผลทดสอบก่อนหน้า และภายในโหมดการแก้ไข กดปุ่มนี้เพื่อเพิ่มค่าดัชนีหักเหของแสง (อยู่ที่วัสดุที่เป็นส่วนประกอบของสายที่เป็นแกนอยู่ตรงกลางหรือชั้นใน)

6.1.4 การใช้งาน

การใช้งานก่อนที่จะเปิดเครื่อง โปรดทำความสะอาดสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่จะทำการทดสอบ และเลือก Connector สายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ถูกต้อง แล้วเชื่อมต่อกับพอร์ต OTDR

1) การเปิดเครื่อง

เปิดเครื่องและเข้าสู่โหมดการทดสอบตัวเอง ดังรูป 6.4



รูปที่ 6.4 โหมดการทดสอบตัวเอง

กดปุ่ม Up เมื่อเปิดเครื่องแล้วเข้าสู่หน้าจอเพื่อเปลี่ยนภาษา

Vx.xx : เลขการปรับปรุงใหม่ซอฟท์แวร์เครื่อง ฟังก์ชั่นดังต่อไปนี้ที่มีอยู่ก่อนเครื่องออกจากโรงงาน

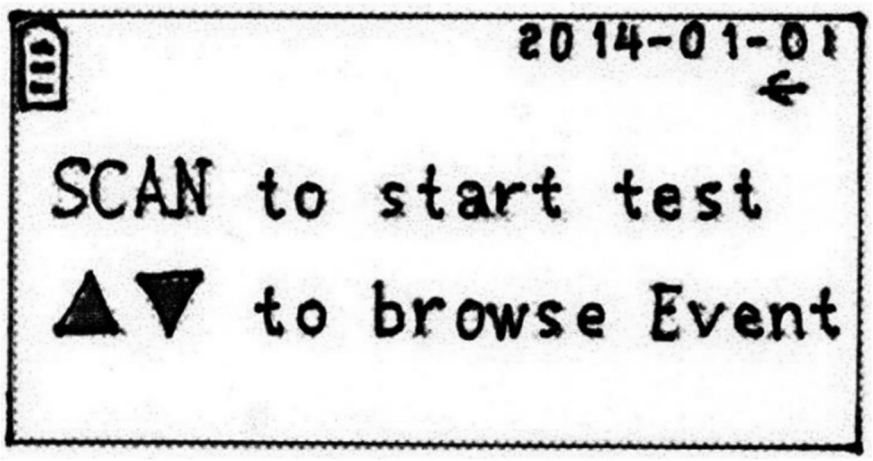
File – เพื่อบันทึกข้อมูล และข้อมูลการทดสอบ

V-APD – เพื่อทดสอบอุปกรณ์สายเคเบิลใยแก้วนำแสง

RAM – การเพิ่มขึ้นของข้อมูลการทดสอบ

2) เมนูหลัก

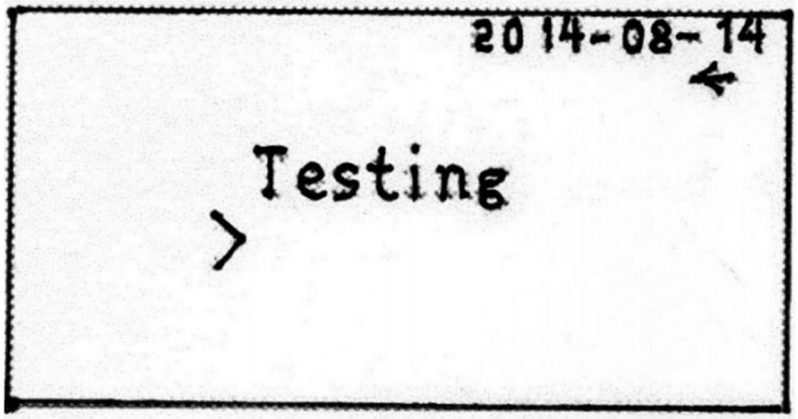
หลังจากเปิดเครื่อง หน้าจอจะแสดงเมนูหลัก วิธีการใช้และฟังก์ชั่นของปุ่มกด ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 เมนูหลัก

3) การทดสอบ

กดปุ่ม SCAN เพื่อเริ่มการทดสอบดังรูปที่ 6.6

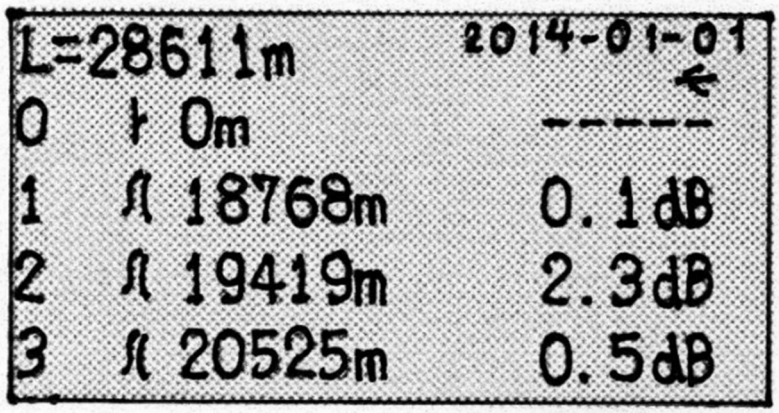


รูปที่ 6.6 โหมดการทดสอบ

หมายเหตุ : หลังจากกดปุ่ม SCAN ระบบการทดสอบใช้เวลาในการอุ่นเครื่อง 5 วินาที เพื่อให้ได้ผลที่มีเสถียรภาพ ระบบการทดสอบจะปิดตัวเองโดยอัตโนมัติ หลังจากที่เครื่องไม่ได้ใช้งาน 30 วินาที เมื่อกดปุ่ม SCAN อีกครั้งระบบยังคงใช้เวลา 5 วินาที ในการอุ่นเครื่อง

4) ผลการทดสอบ

หลังจากการทดสอบ จะแสดงผลการทดสอบทั้งหมดดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 ผลการทดสอบ

กดปุ่ม Up หรือ Down เพื่อตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดของเหตุการณ์เชื่อมโยง

L : ความยาวของการเชื่อมโยงทั้งหมด คอลัมน์ที่ 3 : ระยะทางของเหตุการณ์

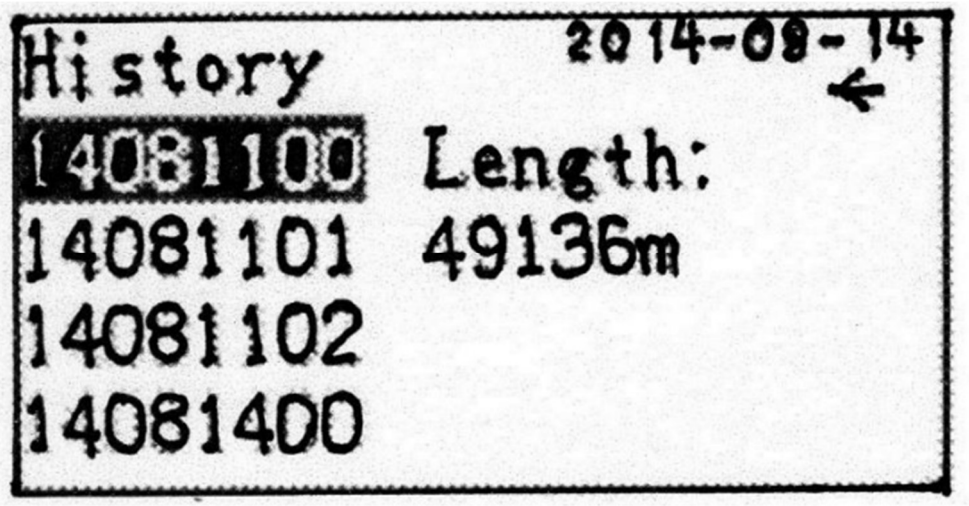
คอลัมน์ที่ 1 : จำนวนเหตุการณ์ คอลัมน์ที่ 4 : การสูญเสียของเหตุการณ์

คอลัมน์ที่ 2 : ประเภทของเหตุการณ์ “----” : ผลที่ได้ไม่สามารถนับได้ หรือไม่จำเป็นต้องถูกนับ

กดปุ่ม Up หรือ Down เพื่อทบทวนดูเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด

5) การบันทึกผลการทดสอบ

ประวัติการบันทึกแฟ้มผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 6.8



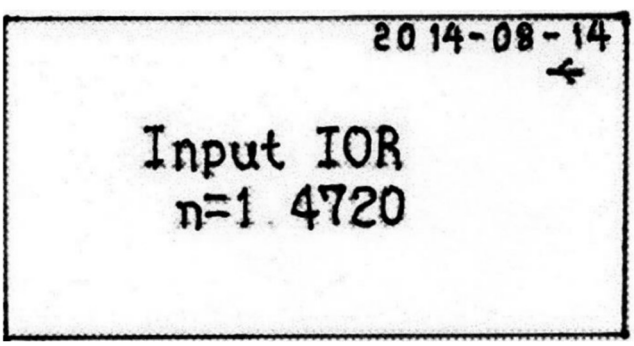
รูปที่ 6.8 ประวัติการบันทึกแฟ้มผลการทดสอบ

ซึ่งแสดงชื่อแฟ้ม วันที่ + หมายเลข Record : วันที่ : วันที่บันทึก รูปแบบปีเดือนวัน (YYMMDD) หมายเลข Record : 0 ถึง 99

ตัวอย่าง : 14081102 ความหมาย : ปี ค.ศ. 2014 เดือน สิงหาคม วันที่ 11 ผลการทดสอบของ Record หมายเลข 2

ขีดจำกัดของตัวเลขในแต่ละวันสามารถบันทึกผลการทดสอบได้ 100 Records

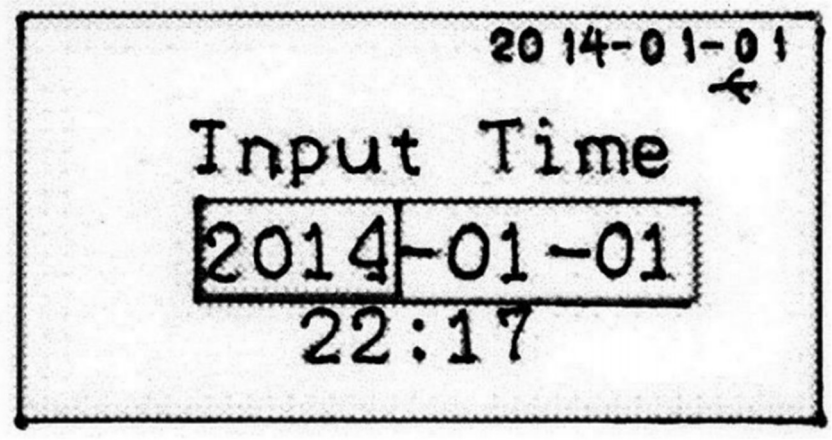
6) การแก้ไขค่าดัชนีหักเหของแสง



รูปที่ 6.9 การแก้ไขค่าดัชนีหักเหของแสง

เพื่อเข้าสู่หน้าจอการตั้งค่าการแก้ไขค่าดัชนีหักเหของแสง (Index of Refraction : IOR) ในเมนูหลัก กดปุ่ม Up และ Down พร้อมกันในเวลามากกว่า 2 วินาที กดปุ่ม Up เพื่อเพิ่มค่าดัชนีหักเหของแสง กดปุ่ม Down เพื่อลดค่าดัชนีหักเหของแสง จากนั้นกดปุ่ม Save เพื่อบันทึกการตั้งค่า

7) การตั้งเวลา



รูปที่ 6.10 การตั้งเวลา

ในเมนูหลัก กดปุ่ม VFL และ UP พร้อมกันในเวลามากกว่า 2 วินาที เพื่อเข้าสู่หน้าจอการตั้งค่าเวลากดปุ่ม VFL เพื่อเปลี่ยนตำแหน่งของหลักที่ต้องการ และกดปุ่ม Up หรือ Down เพื่อปรับตัวเลข จากนั้นกดปุ่ม Save เพื่อบันทึกการตั้งค่า

8) การลบข้อมูล

ในหน้าประวัติการบันทึก กดปุ่ม SCAN และ Save พร้อมกันประมาณ 2 วินาที ระบบจะเริ่มต้นการลบข้อมูลที่ได้จัดเก็บไว้ ข้อมูลทั้งหมดที่จัดเก็บจะถูกลบออก ยกเว้นเวลา ค่าดัชนีหักเหของแสง หลังจากดำเนินการเรียบร้อยจะมีข้อความ “Format Complete” ปรากฏขึ้น

6.1.5 คุณสมบัติที่สำคัญของเครื่อง FFR-20 Fiber Ranger

Specifications

Model No.	FFR-20A	FFR-20B
Wavelength	1550nm	1310nm
Fiber Type	9/125 um Single Mode	
Connector Type	FC/PC	
Max. Output Power	60mW	
Max. Measurement Range	60km (≥ 1dB, Reflection event)	
	20km (≥2.5dB, Non-Reflection event)	
Distance Accuracy(m)	± (2m+0.2%x distance) (Reflection event)	
Event Dead Zone	15m (Reflection event)	

VFL Function

VFL Wavelength	650nm
VFL Output Power	>1mW optional for higher power (3, 5, 10mW)

General

Power Supply	AA Batteries 3 pcs
Battery Life (Fiber Ranger)	≥ 5,000 times typical measurement
Battery Life (VFL)	> 10 hours
Operating Temp.	-5 ~ +40℃
Storage Temp.	-10 ~ +60℃
Relative Humidity	0 ~ 85% (non-condensing)
Dimension (mm)	190×100×50
Weight (g)	450

Note: Specifications subject to change without notice

Ordering Information

FFR-20X-AA-BB

X: Laser Source type	AA: VFL Output	BB: Connector Type
A = 1550nm	01 = 1mW	FCLC (FC-LC adapter)
B = 1310nm	03 = 3mW	SCLC (SC-LC adapter)
	05 = 5mW	STLC (ST-LC adapter)
	10 = 10mW	SE (Set of FC/SC/ST)

Example: FFR-20A-03-SE (1550nm, 3mW output, connector Set)

6.1.6 เครื่อง OTDR ยี่ห้อ Anritsu MT9083A

Specifications

MT9083A/B/C ACCESS Master Common Specifications

Item	General Specifications	
Dimensions and Mass	Without protector (option 010)	Size: 270 (W) × 165 (H) × 61 (D) mm 10.6 × 6.5 × 2.4 inches
		Weight: 2.2 kg (4.8 lbs) including battery
	With protector (option 010)	Size: 284 (W) × 200 (H) × 77 (D) mm 11.2 × 7.9 × 3 inches
		Weight: 2.9 kg (6.4 lbs) including battery
Display	6.5 inch TFT-LCD (640 × 480, with backlight, transparent type), enhanced indoor/outdoor optional	
Interface	USB 1.1, TypeA × 1 (memory), Type B × 1 (USB mass storage)	
Data Storage	Internal memory: 440 MB (up to 1000 traces), External memory (USB): up to 30,000 traces with 512 MB	
Power Supply	12 VDC, 100 to 240 VAC, Allowable input voltage range: 90 to 264 V, 50/60 Hz	
Battery	Type: Lithium ion Operating Time*1: 8 hours Recharge Time: <5 hours (power off)	
Power Saving Functions	Backlight off: Disable/1 to 99 minutes Auto shutdown: Disable/1 to 99 minutes	
Vertical Scale	0.13, 0.33, 0.65, 1.3, 3.25, 6.5, 13 dB/div	
IOR Setting	1.400000 to 1.699999 (0.000001 steps)	
Units	km, m, kft, ft, mi	
Languages	User selectable (English, Simplified Chinese, Traditional Chinese, French, German, Italian, Korean, Portuguese, Russian, Spanish and Swedish - contact Anritsu for availability of others)	
Sampling Points*2	Normal: 5001, High density: 20001 or 25001 (MT9083A and B series), up to 150,001 (MT9083C series)	
Sampling Resolution*3	5 cm (min.)	
Reflectance Accuracy	Single mode: ±2 dB, multimode: ±4 dB	
Distance Accuracy	±1 m ±3 × measurement distance × 10^{-5} ± marker resolution (excluding IOR uncertainty)	
Distance Range	Single mode: 0.5, 1, 2.5, 5, 10, 25, 50, 100, 200 km (MT9083A and B series, except 780 nm: 0.5, 1, 2.5 km) 0.5, 1, 2.5, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 300 km (MT9083C series) Multimode: 0.5, 1, 2.5, 5, 10, 25, 50, 100 km	
Testing Modes	Fault locate: Provides end/break location, end to end loss, fiber length Standard OTDR: User selectable automatic or manual set-up Construction OTDR: Automated, multi-wavelength testing Light source: Stabilized Light source (CW, 270 Hz, 1 kHz, 2 kHz output) Loss test set (optional): Power meter and Light source Connector Video Inspection Probe Visual fault locator (optional): Visible red light for fiber identification and troubleshooting	
Fiber Event Analysis	Auto or manual operation, displayed in table format User defined PASS/FAIL thresholds: - Reflective and non-reflective events: 0.01 to 9.99 dB (0.01 dB steps) - Reflectance: –70.0 to –20.0 dB (0.1 dB steps) - Fiber end/break: 1 to 99 dB (1 dB steps) Number of detected events: up to 99 Macrobend detection	
OTDR Trace Format	Telcordia universal. SOR, issue 2 (SR-4731)	
Other Functions	Real time sweep*4: 0.15 sec. Loss modes: 2 point loss, dB/km, 2 point LSA, splice loss, ORL Averaging modes: Timed (1 to 3600 sec.) Live Fiber detect : Verifies presence of communication light in optical fiber Connection check: Automatic check of OTDR to FUT connection quality Trace overlay and comparison, Template function, USB keyboard support, Remote control, Video output to PC	
Environmental Conditions	Operating temperature and humidity: 0° to +40°C (MT9083A and B series), <80% (non-condensing) 0° to +45°C (MT9083C series), <80% (non-condensing) Storage temperature and humidity: –20° to +60°C, <80% (non-condensing) Vibration: Conforming to MIL-T-28800E Class 3 Dust proof: MIL-T-28800E Class 2 Drip proof: IP51 (IEC 60529), JIS C 0920 TYPE I	
EMC	EN61326-1, EN61000-3-2	
LVD	EN61010-1	

Notes
*1 : Typical, backlight off, sweeping halted at 25°C, 8 hours typical continuous testing
*2 : Either high density value is selected depending on distance range
*3 : Except 780 nm
*4 : Resolution: Low Density. Except models 062, 068 -1 sec. or less

6.1.7 เครื่อง OTDR ยี่ห้อ MaxTester 730B

SPECIFICATIONS [a]

TECHNICAL SPECIFICATIONS	MAXTESTER 730B
Display	7 in (178 mm) outdoor-enhanced touchscreen, 800 x 480 TFT
Interfaces	Two USB 2.0 ports RJ-45 LAN 10/100 Mbit/s
Storage	2 GB internal memory (20 000 OTDR traces, typical)
Batteries	Rechargeable lithium-polymer battery 12 hours of operation as per Telcordia (Bellcore) TR-NWT-001138
Power supply	Power supply AC/DC adapter, input 100-240 VAC, 50-60 Hz, 9-16 V DCIN 15 Watts minimum
Wavelength (nm) [b]	1310/1550/1625
Dynamic range (dB) [c]	39/37/37
Event dead zone (m) [d]	0.8
Attenuation dead zone (m) [e]	3.5
Distance range (km)	0.1 to 400
Pulse width (ns)	5 to 20 000
Linearity (dB/dB)	±0.03
Loss threshold (dB)	0.01
Loss resolution (dB)	0.001
Sampling resolution (m)	0.04 to 5
Sampling points	Up to 256 000
Distance uncertainty (m) [f]	±(0.75 + 0.0025 % x distance + sampling resolution)
Measurement time	User-defined (60 min. maximum)
Reflectance accuracy (dB)	±2
Typical real-time refresh (Hz)	3
Laser safety	1M

Notes

a. All specifications valid at 23 °C ± 2 °C with an FC/APC connector, unless otherwise specified.

b. Typical.

c. Typical dynamic range with longest pulse and three-minute averaging at SNR = 1.

d. Typical, for reflectance below –55 dB, using a 5-ns pulse.

e. Typical, for reflectance below –55 dB, using a 5-ns pulse. Attenuation dead zone at 1310 nm is 4.5 m typical with reflectance below –45 dB.

f. Does not include uncertainty due to fiber index.

GENERAL SPECIFICATIONS

Size (H x W x D)		200 mm x 155 mm x 68 mm (7 7/8 in x 6 1/8 in x 2 3/4 in)
Weight (with battery)		1.29 kg (2.8 lb)
Temperature	Operating	−10 °C to 50 °C (14 °F to 122 °F)
	Storage	−40 °C to 70 °C (−40 °F to 158 °F) [a]
Relative humidity		0 % to 95 % noncondensing

SOURCE (optional)

Output power (dBm) [b]	−2.5
Modulation	CW, 1 kHz, 2 kHz

BUILT-IN POWER METER SPECIFICATIONS (GeX) (optional) [c]

Calibrated wavelengths (nm)	850, 1300, 1310, 1490, 1550, 1625, 1650
Power range (dBm) [d]	27 to −50
Uncertainty (%) [e]	±5 % ± 10 nW
Display resolution (dB)	0.01 = max to −40 dBm 0.1 = −40 dBm to −50 dBm
Automatic offset nulling range [d, f]	Max power to −34 dBm
Tone detection (Hz)	270/330/1000/2000

VISUAL FAULT LOCATOR (VFL) (OPTIONAL)

- Laser, 650 nm ± 10 nm
- CW/Modulate 1 Hz
- Typical P_{out} in 62.5/125 µm: > −1.5 dBm (0.7 mW)
- Laser safety: Class 2

LASER SAFETY

CAUTION: VIEWING THE LASER OUTPUT WITH CERTAIN OPTICAL INSTRUMENTS (FOR EXAMPLE: EYE LOUPES, MAGNIFIERS AND MICROSCOPES) WITHIN A DISTANCE OF 100 MM MAY POSE AN EYE HAZARD.

ACCESSORIES

GP-10-072	Semi-rigid carrying case	GP-2016	10-foot RJ-45 LAN cable
GP-10-086	Rigid carrying case	GP-2144	USB 16G micro-drive
GP-302	USB mouse	GP-2155	Carry-on size backpack
GP-1008	VFL adapter (2.5 mm to 1.25 mm)	GP-2205	DC vehicle battery-charging adaptor (12 V)
GP-2001	USB keyboard	GP-2207	Stand support

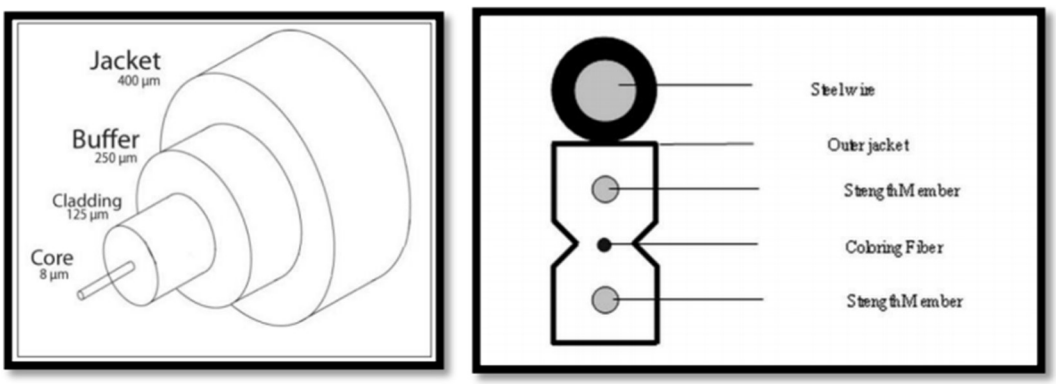
Notes

a. −20 °C to 60 °C (−4 °F to 140 °F) with the battery pack.
b. Typical output power is given at 1550 nm.
c. At 23 °C ± 1 °C, 1550 nm and FC connector. With modules in idle mode. Battery operated after 20-minute warm-up.
d. Typical.
e. At calibration conditions.
f. For ±0.05 dB, from 10 °C to 30 °C.

6.2 สายใยแก้วนำแสงหรือสาย Fiber Optic

สาย Fiber Optic เป็นสายนำสัญญาณข้อมูลที่ใช้หลักการทางแสง คือการเปลี่ยนข้อมูลไฟฟ้าให้เป็นคลื่นแสง แล้วส่งออกไปเป็นพัลส์ของแสงผ่านสาย Fiber Optic ลำแสงที่ส่งออกไปเป็นพัลส์จะสะท้อนกลับผิวของสายจนไปถึงปลายทาง โดยมีการสูญเสียของสัญญาณน้อยที่สุด

สาย Fiber Optic ที่บริษัทใช้ในการติดตั้งอินเตอร์เน็ตให้ลูกค้าจะเป็นแบบ Simplex คือสายแบบแกนเดียว เป็น FTTH W/Drop Wire คือสาย Fiber Optic ที่มีเส้นลวดยึดติดมาพร้อมกับสาย Fiber Optic เพื่อสะดวกในการนำสาย Fiber Optic ไปแขวนตามเสาไฟฟ้า สาย FTTH W/Drop Wire ถูกออกแบบให้มีความทนทานต่อสภาพในการเดินสายในอาคารบ้านเรือน สามารถเดินลอยตีกิ๊บได้



รูปที่ 6.11 โครงสร้างของสาย Fiber Optic ทั่วไปและสาย FTTH W/Drop Wire

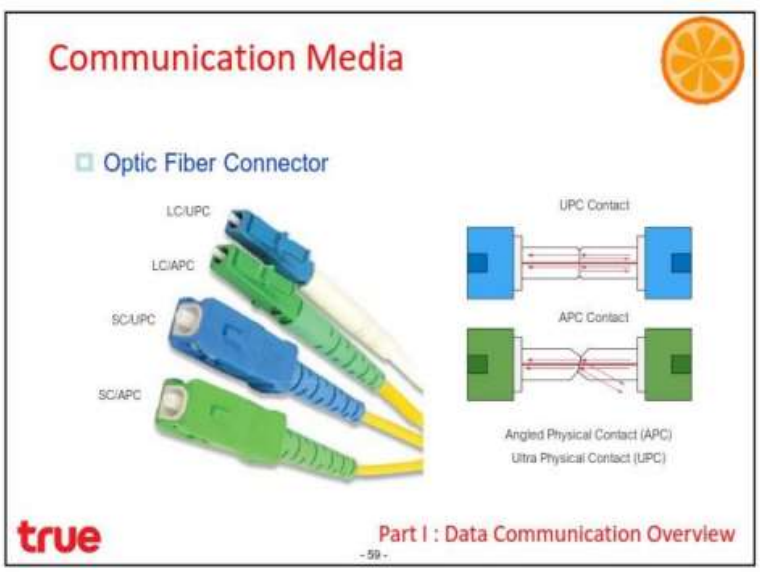
จากรูปที่ 6.11 สามารถอธิบายความหมายของแต่ละส่วนได้ดังนี้

1. เส้นใยแก้ว (Core) เป็นตัวนำสัญญาณแสง
2. ฉนวนเคลือบ (Cladding) เป็นสารที่ใช้เคลือบแก้ว (Core) เพื่อให้แสงที่ถูกส่งไปเคลื่อนที่ไปตามสาย Fiber Optic ด้วยขบวนการสะท้อนกลับของแสง
3. ปลอกสาย (Buffer) เป็นปลอกสายที่หุ้มป้องกันสายและช่วยให้การโค้งงอของสาย Fiber optic มีความยืดหยุ่น
4. ปลอกหุ้ม (jacket) เป็นปลอกหุ้มชั้นนอกสุดของสาย Fiber Optic ทำให้สาย Fiber Optic มีความเรียบร้อยและทำหน้าที่ป้องกันเป็นชั้นนอกสุด
5. Steel Wire ลวดเหล็กไว้แขวนตามเสาไฟฟ้า
6. Outer Jacket ปลอกหุ้มด้านนอกสุดของสาย FTTH W/Drop Wire ส่วนมากเป็นพลาสติกยืดหยุ่นได้
7. Coloring Fiber คือ Core, Cladding, Buffer หรือเรียกว่าแกน Fiber Optic

6.3 หัวต่อแบบ SC/APC (SC Connectors)

หัวต่อแบบ SC/APC (SC Connectors) ดังรูปที่ 6.12 และ 6.13 มีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างสาย Fiber Optic สองเส้น หรือระหว่างสาย Fiber Optic กับแหล่งกำเนิดแสง ตัวรับแสง และระหว่างสาย Fiber Optic กับดีเท็กเตอร์ ทำหน้าที่ต่อสายหรือถอดสายออกจากกัน หัวต่อต้องใช้อย่างน้อยสองหัว คือที่เครื่องส่งและเครื่องรับ ต้องใช้หัวต่อให้น้อยที่สุดจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานแสง หัวส่วนใหญ่จะมีค่าสูญเสียอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.7 เดซิเบล หัวต่อแบบ SC/APC มีข้อดีคือมีรูสอดเส้น Fiber Optic มีขนาดพอดีกับความใหญ่ของสาย Fiber Optic และมีวิธีการผลิตที่ละเอียดอ่อนเที่ยงตรงต่อการลดทอนค่าสัญญาณประมาณ 0.25 dB/km ได้รับความนิยมมากเนื่องจากใช้ง่ายสามารถถอดเข้าออกได้

รูปที่ 6.12 หัวต่อแบบ SC/APC (SC Connectors)



รูปที่ 6.13 โครงสร้างโดยรวมของหัว Connectors

OTDR and Fusion Splicer Training

การส่งสัญญาณผ่าน Optical Fiber

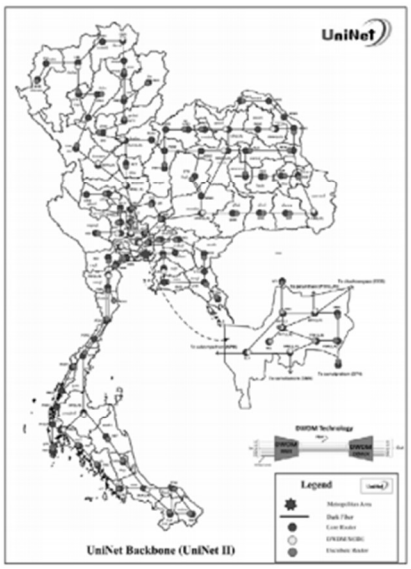
- ความต้องการในการส่งข้อมูลที่มีปริมาณมากขึ้นและระยะทางที่ไกลขึ้น นำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ การใช้ Photons แทน electrons สำหรับการรับส่งสัญญาณผ่านเคเบิล ทำให้ได้ Bandwidth ที่สูงขึ้นแต่ราคาต่ำลง
- เทคนิคการสร้าง Laser Diode และ Photo Detector ที่ส่งและอ่านข้อมูลได้แม่นยำ
- การใช้เครื่องมือ ในการตรวจสอบสาย Optical Fiber ด้วยเทคนิคที่ซับซ้อน เช่น
    - การใช้เทคนิค คลื่นที่สะท้อนกลับจากวัตถุ แล้ววัดเวลาหน่วย (Time Delay) ระหว่างพัลส์ที่ส่งไปและพัลส์ที่ได้รับจากการสะท้อนกลับจะสามารถบอกระยะของตำแหน่งวัตถุ (หลักการทำงานของเครื่อง Sonar)

ประวัติและพัฒนาการ Optical Fiber

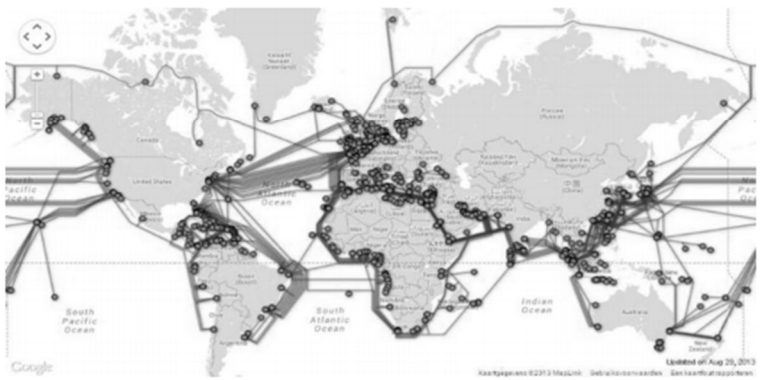
- การใช้แสงเป็นสื่อในการนำสัญญาณแล้วส่งไปในตัวกลาง ได้เริ่มขึ้นจากนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ John Tyndall ได้พบว่าแสงสามารถส่งผ่านไปตามลำน้ำได้ตั้งแต่ปี 1870
- Optical Fiber ถูกพัฒนาให้ใช้งานในการส่งสัญญาณทางการสื่อสารครั้งแรกโดย Alexander Graham Bell ในปี 1880
- ในปี 1960 โดยนักวิทยาศาสตร์ ชื่อ Charles Kao ที่รู้จักในนาม บิดาแห่ง Optical Fiber สมัยใหม่ โดยค้นพบใยแก้วที่ใช้แสงเพียง 1% สามารถทำให้เดินทางไปได้ไกลถึง 1 Km
- การพัฒนา Coherent Light Source สำหรับการส่งข้อมูลความถี่สูง หลังจากที่มีการใช้งานเพื่อส่งข้อมูลเช่น ในสถานี TV หรือ การเชื่อมโยงภายในตึกระยะทางใกล้
- มีการพัฒนาและมีการกำหนดมาตรฐานการใช้ Wavelength อย่างจริงจัง โดยองค์กรระหว่างประเทศ International Telecommunication Union (ITU)
- 1960 T Maiman เริ่มประดิษฐ์ Ruby Laser ที่ความถี่ 694.3 nm เป็นครั้งแรก
- 1966 Ph.D. Kao ได้ค้นพบการทำ Optical Fiber ที่มีการสูญเสียสัญญาณทางแสงต่ำ (Glass Attenuation) เพียงพอสำหรับการส่งข้อมูลระยะไกลได้เป็นครั้งแรก
- 1970 บ. Corning สามารถนำมาผลิตสาย Low Loss Glass ใช้เชิงพาณิชย์ได้เป็นครั้งแรกพร้อมทั้งการผลิต Laser Diode ที่สามารถใช้งานในอุณหภูมิห้องได้สำเร็จ
- 1980 การส่งสัญญาณความเร็วสูงผ่าน Fiber Optic ได้เป็นครั้งแรก ในระยะ 45 กม. (Regenerate สัญญาณทุกๆ 10 กม.)

- 1990 ความต้องการ Bit Rate สูงขึ้นทั่วโลกอย่างรวดเร็ว โดยขยายไปเป็น 10 Gb/s ที่ระยะ 80 กม. จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยี Optical Amplifier และ Wavelength Division Multiplexing Light-wave ขึ้น
- 2000 เข้าสู่ยุค Next Generation

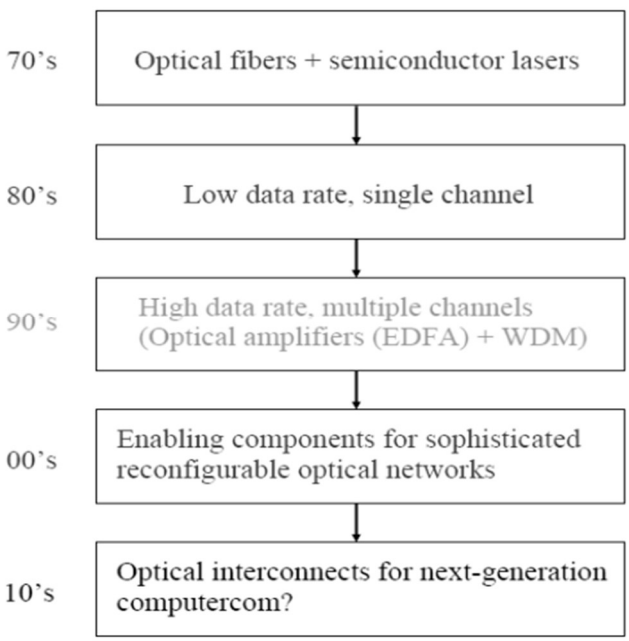
The World Optical Fiber Demand



Optical Fiber โครงการ Uninet



Optical Fiber โครงการ
International Internet Gateway



Current optical fiber communications capabilities

Bit rate : single channel 10 Gbit/s (many upgraded to 40 Gbit/s) : system bit rate exceeding 1 Tb/s

Distance : ~80 km without amplification

Transmission medium : silica singlemode fiber

Operation wavelengths: 1550 nm/1310 nm windows

Optical sources : semiconductor laser diodes / light emitting diodes

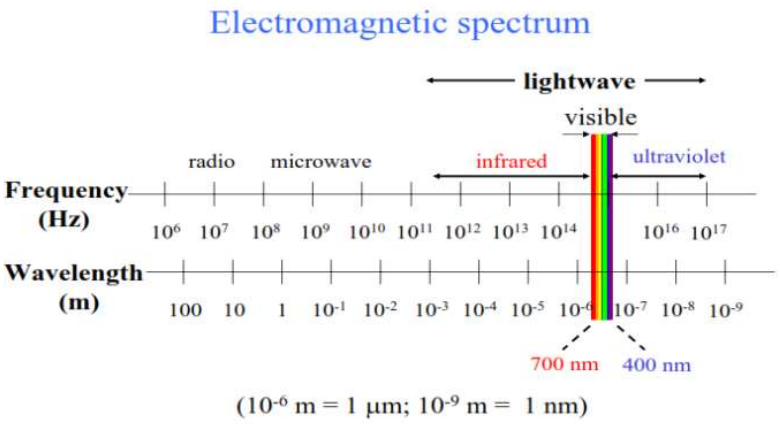
Optical amplification : fiber-bases optical amlifiers (erbium-doped fiber amplifiers, Raman fiber amplifiers)

The **bandwidth** made possible by optical fiber communications has made the **internet** economically feasible.

หลักการสื่อสาร Optical Fiber

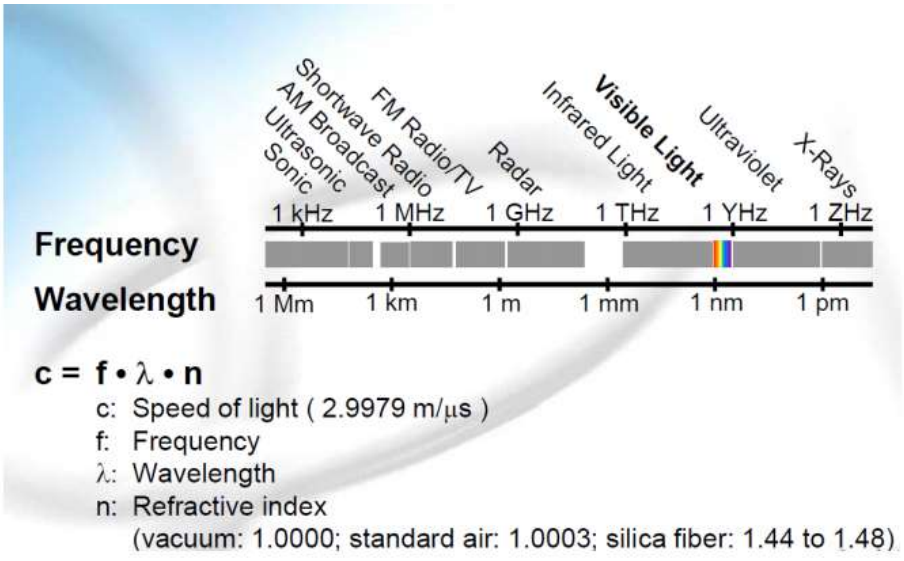
ปัจจัยสำคัญสำหรับการสื่อสารข้อมูลผ่าน Fiber Optic

- Optical Spectrum Characteristic
- Optical Wavelength Standard
- Wavelength Division Multiplex waveform
- Measuring Power of Optical Fiber

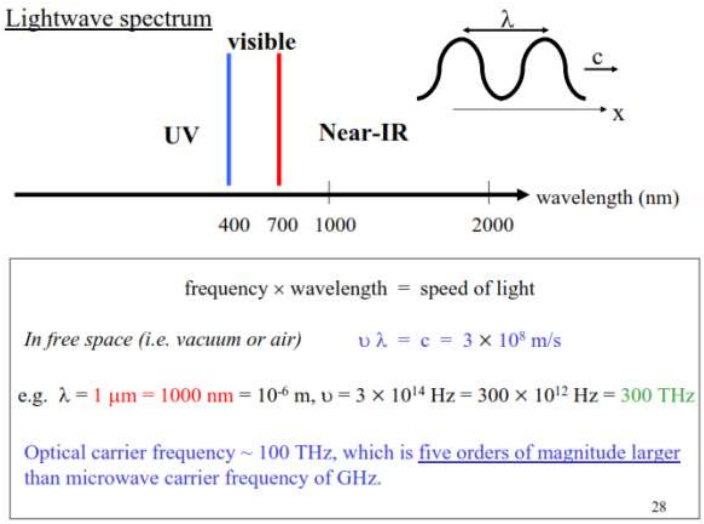


Optical Spectrum

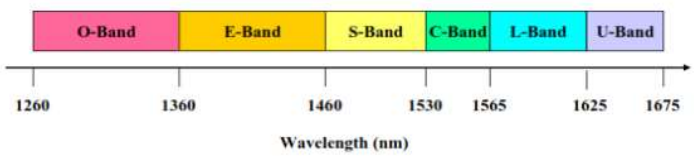
*In optics and photonics, due to conventions, wavelength unit (nm or μm) is often adopted.



Electromagnetic Spectrum



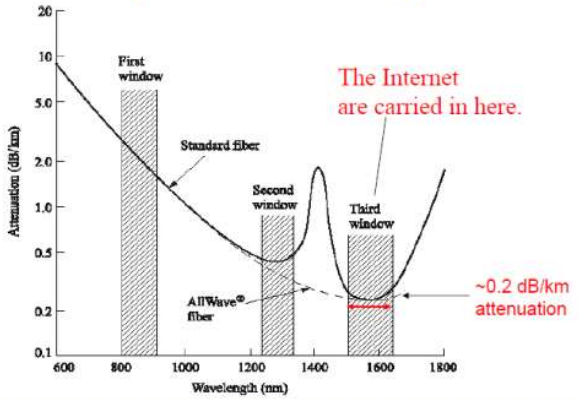
Optical Spectrum



- Original band (O-band): 1260 to 1360 nm
  - Region originally used for first single-mode fibers
- Extended band (E-band): 1360 to 1460 nm
  - Operation extends into the high-loss water-peak region
- Short band (S-band): 1460 to 1530 nm (shorter than C-band)
- Conventional band (C-band): 1530 to 1565 nm (EDFA region)
- Long band (L-band): 1565 to 1625 nm (longer than C-band)
- Ultra-long band (U-band): 1625 to 1675 nm

Optical Spectral Bands for fiber optic communications

Silica optical fiber loss spectrum



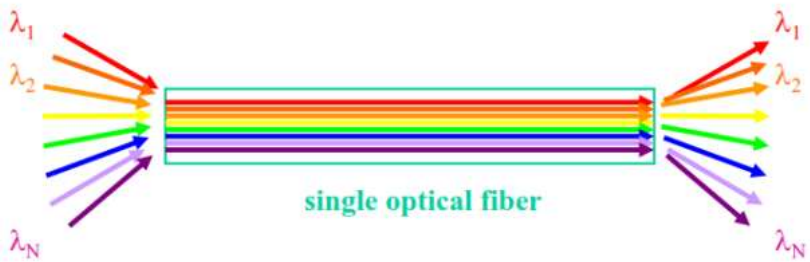
Today: 10% of the light remains after more than 50 km of fiber

Optical Wavelength

Wavelength-Division Multiplexing (WDM)

- WDM combines or multiplexes multiple optical signals into a single fiber by transmitting each signal on a different wavelength λ.

[*analogous to Frequency-Division Multiplexing (FDM) in radio communications*]



⇒ Telecommunication carriers can potentially multiply the capacity of their fibers by WDM, *without the expensive investment of laying extra fibers underground or undersea.*

Optical Wavelength

Decibel Units

- **The decibel (dB) unit is defined by**

$$\text{Power ratio in dB} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

Table 1.2 *Representative values of decibel power loss and the remaining percentages*

Power loss (in dB)	*Percent of power left*
0.1	98
0.5	89
1	79
2	63
3	50
6	25
10	10
20	1

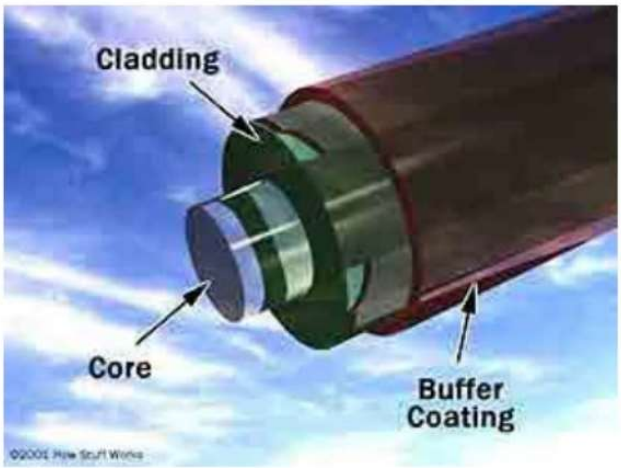
Decibel Units (2)

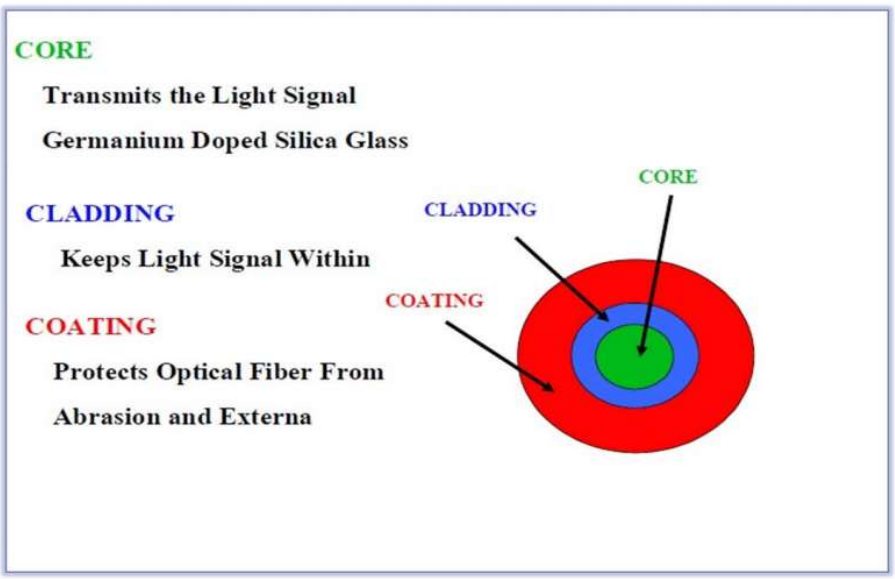
- **The decibel is used to refer to ratios or relative units. It gives no indication of the absolute power level.**
- **A derived unit called the dBm can be used for this purpose.**
- ***This unit expresses the power level P as a logarithmic ratio of P referred to 1 mW.***
- ***The power in dBm* is an absolute value defined by**

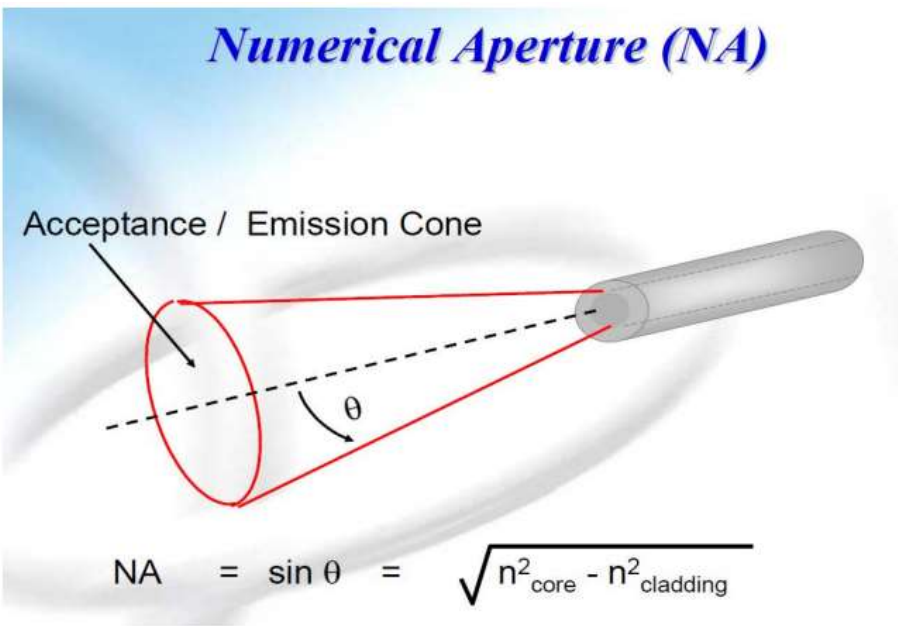
$$\text{Power level (in dBm)} = 10 \log \frac{P(\text{in mW})}{1\ \text{mW}}$$

Measuring Power of Optical Fiber

คุณสมบัติของสาย Optic Fiber

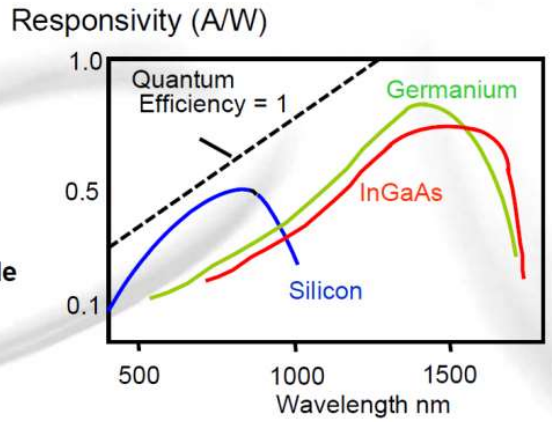






Material Aspects

- Silicon (Si)
  - Least expensive
- Germanium (Ge)
  - "Classic" detector
- Indium gallium arsenide (InGaAs)
  - Highest speed



Multimode cable

- 62.5/125
- 50/125

Multi-mode
62.5 micrometer Core
125 micrometer Cladding
250 micrometer Coating
0.275 Numerical Aperture (NA)

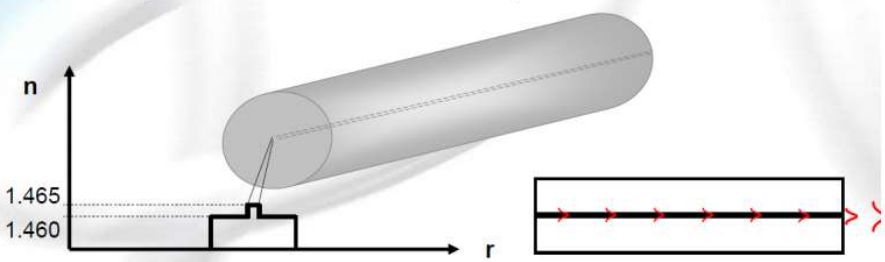
Singlemode cable

- 9/125

Single-Mode
9 micrometer Core
125 micrometer Cladding
250 micrometer Coating
0.13 Numerical Aperture (NA)

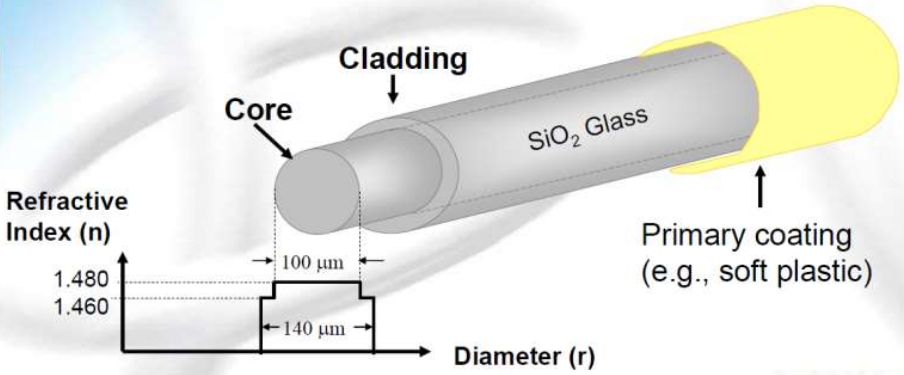
Single-Mode Fiber (SMF)

- Step-Index type with very small core
- Most common design: 9/125 μm or 10/125 μm, NA ~ 0.1
- Bitrate x Distance product: up to 1000 Gb/s • km
  (limited by CD and PMD - see next slides)



Step-Index (SI) Fiber

- Most common designs: 100/140 or 200/280 μm
- Plastic optical fiber (POF): 0.1 - 3 mm ∅, core 80 to 99%



Multimode Step-Index (MM)

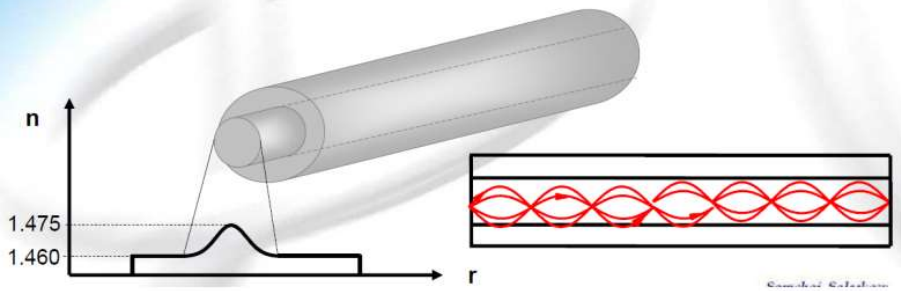
Pulse broadening due to multi-path transmission.

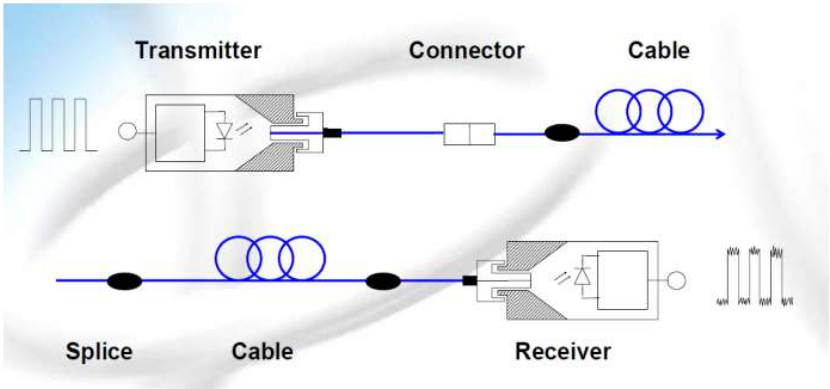
Bitrate x Distance product is severely limited!

100/140 μm Silica Fiber: ~ 20 Mb/s • km
0.8/1.0 mm Plastic Optical Fiber: ~ 5 Mb/s • km

Multimode Gradient-Index (GI) Fiber

- Doping profile designed to minimize "race" conditions ("outer" modes travel faster due to lower refractive index!)
- Most common designs: 62.5/125 or 50/125 μm, NA ~ 0.2
- Bitrate x Distance product: ~ 1 Gb/s • km

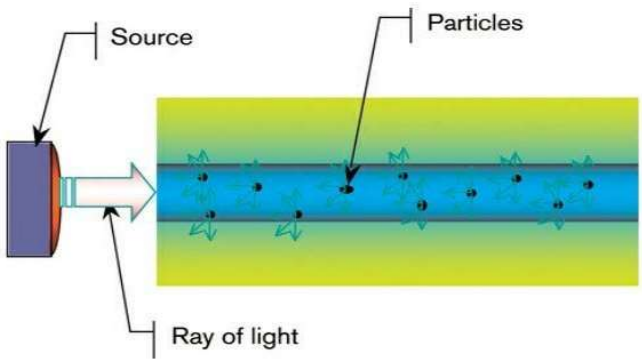




Link Loss =

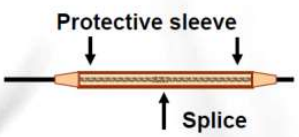
(Fiber Length (Km) x Fiber Attenuation per Km) + (Splice Loss x Number of Splice) + (Connector Loss x Number of Connector)

Fiber Attenuation



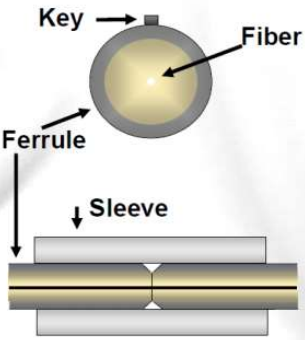
Splices

- **Fusion Splices**
  - Most common permanent fiber connection
  - Very high performance and reliability
  - Insertion loss 0.01 to 0.1 dB, no reflection
  - Automated splicing tool costs $10k to $50k
- **Mechanical Splices**
  - Permanent and non-permanent types
  - Insertion loss 0.1 to 0.5 dB
  - Index-matching liquid used to minimize loss & reflections
  - Epoxy or UV hardened elastomer based
  - Less expensive tools ($100 to $1,000) required



Connector Technology

- **Ultra-high precision**
  - ***Optical axis aligned to better than ±1 µm (single-mode)***
  - ***Physical contact of the glass end surfaces necessary to avoid strong reflections.***
- **Connector cleanliness is paramount**
  - ***dirt can add insertion loss, and damage connections.***



ชนิดของหัว

Connector

Fiber Standard Specification

Fiber Type	Wavelength	Fiber attenuation / km *	Fiber attenuation / km #	Connector Loss	Splice Loss
Multimode 50/125µm	850nm	3.5 dB	2.5 dB	0.75 dB	0.1 dB
	1300nm	1.5 dB	0.8 dB	0.75 dB	0.1 dB
Multimode 62.5/125µm	850nm	3.5 dB	3.0 dB	0.75 dB	0.1 dB
	1300nm	1.5 dB	0.7 dB	0.75 dB	0.1 dB
Single Mode 9µm	1310nm	0.4 dB	0.35 dB	0.75 dB	0.1 dB
Single Mode 9µm	1550nm	0.3 dB	0.22 dB	0.75 dB	0.1 dB

Single Mode Fiber Standard Specification

Parameter	Standard per ITU-T G.652D IEC 60793-2-50 B1.3 Max. /Typical	NZDS per ITU-T G.655 IEC 60793-2-50 B4 Max. /Typical	Bend-Insensitive ITU-T G.657.A1 IEC 60793-2-50 B6_a1 Max. /Typical	Bend-Insensitive ITU-T G.657.A2 IEC 60793-2-50 B6_a2 Max. /Typical	Units
Teldor Fiber Code	9	8	A	7	
Attenuation[4,5,6], Loose Tube Cables:					
@ 1310 nm	0.35 / 0.34	NA	0.35 / 0.34	0.35 / 0.34	dB/km
@ 1550 nm	0.23 / 0.20	0.23 / 0.20	0.23 / 0.20	0.23 / 0.20	
@ 1625 nm	0.25 / 0.22	0.26 / 0.23	0.25 / 0.22	0.25 / 0.22	
Attenuation[4], Tight Buffer Cables:					
@ 1310 nm	≤ 0.40	-	≤ 0.40	≤ 0.40	dB/km
@ 1550 nm	≤ 0.30	-	≤ 0.30	≤ 0.30	
Mode Field Diameter @ 1310 nm	9.2±0.4	NA	8.6±0.4	8.6±0.4	µm
@ 1550 nm	10.4±0.6	9.6±0.6	9.8±0.5	9.6±0.5	
Cable Cut-Off Wavelength	≤1260	≤1480	≤1260	≤1260	nm
PMD (Individual fiber)	≤ 0.2	≤ 0.1	≤ 0.2	≤ 0.2	$ps/km^{1/2}$
Cladding Diameter	125±0.7	125±0.7	125±0.7	125±0.7	µm
Core/Cladding Concentricity Error	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	µm
Cladding Non-Circularity	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	%
Coating Diameter (un-dyed)	245±5	245±5	245±5	245±5	µm
Proof-Test Level	0.7	0.7	0.7	0.7	GN/m^2
Induced Macrobend loss (1 turn around mandrel)					
Mandrel Radius			10	7.5	mm
Max. @ 1550 nm			0.5	0.4	dB
Max. @ 1625 nm			1.5	0.8	dB

เครื่องกำเนิดแสง Optical Light Source Training

- เครื่องทดสอบค่า Loss ในสาย Optical Fiber อย่างง่าย
- เครื่องวัดกำลังแสง (Optical Power Meter) เป็นเครื่องวัดระดับกำลังแสงในหน่วยวัตต์ (W) หรือ dBm ใช้สำหรับวัดกำลังแสงของทางด้านแสง เช่น ความแรงของสัญญาณไดโอดเปล่งแสง หรือเลเซอร์ไดโอด รวมถึงใช้ตรวจสอบโมดูลของภาคส่งสัญญาณและวงจรขับ (Line Driver)
- เครื่องวัดกำลังแสง จะประกอบด้วย Power Meter และตัวเซนเซอร์ (Sensor) โดยที่ตัวเซนเซอร์จะอยู่ภายในเครื่อง (Built-in Sensor)
- เครื่องกำเนิดแสง (Stabilized Light Source) เป็นเครื่องกำเนิดแสง ซึ่งอาจจะเป็นแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดี (LED Source) หรือเลเซอร์ (LD Source) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้

งานจะถูกใช้รวมกับเครื่องวัดกำลังแสง (Optical Power Meter) ในการวัดการลดทอนของสัญญาแสง

- Attenuation Loss ของเคเบิลตลอดเส้นทางจากต้นทางถึงปลายทางหรือที่เรียกว่า Total Loss Stabilized Light Source ส่วนใหญ่จะประกอบด้วย Main Frame และ Plug-in Unit ซึ่งมีหลายความยาวคลื่นให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม
- อุปกรณ์นี้สามารถใช้ตรวจจับสัญญาณแสงได้ทั้งแบบ CW (รวมถึงสัญญาณที่ใช้สื่อสารข้อมูลจริง) และแบบ modulate ด้วยความถี่ 270 Hz, 1 kHz และ 2 kHz

Optical Power meter

Main features

- +10 to -60 dBm range (standard models)
- +23 to -50 dBm range (high power models)
- Calibrated wavelengths at 850, 1300, 1310, 1490, 1550, and 1625 nm
- 2 kHz modulation detection
- dB Reference store facility
- Measurements in dBm, dB, and microwatts
- > 40 hours of battery life

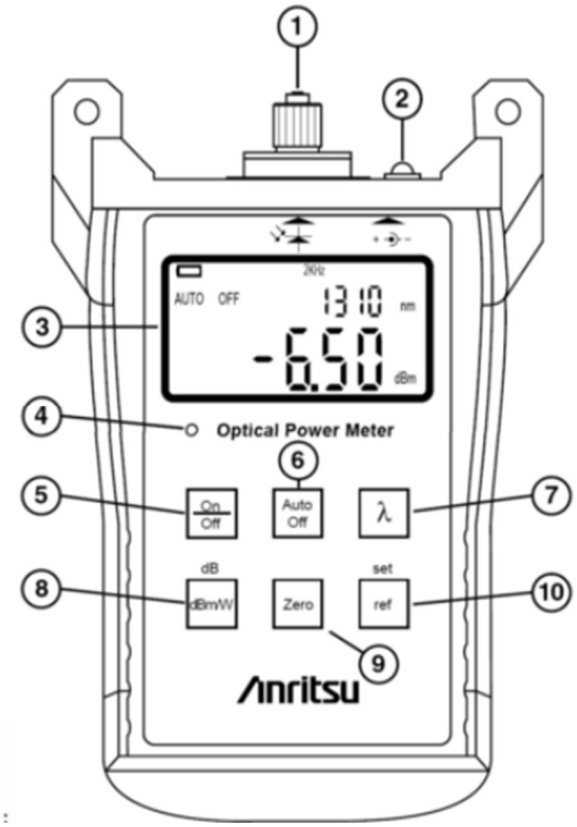
Specifications

Item	Specification
Detector Type	P-100/P-200: InGaAs
Range	P-100/P-200: +10 dBm to –60 dBm, (+10 to –50 dBm @ 850nm)
Calibrated Wavelengths	850, 1300, 1310, 1490, 1550, &1625nm
Calibration Accuracy	± 0.2dB (±0.5dB @ 850nm)
Linearity	Standard Units (CMA5/P-100 and CMA5/P-200) **1550/1310nm**: ±0.2dB, between +5 to -60dBm **850nm**: ±0.5dB, between +5 to -50dBm CATV Units (CMA5/P-100C and CMA5/P-200C) **1550/1310nm**: ±0.2dB, between +23 to -40dBm **850nm**: ±0.5dB, between +23 to -40dBm

Item	Specification
Resolution	0.01 dB
dB Reference	Yes
Modulation Detection	2KHz - visual indicator
Stability (8 Hours)	±0.1 dB
Display Indicators	4 digit, 7-segment LCD
Low Battery Indicator	visual indicator
Auto Power-Off	AUTO OFF - visual indicator
Battery Life (Alkaline)	>40 hrs. continuous use
Connector Adapters	CMA5/P-100 and CMA5/P-100C: FC, ST & SC
Low Battery Indicator	Visual indicator

Item	Specification
Power	One 9 Volt Alkaline battery
AC Adapter (option)	Input: 100-240V, 50-60Hz Output: 7.5V @ 2 Amps
Operating Temperature	-10 to + 50°C (+14 to +122°F)
Storage Temperature	-25 to + 60°C (-13 to +140°F)
Relative Humidity (%)	0 to 95 non-condensing
Size	5.70”H x 2.95”W x .98”D (145mm x 75mm x 25mm)
Weight	0.56 lbs (250g)

Operating Controls



- Button #1 Fiber Optic Input
- Button #2 External AC Power Jack
- Button #3 Liquid Crystal Display (LCD)
- Button #4 Ext. Power
- Button #5 On/Off Key
- Button #6 Auto Off Key
- Button #7 λ (Wavelength) Key
- Button #8 dBm/W Key
- Button #9 Zero Key
- Button #10 Ref Key

Measurement Description

1. Fiber Optic Input

The units are equipped with a universal connector. A variety of adapter caps are available on FC, SC connecter.

2. External AC Power Jack

Attach the optional AC Power adapter to this jack.

3. Measurements are displayed in:

- absolute power (dBm)
- relative loss (dB)
- microwatts (μW)
- define wavelength
- low battery (AUTO OFF)
- REF (indicates stored reference value)

4. Ext. Power

The External Power indicator lights up green when you are operating the unit on the optional external AC adapter.

5. On/Off Key

Power the unit on by pressing this key.

6. Auto Off Key

This key enables the Auto Off function which will power down the unit when no keys have been pressed for 5 minutes.

7. λ (Wavelength) Key

Press this key to cycle through the calibrated wavelengths (850, 1300, 1310, 1490, 1550, and 1625 nm).

8. dBm/W Key

Press the dBm/W key to toggle the unit's measurement mode between dBm (absolute power) and μW (microwatts). Hold the key until "HELD" is displayed (about 2 seconds) to switch to dB (relative power).

9. Zero Key

Press the Zero key to automatically zero the power meter. See "Auto Zero"

10. Ref Key

Pressing the Ref key momentarily will display the current dBm reference power level for approximately 2 seconds. Holding down the REF key until "HELD" appears in the display (approximately 3 seconds) will store the current dBm reference level. Separate reference values can be saved for each wavelength. These will be retained when power is turned off.

การทดสอบอุปกรณ์ไฟเบอร์ออปติก Visual Fault Locator (VFL) เพื่อค้นหา Fault ข้อมูลทั่วไป

VFL แบบปากกานี้ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษสำหรับบุคลากรภาคสนามที่ต้องการเครื่องมือไฟส่องแบบพกพา สำหรับการตรวจสอบเส้นใย การกำหนดเส้นทางของเส้นใย การทดสอบความต่อเนื่อง เพื่อค้นหาจุดพัก (การดัดหรือการแตกร้าวในสายเคเบิลไฟเบอร์ออปติก) และการเชื่อมต่อที่ไม่ดี

เครื่องตรวจจับความผิดพลาดของภาพใช้โมดูลเลเซอร์ 650 นาโนเมตรเป็น emitter ซึ่งเหมาะสำหรับการตรวจสอบเส้นใยเดี่ยวหรือแบบมัลติไฟเบอร์ สามารถเลือกโหมดเอาต์พุตได้ระหว่างความถี่ CW และความถี่ 2 Hz ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในการสื่อสารด้วยแสง การวัดส่วนประกอบของออปติคัล เซ็นเซอร์ optical fiber และสาขาอื่นๆ

FOC COMMUNICATION CO., LTD ได้สร้าง Visual Fault Locator ขึ้นมาใหม่ Visual Fault Locator ประกอบด้วยซองหนังที่ดูดซับพลังงานเหนือกล่องทนแรงกระแทกเพื่อให้สามารถทนต่อผลกระทบและการรักษาที่หยาบกร้านได้อย่างมั่นใจ Visual Fault Locator คือ VFL สำหรับการใช้งานภาคสนามที่ต้องการ ซึ่งแตกต่างจาก VFL ที่เปราะบางมากขึ้นที่ใช้ตัวโคมไฟหรือกล่องพลาสติกธรรมดา FOC COMMUNICATION CO., LTD ได้ออกแบบตัวเครื่อง VisiFault ให้ทนทานต่อกลไก กรณีนี้มีขนาดกะทัดรัดสำหรับการใช้งานภาคสนามและได้รับการออกแบบตามหลักสรีรศาสตร์เพื่อความสะดวกสบาย

การประยุกต์ใช้งาน

- การสื่อสารและการบำรุงรักษาใยแก้วนำแสง
- ระบบรักษาความปลอดภัยการติดตั้งและบำรุงรักษาเครื่องส่งสัญญาณไฟเบอร์ออปติก
- ระบบไฟเบอร์ออปติก CATV และการบำรุงรักษา
- การวิจัยเกี่ยวกับสายตาใยแก้วนำแสง
- ผลิตและวิจัยอุปกรณ์ออปติคัล

คุณสมบัติ

- เครื่องตรวจจับตำแหน่งและตัวตรวจจับเส้นทาง VFL ขนาดปากกา
- การใช้งานแบบ Single mode, Multimode และ Plastic Fiber
- อุปกรณ์ระดับชั้นที่ 1 ปลอดภัยตา ไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนด้านความปลอดภัย
- ตัวตรวจจับความผิดพลาดแบบ fiber optic ที่ทนทานและเรียบง่าย

- ตัวเลือกการเชื่อมต่อ universal ขนาด 2.5 และ 1.25 มม
- ตัวเลือกเลเซอร์แบบพัลซ์หรือแบบต่อเนื่อง
- มีประโยชน์ร่วมกับ OTDR เพื่อช่วยในการระบุความผิดพลาด

ข้อกำหนดทางเทคนิค

แบบ	VFL650-1S			
ความยาวคลื่นกลาง	650nm ± 10nm (635nm สามารถขอได้)			
ชนิดของเครื่องส่งสัญญาณ	FP-LD			
กำลังขับ	5 mW	10 mW	20 mw	30 mW
ช่วงเลเซอร์	≥5 kM	≥10 kM	≥20 kM	≥30 kM
ขั้วต่อแสง	ขั้วต่อสากล 2.5 มม. สำหรับขั้วต่อ 1.25 mm, FC (ชาย) - LC (หญิง) สามารถจัดส่งได้ตามที่ร้องขอ			
รูปแบบการดำเนินงาน	มีทั้ง CW และ Pulse			
ความถี่ Pulse	2 Hz ถึง 3 Hz / 9 Hz			
แหล่งจ่ายไฟ	แบตเตอรี่อัลคาไลน์ 2AA			
แบตเตอรี่	แบตเตอรี่อัลคาไลน์ AA			
อุณหภูมิในการทำงาน	-20 °C ถึง 60 °C			
อุณหภูมิในการจัดเก็บ	-40 °C ถึง 85 °C			
มิติ	Φ 25 X 195			
น้ำหนัก	100 g (ไม่มีแบตเตอรี่)			

แพคเกจมาตรฐาน - Pen-type Visual Fault Locator

แบบ	รวม
VFL-650-2S	ชุดหลักคู่มือผู้ใช้

Visual Fault Locator คืออะไรและใช้งานอย่างไร

Fiber Visual Fault Locator (VFL) เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับชุดเครื่องมือไฟเบอร์ออปติกทุกชุด มันเหมือนเครื่องทดสอบความต่อเนื่อง VFL ไม่ใช่หนึ่งในเครื่องมือที่มีราคาถูกที่สุดในชุดเครื่องมือของคุณ มันจะช่วยให้คุณระบุการแตกหักหรือ macrobends ในใยแก้วนำแสงได้อย่างรวดเร็วและระบุการประกบฟิวชั่นที่ไม่ดีในมัลติไฟเบอร์หรือโหมดเดี่ยว

ความแตกต่างอย่างมากระหว่าง VFL และเครื่องทดสอบความต่อเนื่องคือแหล่งกำเนิดแสงและกำลังขับแสงของแหล่งกำเนิดแสง ปกติแล้ว VFL จะใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์สีแดง (635-650 nm) กำลังแสงออปติคอลของเลเซอร์โดยทั่วไปคือ 1 mW หรือน้อยกว่า เนื่องจากพลังงานแสงสูง คุณไม่ควรดูผลลัพธ์ของ VFL โดยตรง

Visual Fault Locator มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน บางครั้งอาจมีลักษณะเหมือนปากกา บางครั้งอาจถูกสร้างขึ้นในเครื่องวัดการสะท้อนแสงของโดเมนเวลาแบบออปติคัล (OTDR) และบางครั้งอาจดูเหมือนกล่องทดสอบขนาดเล็ก

VFL มีสองประเภท: การติดต่อและไม่ติดต่อ เมื่อใช้ VFL แบบสัมผัสใยแก้วนำแสงที่อยู่ภายใต้การทดสอบจะทำการติดต่อกับ VFL อย่างไรก็ตามด้วย VFL แบบไม่สัมผัสใยแก้วนำแสง ภายใต้การทดสอบจะไม่สัมผัส VFL ซึ่งแตกต่างจากเครื่องทดสอบความต่อเนื่อง VFL ไม่ได้จำกัดอยู่ที่การทดสอบมัลติไฟเบอร์ออปติกที่มีความยาว 2 กม. หรือน้อยกว่า VFL สามารถใช้เพื่อตรวจสอบความต่อเนื่องของมัลติโหมดหรือใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยวที่ยาวกว่า 2 กม. เนื่องจากการลดทอนของแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ 635–650 nm โดยใยแก้วนำแสง macrobends อาจไม่สามารถตรวจจับได้เกิน 1 กม. ในใยแก้วนำแสงมัลติโหมดและ 500 เมตรในใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยว เช่นเดียวกันถือเป็นจริงสำหรับการค้นหาตัวแบ่งในใยแก้วนำแสงผ่านแจ็คเก็ตของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

วิธีการใช้ Visual Fault Locator

เช่นเดียวกับเครื่องมือทดสอบความต่อเนื่อง สิ่งแรกที่คุณจะต้องทำก็คือทำความสะอาดส่วนปลายของขั้วต่อและตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ หากสิ้นสุดส่วนปลายเป็นที่ยอมรับ VFL สามารถเชื่อมต่อกับ Optical Connector ไม่ควรดูได้โดยตรงในระหว่างการทดสอบนี้

VFL เติมแกนกลางของใยแก้วนำแสงด้วยแสงจากเลเซอร์ แสงจากเลเซอร์จะหนีไฟเบอร์ออปติกที่จุดพักหรือ macrobend แสงที่หลบหนีจากใยแก้วนำแสงโดยทั่วไปจะส่องแสงบัฟเฟอร์รอบๆ ใยแก้วนำแสง Macrobends ไม่สามารถมองเห็นได้ตลอดผ่านแจ็คเก็ต แต่โดยทั่วไปจะมองเห็นได้ผ่านบัฟเฟอร์ อาจเห็นรอยแตกได้ผ่านแจ็คเก็ตของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง ขึ้นอยู่กับสีของแจ็คเก็ต ความหนาจำนวนเส้นใยแสงในสายเคเบิลและปริมาณความแข็งแรงของสมาชิก

VFL และ OTDR Tester ทำงานร่วมกัน เมื่อมันมาถึงจุดแตกหักในใยแก้วนำแสง OTDR สามารถให้ผู้ปฏิบัติงานทราบระยะทางในการหยุดพัก VFL ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานเห็นการแตกหักของเส้นใยนำแสง

สายเคเบิลใยแก้วนำแสงไม่ได้เป็นเพียงสถานที่เดียวที่ใยแก้วนำแสงอาจแตก เส้นใยแก้วนำแสงอาจแตกภายในขั้วต่อหรือปลอกโลหะของขั้วต่อ ยกเว้นว่าใยแก้วนำแสงจะแตกที่ส่วนท้ายของขั้วต่อจะไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์

VFL มักจะระบุถึงการยกเลิกหรือการเชื่อมต่อที่ไม่ดี เมื่อมองไปที่รูปถ่ายคุณจะเห็น VFL ส่องสว่างจุดพักในใยแก้วนำแสง เอาท์พุทของ VFL นั้นทรงพลังมากจนมันทะลุปลอกโลหะเซรามิก

ตัวระบุตำแหน่งความผิดปกติทางสายตาสามารถใช้เพื่อทดสอบความต่อเนื่องของใยแก้วนำแสงในลักษณะเดียวกัน ขั้นตอนแรกเมื่อใช้เครื่องทดสอบความต่อเนื่องคือการทำความสะอาดและตรวจสอบจุดเชื่อมต่อของภาพ ก่อนที่จะแทรกเข้าไปในเครื่องทดสอบความต่อเนื่อง หลังจากทำความสะอาดและตรวจสอบตัวเชื่อมต่อแล้วคุณต้องตรวจสอบว่าเครื่องทดสอบความต่อเนื่องทำงานได้อย่างถูกต้อง เปิดเครื่องทดสอบความต่อเนื่องและตรวจสอบว่ามีการเปล่งแสง

ตัวระบุตำแหน่งความผิดปกติทางสายตายังสามารถใช้เพื่อค้นหา macrobend ในใยแก้วนำแสง อย่างไรก็ตาม macrobends ไม่อนุญาตให้แสงส่องเข้าไปในบัฟเฟอร์และแจ็คเก็ตได้มาก พอๆ กับการทำลายในเส้นใยแก้วนำแสง การหา macrobend ด้วย VFL อาจทำให้ห้องมืดลง

Macrobends และ splices การสูญเสียสูงปรากฏเหมือนกันในการติดตาม OTDR VFL ช่วยให้สามารถระบุการประกบฟิวชั่นที่สูญเสียได้สูง

บรรณานุกรม

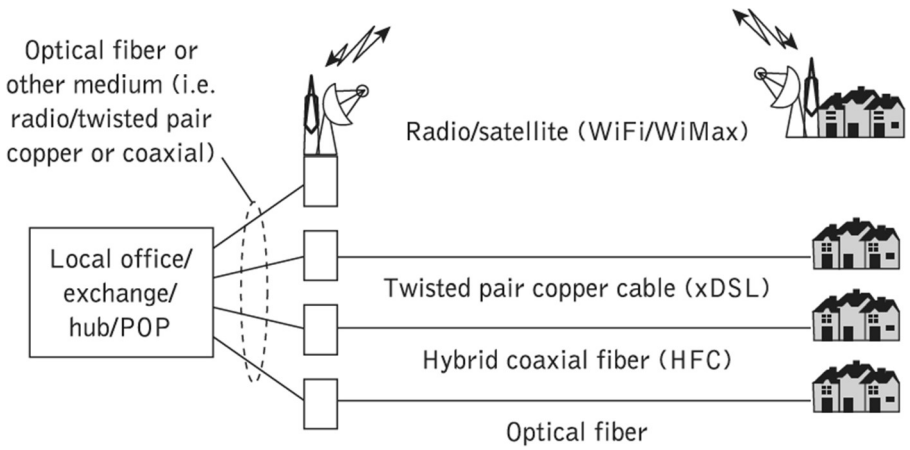
[1] บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) “คู่มือมาตรฐานการติดตั้ง บำรุงรักษาโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสง”: กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน): สิงหาคม 2555.

[2] บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) “คู่มือมาตรฐานการติดตั้งวงจรสื่อสารข้อมูล”: กรุงเทพฯ: สิงหาคม 2555.

Module V:

7. FTTX

โครงข่ายการเข้าถึง หรือ Access Network เป็นโครงข่ายที่เชื่อมโหนดการเข้าถึง (Access nodes) สู่ผู้ใช้บริการปลายทาง (End users) ไม่ว่าจะเป็นผู้ใช้บริการในที่อยู่อาศัย และผู้ใช้บริการเพื่อธุรกิจต่างๆ และยังเป็นโครงข่ายที่เชื่อมต่อโหนดการเข้าถึงกับเครือข่ายระดับเมืองที่มีระยะทางการเชื่อมต่อที่กว้างและมีระยะทางไกล หรือ MANs (Metropolitan Area Networks) โครงข่ายการเข้าถึงถือเป็นโครงข่ายขั้นสุดท้ายระหว่างลูกค้าระยะสุดท้าย (Last mile customers) และจุดเริ่มต้นของการเชื่อมต่อสู่โครงสร้างพื้นฐานของระบบเครือข่าย เช่น ชุมสายท้องถิ่น (Local exchange/ Local office) วิธีการการรับ-ส่งข้อมูลมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับตัวกลางในการรับ-ส่งข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 7.1

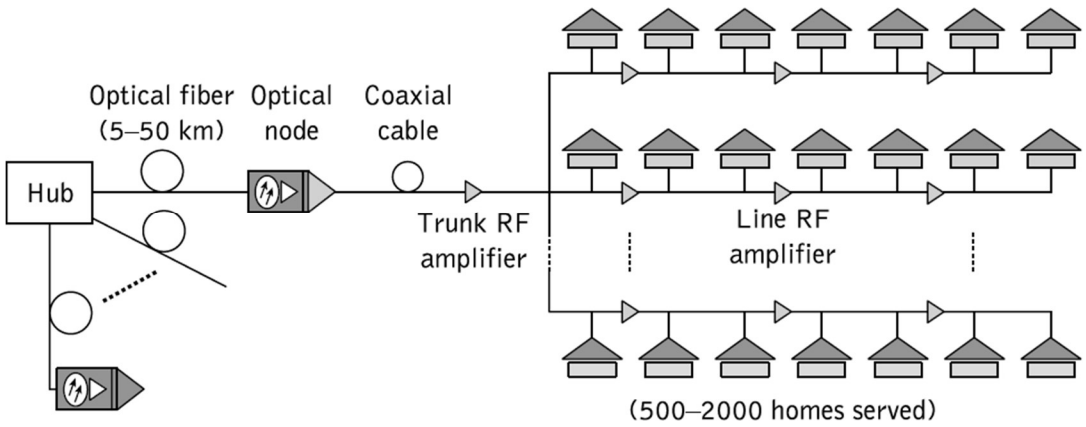


รูปที่ 7.1 การรับ-ส่งข้อมูลโดยอาศัยตัวกลางชนิดต่างๆ [1]

จากรูปที่ 7.1 จะเห็นว่ามีการใช้ตัวกลางในการรับ-ส่งข้อมูลหลากหลายชนิดได้แก่ คลื่นวิทยุ/ดาวเทียม (อาศัยเทคโนโลยี WiFi/WiMax) สายทองแดงคู่ตีเกลียว (เทคโนโลยี ADSL/xDSL) สายโคแอกเชียลร่วมกับใยแก้วนำแสง (Hybrid coaxial fiber) และการใช้เส้นใยแก้วนำแสงอย่างเดียวสู่ผู้ใช้บริการ โดยอัตราการรับ-ส่งข้อมูลได้ถูกแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ชนิดของเทคโนโลยี ชนิดของตัวกลาง อัตรา และมาตรฐานการรับ-ส่งข้อมูลต่างๆ [1]

Type	*Transmission medium*	*Transmission rate downstream/ upstream*	*Standards*
Cable modems	Hybrid fiber coaxial (HFC)	160 /120 (Mbit s^{-1}) (with 4 Channel bonding†)	ANSI/SCTE-40, DOCSIS 3.0, ITU-T J.222 [Refs 116–120]
ADSL (asymmetric digital subscriber line)	Twisted pair copper (5.5 km)	7/0.8 (Mbit s^{-1})	ITU-T G.992.1
ADSL2 : ADSL2+	(5.5 km)	8/1 : 24/1 (Mbit s^{-1})	ITU-T G.992.3, ITU-T G.992.5
VDSL (very high-speed DSL)	(1.5 km)	55/15 (Mbit s^{-1})	ITU-T G.993.1
VDSL2 : VDSL2+	(0.3 to 5 km)	55/30 :100/100 (Mbit s^{-1})	ITU-T G.993.2 [Refs 117, 121–125]
Wifi WiMax	Wireless (radio/satellite)	24/1 (Mbit s^{-1}) 70/25 (Mbit s^{-1})	IEEE 802.11b, 802.16e [Refs 24, 117, 126]
Fiber access network	Optical fiber	2.5/1.25 (Gbit s^{-1}) and 2.5/2.5 (Gbit s^{-1})	ITU-T G.983.1, G.984.1, FSAN [Refs 117, 127–129]

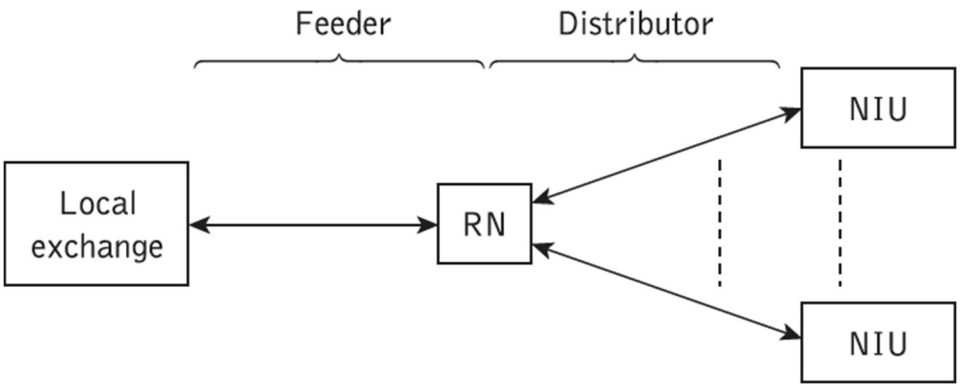


รูปที่ 7.2 การรับ-ส่งข้อมูลโดยอาศัยเคเบิลใยแก้วนำแสงร่วมกับเคเบิลแบบโคแอกเชียล [1]

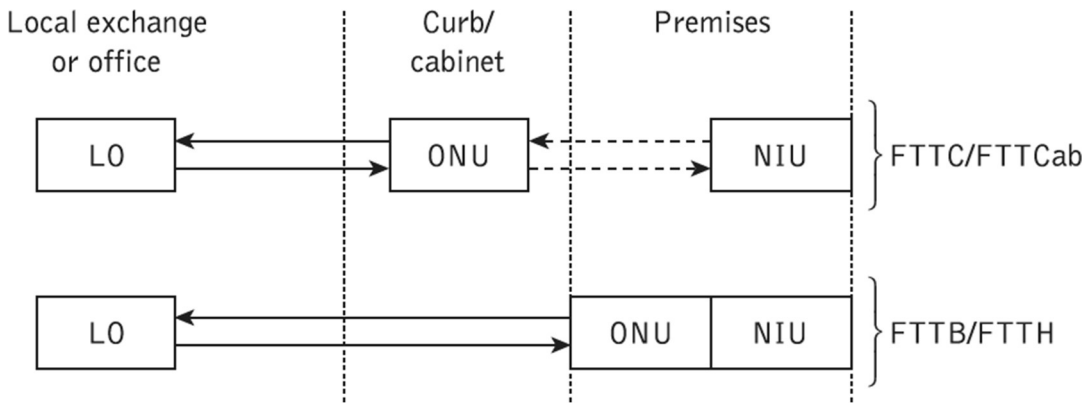
รูปที่ 7.2 แสดงถึงระบบรับ-ส่งข้อมูลที่ใช้เคเบิลใยแก้วนำแสงร่วมกับเคเบิลแบบโคแอกเชียล เส้นใยแก้วนำแสงจะถูกใช้ในตอนต้นของระบบจากฮับ (Hub) มาจนถึงโหนดซึ่งเป็นระยะทางประมาณ 5-50 กิโลเมตร จากนั้นเคเบิลแบบโคแอกเชียลจะถูกใช้งานเพื่อต่อจากโหนดไปยังผู้ใช้งานต่อไป บริการที่ใช้รูปแบบผสมนี้ในประเทศไทยได้แก่ บริการเคเบิลอินเทอร์เน็ต และเคเบิลทีวี

โครงข่ายการเข้าถึง หรือ access network ที่อาศัยเส้นใยแก้วนำแสงเพียงอย่างเดียว สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนของการส่งสัญญาณ (Feeder) และส่วนการกระจายสัญญาณ (Distributor) ดังแสดงในรูปที่ 7.3 โดยตัว Feeder จะเป็นส่วนระหว่างตัวชุมทางสาย ถึงโหนดทางไกล

(Remote node) และตัว Distributor จะเป็นส่วนระหว่างโหนดทางไกลถึงหน่วยการเชื่อมต่อเครือข่าย (Network interface unit หรือ NIU) โหนดทางไกลหนึ่งตัวสามารถรองรับ NIU ได้หลายตัว โดย NIU จะถูกติดตั้งทั้งในอาคาร หรือนอกอาคาร ตัว NIU มีหน้าที่ทำให้การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ เป็นไปได้อย่างราบรื่นโดยการใช้โพรโตคอล (Protocol) ชนิดต่างๆ และจะต้องมีการแปลงโพรโตคอลเหล่านี้มาเป็นรูปแบบกลางเพื่อให้การสื่อสารสามารถสำเร็จได้



รูปที่ 7.3 โครงข่ายการเข้าถึงโดยอาศัยเส้นใยแก้วนำแสง [1]



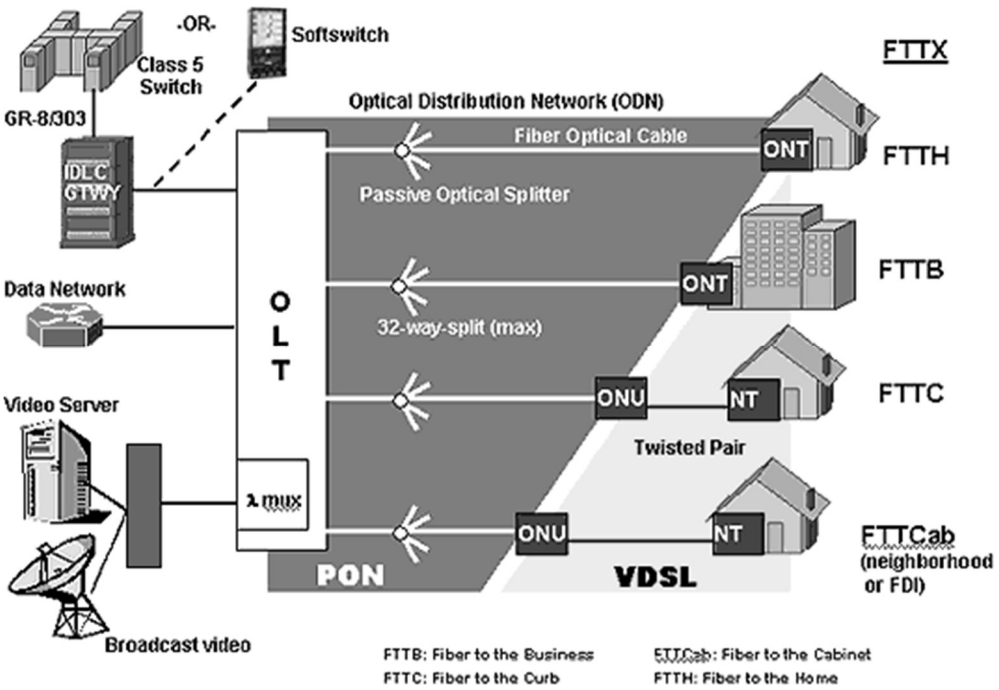
รูปที่ 7.4 โครงสร้างของ Access network โดยอาศัยเส้นใยแก้วนำแสง หรือ FTTx [1]

Access network ที่อาศัยเส้นใยแก้วนำแสงได้ถูกแสดงในรูปที่ 7.4 โดยที่การวางตำแหน่ง NIU จะขึ้นอยู่กับรูปแบบและระยะทางระหว่างผู้ใช้กับชุมสายท้องถิ่น หรือ Local Office (LO) ตัว ONU (Optical network unit หรือบางครั้งเรียก Optical node unit) จะเป็นจุดสิ้นสุดของเส้นใยแก้วนำแสง และตำแหน่งของมันยังแสดงถึงรูปแบบของ Access network ที่อาศัยเส้นใยแก้วนำแสงอีกด้วยว่าเป็นชนิดใด หรือเรียกว่า FTTX

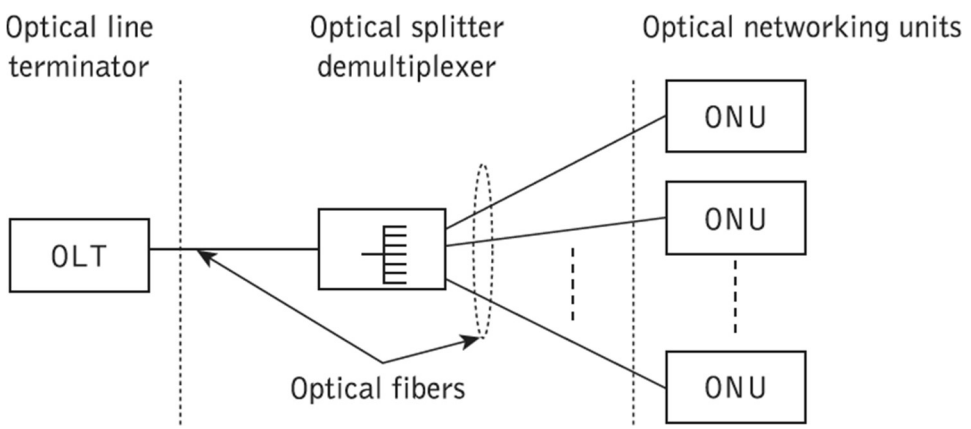
FTTX เป็นคำย่อมาจากคำว่า Fiber-to-the-X โดยที่ X หมายถึงสถานที่ใดๆ ที่มีตัว ONU ถูกติดตั้งอยู่ ซึ่งถือเป็นจุดสุดท้ายที่เส้นใยแก้วนำแสงจะไปถึง หรือเรียกว่าจุดเทอร์มิเนต (Terminate) เส้นใยแก้วนำแสง ชนิดของ FTTX และตำแหน่งของ ONU ได้ถูกแสดงในตารางที่ 7.2 และรูปที่ 7.5

ตารางที่ 7.2 ชนิดของ FTTX และตำแหน่งของ ONU ในแต่ละกรณี

ชนิดของ FTTX		ตำแหน่งของ ONU
FTTCab	Fiber-to-the-cabinet	ตู้พักสาย (Cabinet) โดยในบางกรณีอยู่บนเสาไฟฟ้าข้างขอบถนน (Curb)
FTTC	Fiber-to-the-curb	
FTTB	Fiber-to-the-building	ข้างในอาคาร/ตึก
FTTH	Fiber-to-the-home	ข้างในบ้าน
FTTA	Fiber-to-the-antenna	บนเสาสัญญาณไร้สาย



รูปที่ 7.5 รูปแบบต่างๆ ของ FTTX [2]



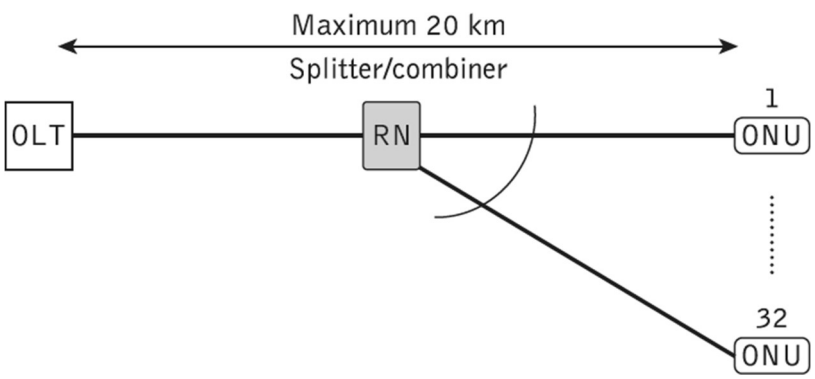
รูปที่ 7.6 โครงสร้างหลักของ PON (Passive optical network) [3]

FTTX ประกอบด้วยอุปกรณ์หลากชนิด ดังแสดงในรูปที่ 7.6 ได้แก่ OLT (optical line terminal/ terminator), ตัวแยกสัญญาณแสง (Optical splitter), และ ONU จะเห็นว่าตัวกลางที่ใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งสามชนิดเป็นเส้นใยแก้วนำแสง และระหว่าง OLT และ ONU จะมีแต่อุปกรณ์ที่เป็นแบบพาสซีฟ (passive devices) ทั้งหมด ดังนั้นโครงสร้างแบบนี้ถูกเรียกว่าเครือข่ายใยแก้วนำแสงแบบพาสซีฟ หรือนิยมเรียกว่า พอน (PON หรือ Passive Optical Network) ตัว OLT จะติดตั้งอยู่กับเครือข่ายหรือสัญญาณต่างๆ ของส่วนผู้ให้บริการ (Service provider) จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงไปยัง Splitter เพื่อทำการแยกสัญญาณไปยังเส้นทางต่างๆ ไปยังผู้ใช้งาน ซึ่งจำนวนของ Splitter ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่าง OLT ถึง ONU และจำนวนผู้ใช้งาน ส่วน ONU ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เป็นอุปกรณ์ที่รับสัญญาณจาก OLT มาแปลงสัญญาณให้เหมาะสมเพื่อทำให้การสื่อสารสามารถใช้งานได้ เช่น ในระบบ FTTH ONU จะถูกติดตั้งเป็นเราท์เตอร์ (Router) เพื่อให้ผู้ใช้ในบ้านสามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตได้ ชนิดของ PON สามารถแบ่งได้เป็นสามชนิดหลักๆ ดังนี้

1. ATM PON (APON) หรือบางครั้งเรียก Broadband PON (BPON)
2. Ethernet PON (EPON) และ Gigabit Ethernet PON (GE-PON)
3. Gigabit PON (GPON)

PON ใช้ความยาวคลื่นที่แตกต่างกันในการรับ-ส่งสัญญาณจาก OLT ไปยัง ONU ถ้าสัญญาณถูกส่งจาก OLT ไปยัง ONU จะถูกเรียกว่า ดาวน์สตรีมมิ่ง (Downstreaming) และในทางกลับกันถ้าสัญญาณถูกส่งจาก ONU ไปยัง OLT จะถูกเรียกว่า อัพสตรีมมิ่ง (Upstreaming)

7.1 APON



รูปที่ 7.7 โครงร่างของ APON [1]

โครงร่างของ APON ถูกแสดงดังรูปที่ 7.7 รูปแบบการส่งสัญญาณชนิด ATM (Asynchronous Transfer Mode) ถูกใช้ในการส่งสัญญาณ downstream จาก OLT ไปยัง ONU ในขณะที่การส่ง upstream จากแต่ละ ONU ไปยัง OLT จะใช้รูปแบบ TDM (Time Division Multiplexing) โดยอัตราการส่งโดยทั่วไปของ APON สำหรับ upstream และ downstream ประมาณ 155 Mbps และ 622 Mbps ตามลำดับ และ

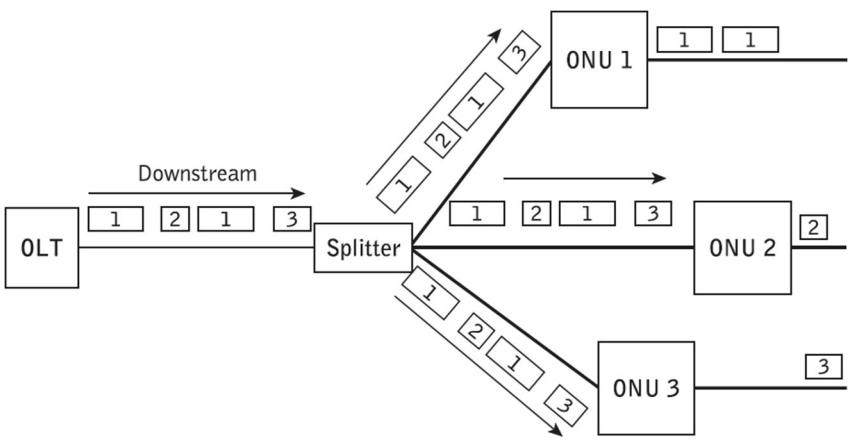
ความยาวคลื่น 1.5 ไมครอน ถูกใช้สำหรับการส่งแบบ downstream และ 1.3 ไมครอนถูกใช้สำหรับการส่งแบบ upstream อย่างไรก็ตาม APON ไม่สามารถส่งสัญญาณ IP หรือ Ethernet packet ได้ ตารางที่ 7.3 ได้สรุปข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับ APON ไว้โดยคร่าว

ตารางที่ 7.3 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ APON [1]

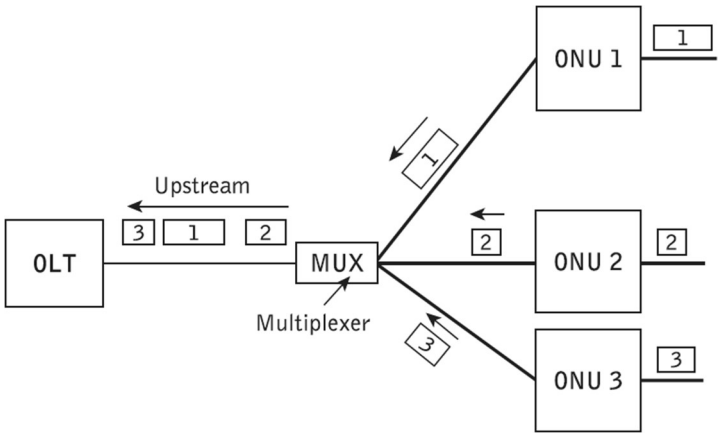
รูปแบบสตรีมมิ่ง	ความยาวคลื่น (nm)	รูปแบบการส่ง	อัตราการส่ง (bps)
Upstream	1300	TDM	155M
Downstream	1500	ATM	622M

7.2 EPON

ปัญหาการส่งสัญญาณ IP packets ใน APON สามารถแก้ไขให้หมดไปได้ใน EPON โดยใน EPON สามารถส่ง IP packets ผ่าน ethernet frames ได้โดยตรง โดยในแต่ละ packet จะประกอบด้วยข้อมูลที่จะส่งไปยังปลายทาง แลจะถูกส่งไปตามลำดับโดยต่อเนื่อง ซึ่งสามารถทำให้ข้อมูลสามารถถูกส่งไปได้โดยสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 7.8



ก)



ข)

รูปที่ 7.8 ก) การส่ง downstream ข) การส่ง upstream ใน EPON [1]

จากรูปที่ 7.8 ก) จะเห็นได้ว่าการส่งสัญญาณแบบ downstream ใน EPON ตัว splitter จะแยกสัญญาณไปยังเส้นใยแก้วสามเส้นทาง เมื่อสัญญาณไปถึง ONU แต่ละ ONU จะยอมรับ packets ที่ต้องการเท่านั้น และจะทิ้งหรือปฏิเสธ packets ที่เหลือไป แต่สำหรับสัญญาณ upstream จะถูกจัดการด้วยลำดับทางเวลาโดยวิธี TDM ดังแสดงในรูปที่ 7.8 ข) โดยแต่ละช่องเวลาจะถูกกำหนดให้สำหรับแต่ละ ONU ในการส่งสัญญาณเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนหรือก้าวก่ายกันเมื่อ frames ทั้งหมดถูกส่งไปยัง OLT ดังรูป

EPON ใช้ความยาวคลื่นมากกว่า APON โดยจะใช้สองหรือสามความยาวคลื่นในการรับ-ส่งสัญญาณ โดยแสงความยาวคลื่น 1.49 ไมครอนจะถูกใช้ในการส่ง downstream และความยาวคลื่น 1.31 ไมครอนจะถูกใช้ในการส่ง upstream อย่างไรก็ตาม ได้มีการกำหนดความยาวคลื่นแสงที่ 1.55 ไมครอนไว้สำหรับการส่งสัญญาณเคเบิลทีวี (CATV) ไว้ด้วย และมีการกำหนดหน้าต่างความยาวคลื่นช่วง 1.53–1.56 ไมครอนไว้สำหรับระบบ DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) อีกด้วยสำหรับการอัพเกรดในภายภาคหน้า ตารางที่ 7.4 สรุปข้อมูลต่างๆ ของ EPON

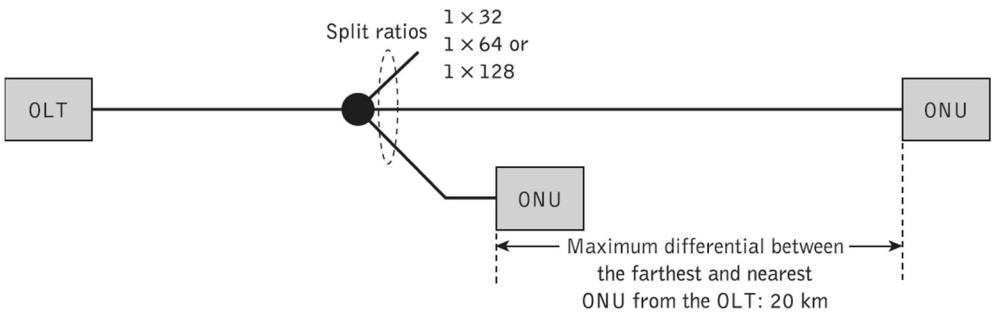
ตารางที่ 7.4 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ EPON [1]

รูปแบบสตรีมมิ่ง	ความยาวคลื่น (nm)	รูปแบบการส่ง	อัตราการส่ง (bps)
Upstream	1310	TDM	1.25G
Downstream	1490 1550 (CATV และ DWDM overlays)	Ethernet	1.25G

7.3 GPON

GPON ถูกออกแบบเพื่อให้การส่ง IP packet ง่ายยิ่งขึ้น โดยยังสามารถส่งข้อมูลแบบ ATM และ Ethernet ได้อีกด้วย โครงร่างของ GPON จะเหมือนกับของ EPON ดังแสดงดังรูปที่ 7.9 โดย splitter สามารถแยกสัญญาณได้ถึง 128 เส้นทาง โดยมีระยะทางที่แตกต่างของ ONU ตัวที่ไกลสุด และใกล้สุดนับจากตำแหน่งของ OLT ได้สูงสุดที่ 20 กิโลเมตร

GPON ถูกออกแบบเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในเทอมของการใช้แบนด์วิดท์ การซ่อมบำรุง ความยืดหยุ่นของระบบสำหรับการขยายตัวของความต้องการ และการสนับสนุนสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ โดยคาดว่าสุดท้ายแล้ว GPON จะใช้ในการส่งแบบ IP packets หรือ Ethernet frames อย่างเดียวเนื่องจากการส่งแบบ ATM ไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายนั่นเอง



รูปที่ 7.9 โครงร่างของ GPON [1]

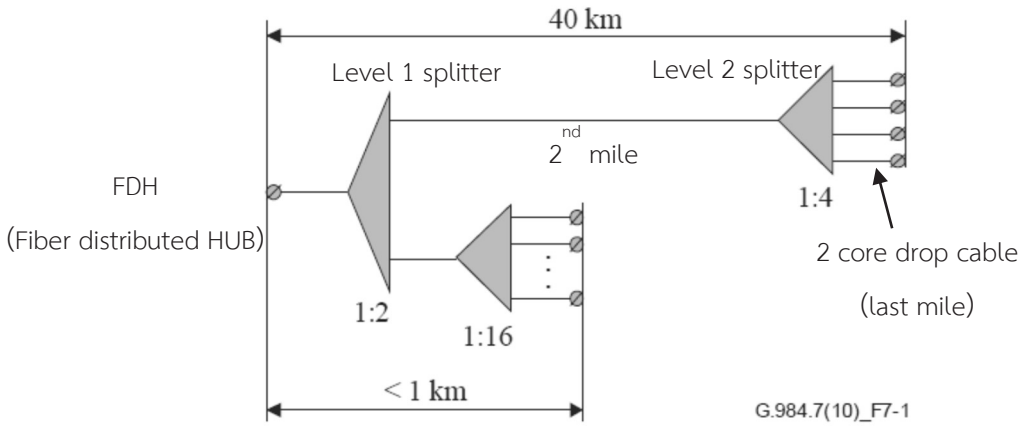
ตารางที่ 7.5 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ GPON [1]

รูปแบบสตรีมมิ่ง	ความยาวคลื่น (nm)	รูปแบบการส่ง	อัตราการส่ง (bps)
Upstream	1310	TDM	2.4G
Downstream	1490 1550 (CATV และ DWDM overlays)	ATM, Ethernet, WDM	2.4G

ในประเทศไทย ณ ปัจจุบัน เครือข่าย FTTX ส่วนใหญ่ เป็นแบบ GPON ซึ่งมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับค่าลดทอนสัญญาณ (Attenuation) ของการส่งสัญญาณจาก OLT ไปถึง ONU ของ GPON ที่สำคัญคือมาตรฐาน ITU-T G.984.7 ซึ่งได้กำหนดคลาสของ GPON ไว้ดังตารางที่ 7.6 โดยในประเทศไทยจะใช้คลาส B+ เป็นหลัก ดังนั้นค่าการลดทอนสัญญาณหรือการสูญเสียสูงสุดที่ยอมรับได้คือ 28 dB และค่าความยาวสูงสุดที่ใช้ได้คือ 40 กิโลเมตร

ตารางที่ 7.6 คลาสการลดทอนสัญญาณต่าง ๆ ของ PON ตามมาตรฐาน ITU-T G.984.7 [3]

Attenuation class	Attenuation range (dB)	Maximum Physical Reach (km)	Maximum Differential fiber distance (km)
Class B+	13 - 28	40	40
Class C	15 - 30	40	40
Class C+	17 - 32	60	40



รูปที่ 7.10 โครงร่างของ GPON ตามมาตรฐาน ITU-T G.984.7 class B+ [3]

ตัวอย่างโครงร่างของ GPON ตามมาตรฐาน ITU-T G.984.7 คลาส B+ ได้ถูกแสดงดังรูปที่ 7.10 โดยทั่วไปจาก Hub ถึง ONU จะมี splitter ประมาณสองตอน ในที่นี้หมายถึงสัญญาณจาก OLT ถึง ONU จะถูกแยกสองครั้ง หรือผ่าน splitter สองตัวนั่นเอง โดย splitter ในตอนแรกจะเป็นระยะสั้นระดับ 1 กิโลเมตร จากตัว Hub และ splitter ตัวที่สองจะห่างจากตัวแรกเป็นระดับสิบกิโลเมตร ขึ้นอยู่กับระยะห่างจากผู้ใช้งาน สายเคเบิลใยแก้วในระยะสุดท้ายถึงผู้ใช้ส่วนใหญ่จะใช้สาย drop wire สองคอร์ชนิด G.657

นอกจากนี้ยังมี PON อีกหลายแบบ เช่น PON ที่ใช้ ethernet frames ในการรับ-ส่งข้อมูลอย่างเดียว จึงเรียกว่า Gigabit Ethernet PON หรือ GE-PON และยังอาจใช้เทคนิค WDM มาช่วยเพิ่มความกว้างของแบนด์วิดท์ได้อีกด้วย บางครั้งเรียก WDM-PON โดยตัวส่งจะต้องมีแหล่งกำเนิดแสงสำหรับ WDM และที่ตัวรับก็ต้องมีตัวรับแสงที่เหมาะสมกับ WDM เช่นกันโดยมีการใช้ฟิลเตอร์มาช่วยในการกรองช่องสัญญาณแสง

PON ยังได้ถูกพัฒนาไปเป็น PON ยุคใหม่ที่สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้รวดเร็วขึ้นในระดับ 10 Gbps หรือเรียกว่า Next-Generation PON (NG-PON) ได้แก่ 10G-PON, 10GE-PON เป็นต้น บางครั้งยังถูกเรียกว่า XG-PON โดยอักษร X มาจากอักษรกรีกที่หมายถึงเลขสิบ (10 Gbps) โดยใน NG-PON มีแนวโน้มในการใช้ความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นสำหรับ downstream (1575 – 1580 nm) และสั้นลงสำหรับการ upstream (1260 – 1280 nm) แต่สำหรับการส่งวีดีโอยังคงใช้ความยาวคลื่นที่ 1550 nm

สำหรับการซ่อมบำรุงเครือข่ายจะใช้ความยาวคลื่นเฉพาะสองความยาวคลื่นด้วยกันคือ 1625 nm และ 1650 nm จะเห็นได้ว่าความยาวคลื่นทั้งสองห่างจากความยาวคลื่นสำหรับ downstreaming มากพอสมควร เพื่อป้องกันการรบกวนของคลื่นแสงขณะใช้งานนั่นเอง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า FTTX เป็นการสื่อสารสองทาง (Two-way Communication) ดังนั้นจะต้องมีตัวกำเนิดแสง และตัวรับแสงทั้งสองฝั่งทั้งฝั่งของ OLT และ ONU โดยทั่วไปตัวกำเนิดแสง และตัวรับแสงฝั่ง OLT จะมีคุณภาพที่ดีกว่าอุปกรณ์ในฝั่ง ONU ฝั่ง OLT จะใช้ตัวกำเนิดแสงเป็นเลเซอร์ชนิด DFB (Distributed Feedback Laser) และตัวรับแสงแบบ APD (Avalanche Photodiode Detector) ในขณะที่ฝั่ง ONU ของผู้ใช้งานจะเป็นเลเซอร์ไดโอด และโฟโตไดโอดชนิดพี-ไอ-เอ็น (p-i-n photodiode)

บรรณานุกรม

[1] “Optical Fiber Communications”, John M. Senior, 3rd Edition, Pearson/Prentice Hall, 2009.

[2] เข้าถึงได้จาก https://www.limratech.ae/telecom/ (วันที่ค้นข้อมูล 10 กรกฎาคม 2563)

[3] เข้าถึงได้จาก ITU website: https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx (วันที่ค้นข้อมูล 11 กรกฎาคม 2563)

ใบงาน Optical Fiber

ใบงานที่ 1

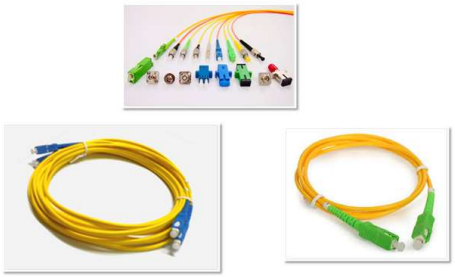
- การปอกสาย OFC โดยการใช้เครื่องมือที่ถูกวิธี

เครื่องมือและอุปกรณ์

- สาย Optical Fiber ชนิด Fig. 8 หรือ ADSS ขนาดต่างๆ เช่น 12 CORE, 36 CORE หรือ 48 CORE ความยาวเส้นละ 2–3 เมตร
- ตลับเมตร
- คีมตัดสาย OFC
- Cutter ปากแข็ง
- เทปพันสายไฟ
- กระดาษเช็ดทำความสะอาดสาย OFC
- อุปกรณ์ความปลอดภัยส่วนบุคคล (ถุงมือ , เสื้อ , รองเท้า , แว่นตา , หมวก)

5. สาย OFC 24 Core Fig.8

6. สาย Patch Cord ต่าง ๆ + สาย Pigtail



7. ไขควงชุด

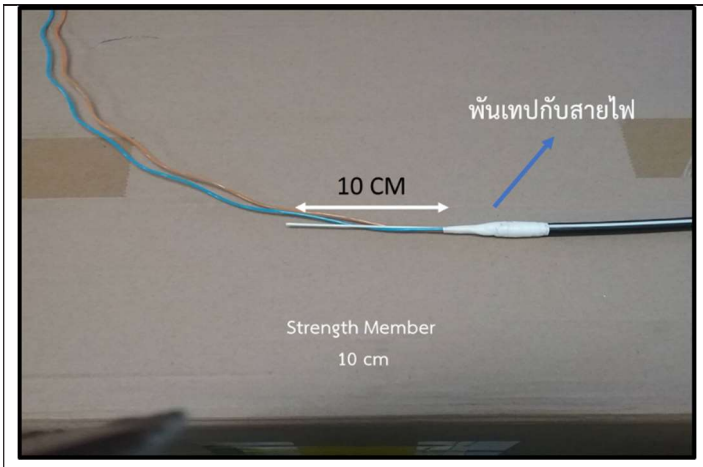
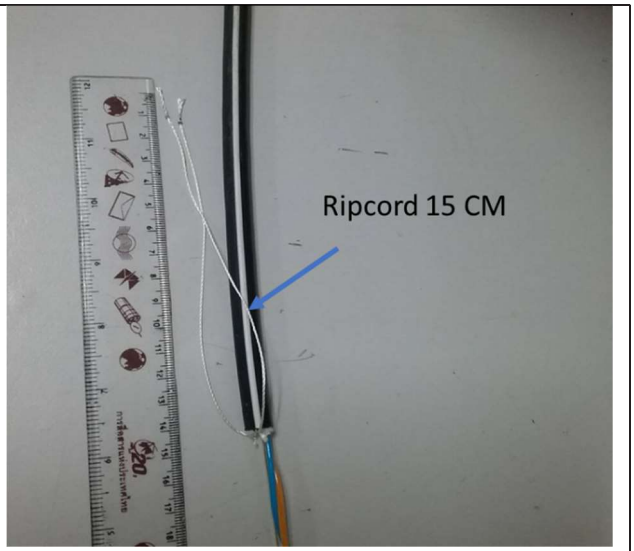
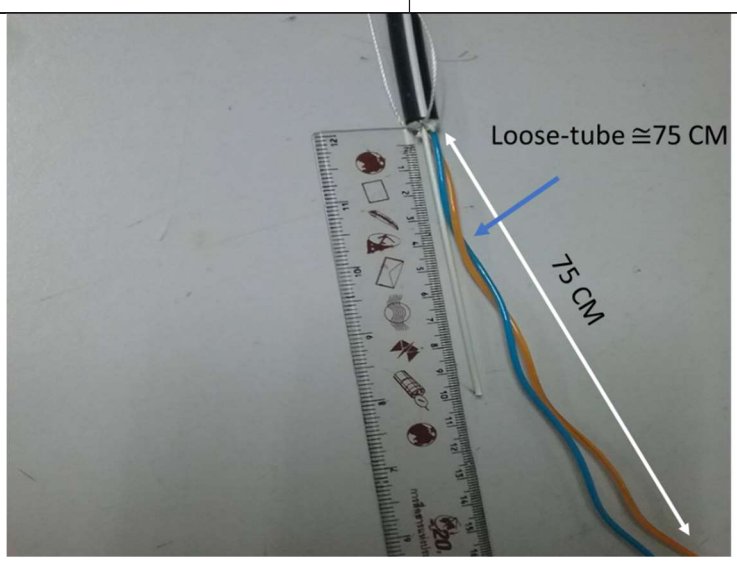
8. แว่นตานิรภัย

9. กล่องเครื่องมือ (แอลกอฮอล์ 99.9% , Electrical Tape , Cable Ties)

10. ตลับเมตร , กระดาษเช็ด KIMTECH

<u>ขั้นตอนการปฏิบัติงาน</u>

1. ตัดสาย OFC ด้วยเครื่องมือที่ความยาวประมาณ 1.5 เมตร
2. ปอก Jacket OFC ที่ความยาว 75 ซม. ด้วยเครื่องมือปอกสายหรือ Cutter ใบแข็ง ให้เหลือ Loose Tube + Ripcord Strength Member ตามที่กำหนด
3. ทำความสะอาด Tube และพันสายด้วยเทปพันสายให้เรียบร้อย

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Ripcord เผื่อไว้ 15 ซม. ส่วน strength member เผื่อไว้ 10 ซม.</td><td>ส่วน Tube ตามมาตรฐานปอกเผื่อไว้ 75 ซม.</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">Loose-tube ยาว 75 ซม.</td></tr>
</table>

ใบงานที่ 2

การเตรียม Closure เพื่อ FORM สาย OFC รอการตัดต่อ

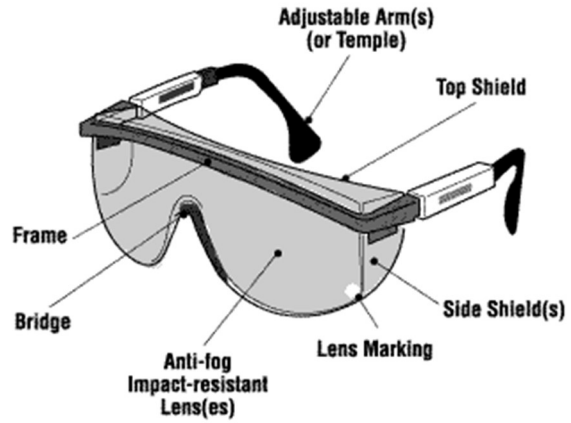
เครื่องมือและอุปกรณ์

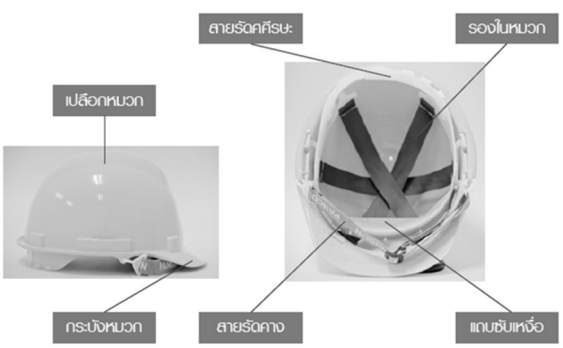
- สาย OFC ชนิด Fig. 8 หรือ ADSS (12F, 24F, 48F)
- Closure ตามขนาดของสาย OFC (12F, 24F, 48F)
- เครื่องมือ Tool Kit
- อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (ถุงมือ แว่นตา รองเท้า เสื้อ หมวก)
- Fusion Splice (Sleeve)
- แอลกอฮอล์สำหรับทำความสะอาด
- ทิชชู่สำหรับเช็ดทำความสะอาด

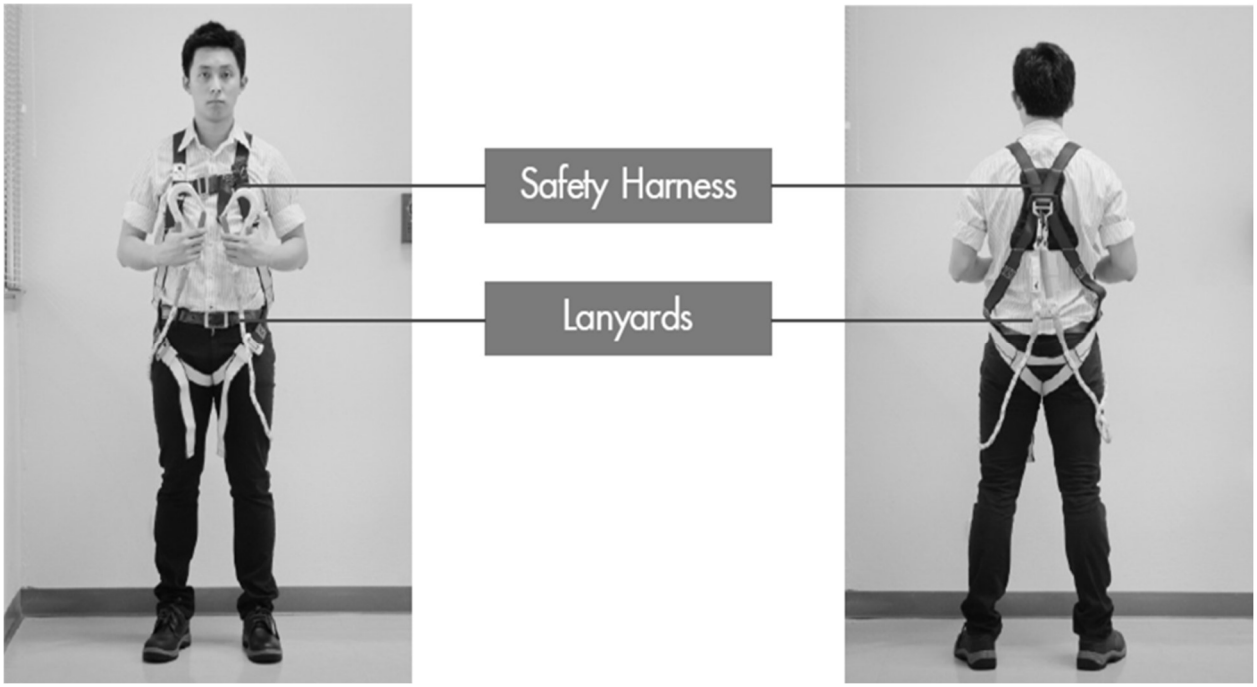
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1. การติดตั้งเคเบิ้ลเข้ากับหัวต่อ พร้อมยึด Strength Member ให้เรียบร้อย
2. ติดตั้ง Loose Tube เข้ากับ Splice Tray พร้อมจัดเก็บเส้นใยแก้ว
3. การเชื่อมต่อเส้นใยแก้ว พร้อมป้องกันจุดต่อด้วย Protective Sleeve จำนวนและ Core เป็นไปตามที่กำหนด

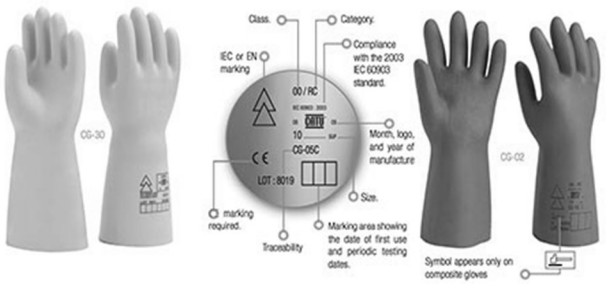
- จัดเก็บเส้นใยแก้วพร้อมทั้ง Protective Sleeve ลงใน Splice Tray
- รายงานผลการเชื่อมต่อจากภาพผลการเชื่อมต่อ



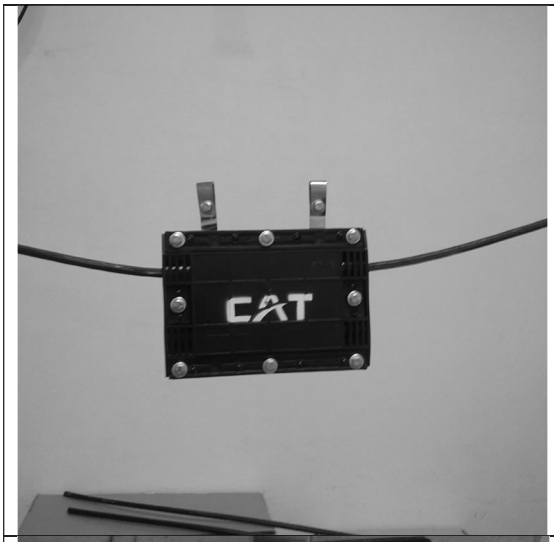


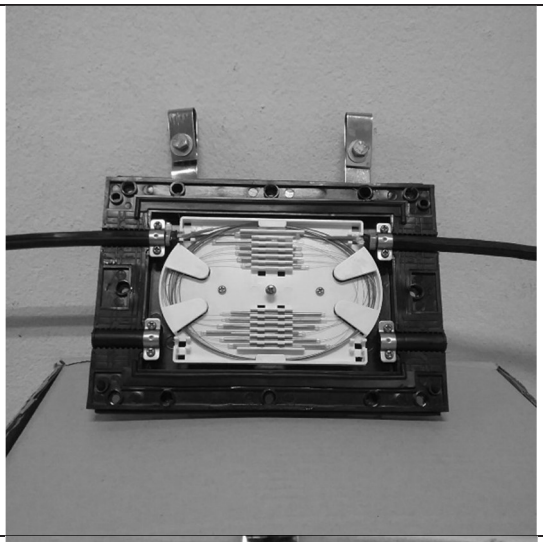

Safety Harness
Lanyards

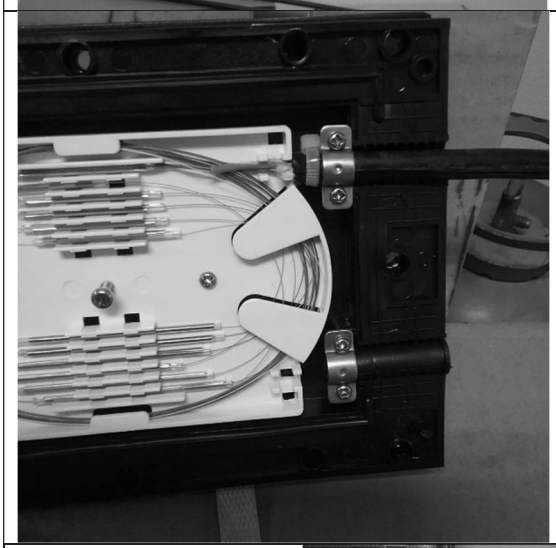
บัวหัวหรือหัวเหล็ก
แผ่นป้องกันการทะลุ

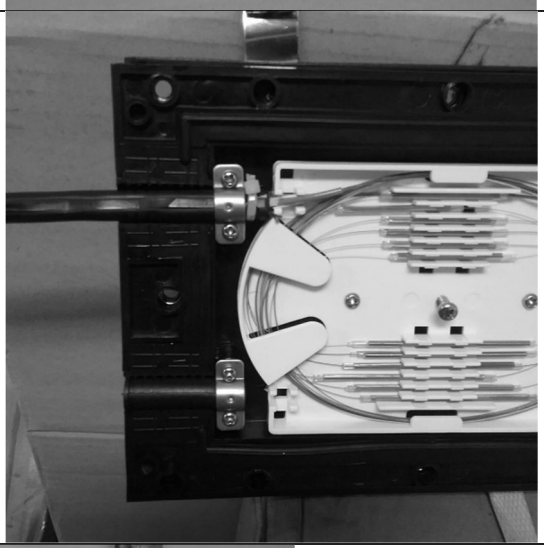

Class.
Category.
IEC or EN marking
Compliance with the 2003 IEC 60903 standard.
00 / RC
10
CG-05C
LOT : 8019
Month, logo, and year of manufacture
Size.
marking required.
Traceability
Marking area showing the date of first use and periodic testing dates.
Symbol appears only on composite gloves

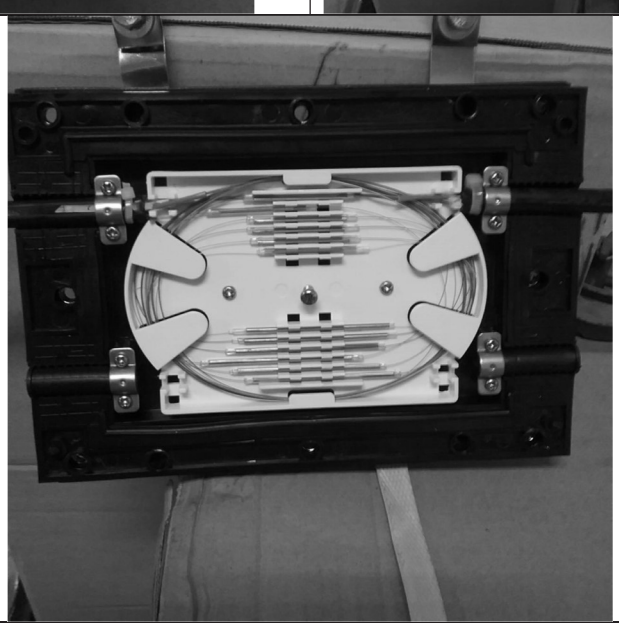
ถุงมือป้องกัน


CAT









ใบงานที่ 3

การเข้าสาย Drop wire Fiber เข้ากับหัว Fast Connector

เครื่องมือและอุปกรณ์

- สาย OFC ขนาด 1 C หรือ 2 C ความยาวประมาณ 3 เมตร
- หัว Fast Connector 2 หัว
- เครื่องมือ Tool Kit 1 ชุด
- VFL 1 ชุด
- Power Meter 1 ตัว
- Light Source 1 ตัว

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1. ปอกสาย OFC ยาวตามที่กำหนดในรูป
2. ตัด Core Fiber ที่ปอก ทำความสะอาดแล้วขนาดและความยาวตามที่กำหนด
3. ติดตั้งสาย OFC เข้ากับ Fast Connector ทั้งหัวท้าย 2 ด้าน
4. ทดสอบโดยใช้ VFL
5. ทดสอบโดยใช้ Light Source และ Power Meter
6. บันทึกผลที่ได้

Fast Connector	Fast Connector

Testing with a Light Source and Power Meter

1) Set a reference with a reference grade launch cord using the 1-cord method (see Figure 1).

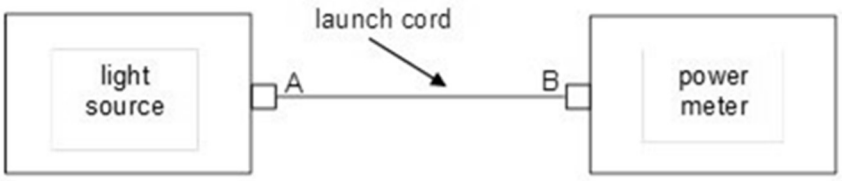


Figure 1. Set a reference

2) Verify low loss at the connector pair B-C between the launch cord and receive cord (see Figure 2).

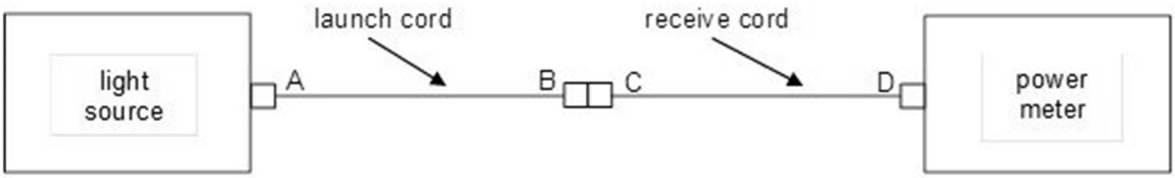


Figure 2. Verify test cords for low loss

3) Test in one direction. Do not disconnect the launch cord from the light source. Attach the launch cord to one end of the cabling and the receive cord and power meter to the other end of the cabling (see Figure 3).

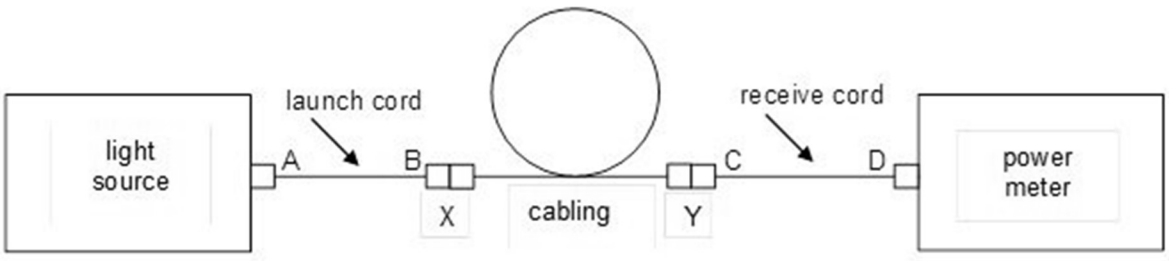


Figure 3. Test permanent link in the X-Y direction

4) Then, without disconnecting the launch cord from the light source, move to connection Y. Move the receive cord and power meter to connection X (see Figure 4).

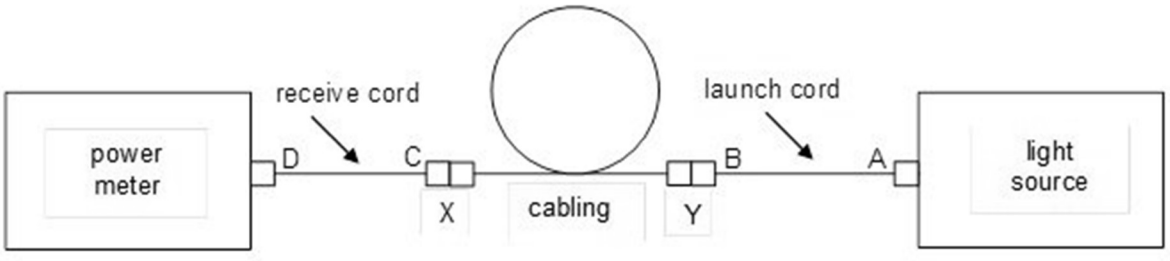


Figure 4. Test permanent link in the Y-X direction

Note: Use the worst of the two measurements as the final test result. If the difference in the two measurements is greater than 0.2 dB, the reference could be wrong, something may be wrong with the test cord, or there may be a bend in the fiber.

อุปกรณ์ทดสอบไฟเบอร์ออปติคแบบ Single Visual Fault Locator VFL เพื่อตรวจสอบเส้นใย

ใบงานที่ 4

การใช้เครื่องมือวัดและทดสอบเบื้องต้น

4.1 การใช้เครื่องมือ Visual Fault Locator ตรวจสอบจุดเสียของเส้นใยแก้วในระยะใกล้ๆ

4.2 การใช้เครื่อง Fiber Identifier ค้นหา ตรวจสอบ และทิศทางของสัญญาณแสงในเส้นใยแก้วนำแสง

4.3 การตรวจสอบและวิเคราะห์ค่า Optical Attenuation Loss (OAL)

4.4 ทดสอบ Patch cord ของเครื่อง Optical Light Source และ Power Meter จำนวน 3 ครั้ง

4.5 เมื่อทดสอบ Patch cord ตามหัวข้อที่ 4.4 แล้ว ผลการทดสอบไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ให้ทำการทดสอบตามข้อที่ 4.4 อีกครั้ง หากผลการทดสอบยังคงไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ให้ผู้ประเมินผลการทดสอบเปลี่ยน Patch Cord เส้นใหม่

4.6 ใช้ชุดเครื่อง Optical Loss Test Set (OLTS) ซึ่งประกอบด้วย Optical Light Source จำนวน 1 เครื่อง และเครื่อง Optical Power Meter จำนวน 1 เครื่อง ทำการตรวจสอบค่า OAL ของเส้นใยแก้วในลักษณะทิศทางเดียว ที่ความยาวคลื่น 1310 nm จำนวนทั้งสิ้น 2 คอร์

4.7 บันทึกสรุปและวิเคราะห์การตรวจสอบค่า OAL ของเส้นใยแก้วทั้ง 2 Core

4.8 การใช้เครื่อง OTDR : Optical Time Domain Reflectometer

4.8.1 ทดสอบปรับค่าต่างๆของเครื่อง OTDR อาทิเช่น ความยาวคลื่น (Wave Length), เวลาในการวัด (Averaging Time /Acquisition time), ค่าดัชนีการหักเหของแสง (Reflective Index) เป็นต้น

4.8.2 ทำการวัดเพียงด้านเดียว พร้อมบันทึกผลลงในเครื่องหรือ Hash Device ที่จัดเตรียมให้ โดยตั้งชื่อ File เป็น OSP-OFX xx (xx เป็นหมายเลข Core ที่ตรวจสอบ)

4.8.3 ตรวจสอบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากเครื่อง OTDR ด้วย Emulation Software

4.8.4 วัดความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่กำหนดให้

4.8.5 วัดและวิเคราะห์ค่า Bi-Directional Splice Loss, Connection Loss, Fiber Loss และ Reflectometer (Event Return Loss) ของ Connector เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

❑ Optical Fiber Identifier

Optical Fiber Identifier หรือเรียกสั้นๆ ว่า Fiber Iden คือเครื่องมือสำหรับตรวจวัดค่าแสง พร้อมบอกทิศทางการวิ่งของแสง มีความแม่นยำสูงในการตรวจสอบ รองรับขนาดสายไฟเบอร์ออฟติกตั้งแต่ 0.25 mm, 0.9 mm, 2.0 mm, 3.0 mm เป็นเครื่องมือที่ง่ายสำหรับการใช้งานด้านตรวจสอบสายสัญญาณแสง เนื่องจากไม่ต้องทำการเข้าหัวสายในการทดสอบ เพียงแค่เอาอุปกรณ์คร่อมสายเท่านั้น รองรับการใช้งานร่วมกับสายไฟเบอร์ออปติก Single-mode และ Multi-mode

❑ ไฟเบอร์ออปติก Visual Fault Locator

การทดสอบอุปกรณ์ไฟเบอร์ออปติก Visual Fault Locator VFL เพื่อค้นหา Fault

ข้อมูลทั่วไป

VFL แบบปากกานี้ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษสำหรับบุคลากรภาคสนามที่ต้องการเครื่องมือไฟส่องแบบพกพา สำหรับการตรวจสอบเส้นใย การกำหนดเส้นทางของเส้นใย การทดสอบความต่อเนื่องเพื่อค้นหาจุดพัก (การดัดหรือการแตกร้าวในสายเคเบิลไฟเบอร์ออปติก) และการเชื่อมต่อที่ไม่ดี

เครื่องตรวจจับความผิดพลาดของภาพใช้โมดูลเลเซอร์ 650 นาโนเมตรเป็น emitter ซึ่งเหมาะสำหรับการตรวจสอบเส้นใยเดี่ยวหรือแบบมัลติไฟเบอร์ สามารถเลือกโหมดเอาต์พุตได้ระหว่างความถี่ CW และความถี่ 2 Hz ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในการสื่อสารด้วยแสง การวัดส่วนประกอบของออปติคัล เซ็นเซอร์ optical fiber และสาขาอื่น ๆ

FOC COMMUNICATION CO., LTD ได้สร้าง Visual Fault Locator ขึ้นมาใหม่ Visual Fault Locator ประกอบด้วยซองหนังที่ดูดซับพลังงานเหนือกล่องทนแรงกระแทก เพื่อให้สามารถทนต่อผลกระทบและการรักษาที่หยาบกร้านได้อย่างมั่นใจ Visual Fault Locator คือ VFL สำหรับการใช้งานภาคสนามที่ต้องการ ซึ่งแตกต่างจาก VFL ที่เปราะบางมากขึ้นที่ใช้ตัวโคมไฟหรือกล่องพลาสติกธรรมดา FOC COMMUNICATION CO., LTD ได้ออกแบบตัวเครื่อง Visual Fault ให้ทนทานต่อกลไก กรณีนี้มีขนาดกะทัดรัดสำหรับการใช้งานภาคสนามและได้รับการออกแบบตามหลักสรีรศาสตร์เพื่อความสะดวกสบาย

<u>การประยุกต์ใช้งาน</u>

1. การสื่อสารและการบำรุงรักษาใยแก้วนำแสง
2. ระบบรักษาความปลอดภัยการติดตั้งและบำรุงรักษาเครื่องส่งสัญญาณไฟเบอร์ออปติก
3. ระบบไฟเบอร์ออปติก CATV และการบำรุงรักษา
4. การวิจัยเกี่ยวกับสายตาใยแก้วนำแสง
5. ผลิตและวิจัยอุปกรณ์ออปติคัล

<u>คุณสมบัติ</u>

1. เครื่องตรวจจับตำแหน่งและตัวตรวจจับเส้นทาง VFL ขนาดปากกา
2. การใช้งานแบบ Single mode, Multimode และ Plastic Fiber
3. อุปกรณ์ระดับชั้นที่ 1 ปลอดภัยตา ไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนด้านความปลอดภัย
4. ตัวตรวจจับความผิดพลาดแบบ fiber optic ที่ทนทานและเรียบง่าย
5. ตัวเลือกการเชื่อมต่อ universal ขนาด 2.5 และ 1.25 มม.
6. ตัวเลือกเลเซอร์แบบพัลซ์หรือแบบต่อเนื่อง
7. มีประโยชน์ร่วมกับ OTDR เพื่อช่วยในการระบุความผิดพลาด

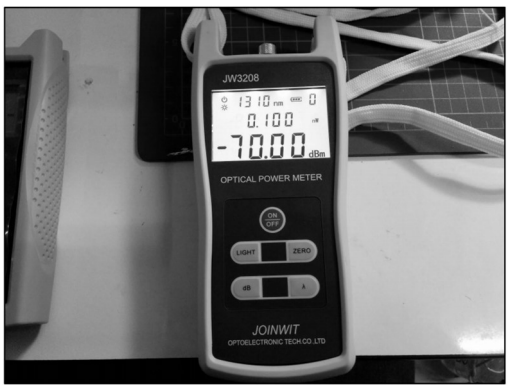
❑ ขั้นตอนการใช้งาน Optical Power Meter

เครื่อง Optical Power Meter เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับวัดค่าแสงในระบบสาย Fiber Optic โดยต้นทางจะมีการต่อ Light Source คือเครื่องกำเนิดแสง ซึ่งในระบบสาย Fiber Optic จะส่งค่าแสงที่ 850/1310 /1550 nm ซึ่งเป็นค่าแสงที่ดวงตาเรามองไม่เห็น จากนั้นปลายทางของสายจะต่อเครื่อง Optical Power Meter เพื่อวัดค่าแสงที่ส่งมาตามสาย ถ้าแสงเดินทางมาในสายสูญเสียแสงเยอะ ปลายทางจะวัดค่าแสงหรือ dB ออกมาได้น้อย จะทำให้เกิด Loss เยอะ ทำให้ประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณลดลง โดยในขั้นตอนที่นำเสนอนี้ จะใช้เครื่อง Optical Power Meter รุ่น JW3208 โดยเครื่องรุ่นอื่นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ เนื่องจากแต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อ หลักการใช้งานจะคล้ายๆกัน

ขั้นตอนการใช้เครื่อง Optical Power Meter มีดังนี้

หมายเหตุ : ควรทำความสะอาดหน้าสัมผัสของ Connector ทุกจุด เพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความเที่ยงตรง

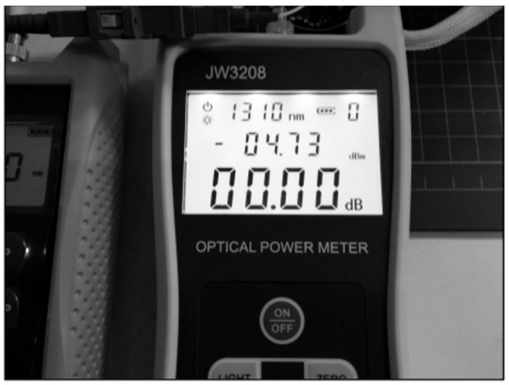
1. เปิดเครื่อง Optical Power Meter เตรียมสายที่ต้องการวัด หน้าจอจะแสดงค่า ความยาวคลื่นแสง ค่ากำลังแสง mW และค่า dBm



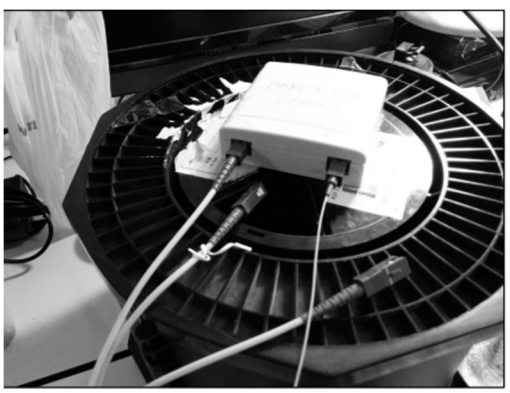
2. เลือกความยาวคลื่นแสงให้ตรงกับเครื่องกำเนิดแสง ในนี้เลือกไว้ที่ย่าน 1310 nm

3. เสียบสายเข้ากับเครื่อง Light Source โดยใช้สาย Patch Cord สองเส้นต่อกันโดยมีจุดเชื่อมต่อของ Connector เพื่อใช้ในการ Set ค่า Reference โดยต่อดังภาพ

4. กดปุ่ม dB หรือปุ่ม Ref (แล้วแต่ยี่ห้อ) เพื่อทำการ Set Reference ของสาย Patch Cord เครื่องจะแสดงค่าเป็น 00.00 dB



5. ทำการปลดสาย Patch Cord ที่ต่อเข้ากับจุดเชื่อม Connector นำไปต่อเข้ากับจุดต่อสายทั้งหัวและท้ายที่เราต้องการวัด ด้านหัวเป็น Light Source และท้ายเป็น Power meter



6. เครื่องจะแสดงค่า Loss ในสายที่เราวัด โดยจะไม่รวมกับสาย Patch Cord ที่เราต่อเชื่อม ซึ่งเมื่อเสียบสายควรรอ 30 วินาที ให้ค่าตัวเลขที่แสดงนิ่ง และนำค่าตัวเลขที่ได้ไปคำนวณค่า Loss Budget อีกครั้งหนึ่ง

ตัวอย่างการคำนวณค่า Loss Budget

ในการสาธิตครั้งนี้ใช้สาย Single Mode ซึ่งมีค่า Loss 0.33 dB/km ยาว 6 กิโลเมตร มี Fusion Splice 2 จุด เชื่อมต่อ Connector 2 จุด

ค่า Loss ในสาย : 0.33 x 6 = 1.98 dB

Splice 2 จุด : 0.2 x 2 = 0.4 dB

เชื่อมต่อ Connector : 1.98 + 0.4 + 1.5 = 3.88 dB

ค่า Loss ที่เราวัดได้ 2.18 dB

นำ Loss Budget – ค่าที่เราวัดได้ (3.88 – 2.18 = 1.7 dB)

1.7 dB คือค่า margin

หากค่าที่วัดได้เกินค่า Budget ควรตรวจสอบ Connector และการเดินสายสัญญาณ

❑ OTDR TESTING

ผลการปฏิบัติงานตามโครงงาน

หลังจากได้ปฏิบัติงานซ่อมบำรุงโครงข่ายระบบ Fiber Optic การใช้เครื่อง OTDR วัดระยะสายขาดหรือหักงอเพื่อการซ่อมบำรุง ผลการปฏิบัติงานมีดังต่อไปนี้

4.1 เครื่อง OTDR VeEx รุ่น FX300 ที่ใช้ทดสอบระยะสายขาดหรือหักงอ

รูปที่ 4.1 เครื่อง OTDR VeEx รุ่น FX300

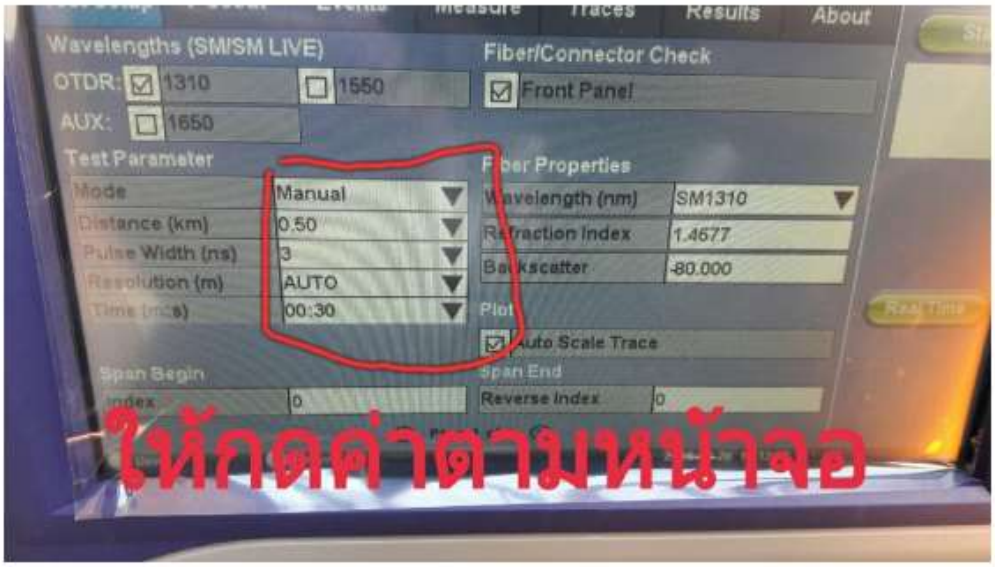
การเริ่มใช้งาน

รูปที่ 4.2 เสียบหัว Connector เข้าเครื่อง OTDR

เสียบหัว Connector ที่ต่อกับสาย Fiber Optic ที่จะทำการวัดระยะเพื่อหาจุดเสียของสายเข้าที่ Port OTDR ที่ตัวเครื่อง

รูปที่ 4.3 เมนูเครื่อง OTDR

เปิดเครื่อง OTDR รอเครื่องรันข้อมูล จนมายังเมนูหลักแล้วเลือกเมนู OTDR



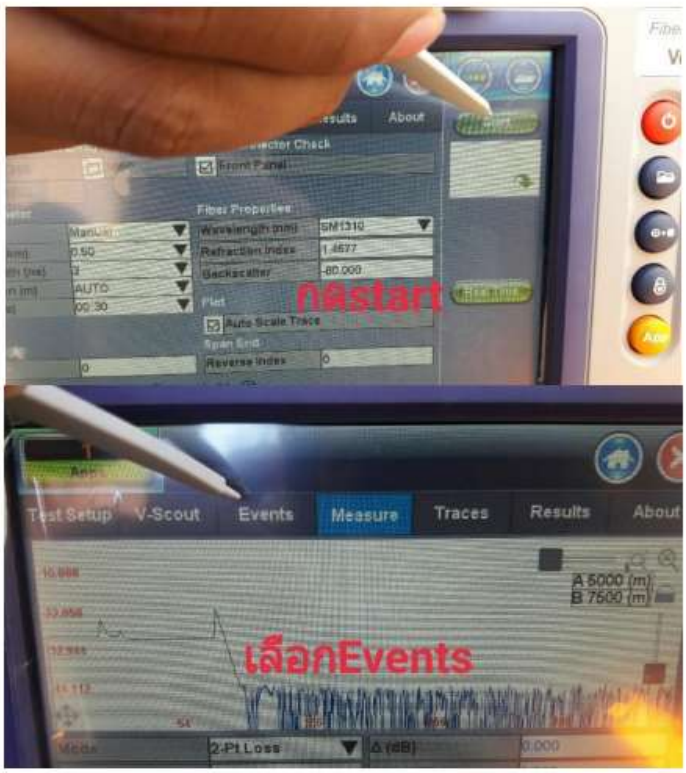
รูปที่ 4.4 การเลือกหัวข้อและการใช้งาน

หลังจากเมนู OTDR แล้วจะมาหน้าเมนูในรูปที่ 4.3 ให้ตั้งค่าตามรูปที่ 4.4 เลือก Click ที่ 1310 และ Front panel

Mode	Manual
Distance (km)	0.50 ขึ้นอยู่กับระยะสายที่จะวัด
Pulse Width (ns)	3
Resolution (m)	Auto โดยปกติจะเลือก Auto
Time (m : s)	00:30 แล้วแต่ผู้ใช้จะตั้ง
Plot	Auto Scale Trace ให้ Click ถูก

หมายเหตุ : หัวข้ออื่นนอกเหนือนี้ให้คงค่าเดิมเป็นค่ามาตรฐาน

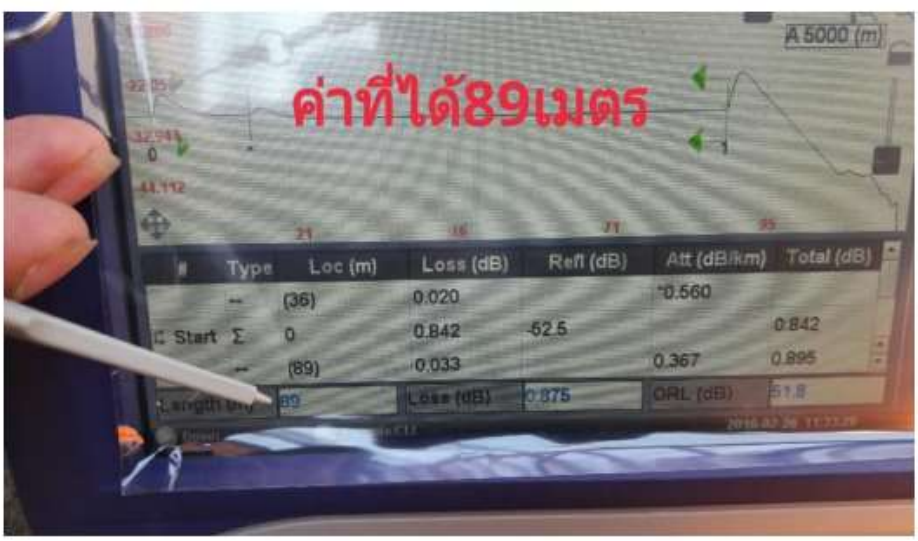
Wavelength (nm)	SM1310
Refraction Index	1.4677
Backscatter	-80.000



รูปที่ 4.5 การกดเริ่มต้นการวัด

กดที่คำว่า Start แล้วก็กดเลือกที่ Events แล้วรอเครื่องประมวลผล ประมาณ 30 วินาที หน้าจอจะแสดงการสแกนหา โดยเป็นรูปคลื่นที่รอประมาณ 30 วินาที ค่าที่ตั้งไว้ตอนแรก โหมดการทดสอบแบบ Real Time ที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน ในการวัดหาสาย Fiber Optic หลายๆเส้นในเวลาอย่างรวดเร็ว เช่น ระยะทาง สายขาด ปลายสาย และสายแตกหัก ตั้งไว้ 30 วินาทีกำลังดี ไม่ช้าไม่เร็วเกินไป

การแสดงผลค่าที่วัดได้ที่ระยะทางต่างๆกัน



รูปที่ 4.6 การแสดงผลค่าที่วัดได้

ค่าที่วัดได้ที่เครื่องแสดงผลคือ 89 เมตร แสดงว่าสาย Fiber Optic มีปัญหาที่ 89 เมตรนับจากปลายสายฝั่งที่ยิงสัญญาณจากเครื่อง OTDR ในครั้งนี้ ทีมช่างได้ยิงสัญญาณจาก Splitter L2 ไปยัง ONT ที่บ้านผู้ใช้บริการ สายจาก Splitter L2 ไปยัง ONT ระยะสายที่ 150 เมตร ดูจาก Name Plate ที่ติดไว้ที่สาย จากนั้นเราก็ไปที่สายในช่วงประมาณ 89 เมตร

รูปที่ 4.7 การแสดงผลค่าที่วัดได้

ค่าที่วัดได้ที่เครื่องแสดงผลคือ 36 เมตร แสดงว่าสาย Fiber Optic มีปัญหาที่ 36 เมตรนับจากปลายสายฝั่งที่ยิงสัญญาณจากเครื่องไปยัง ONT ที่บ้าน OTDR จาก Splitter L2

รูปที่ 4.8 การแสดงผลค่าที่วัดได้

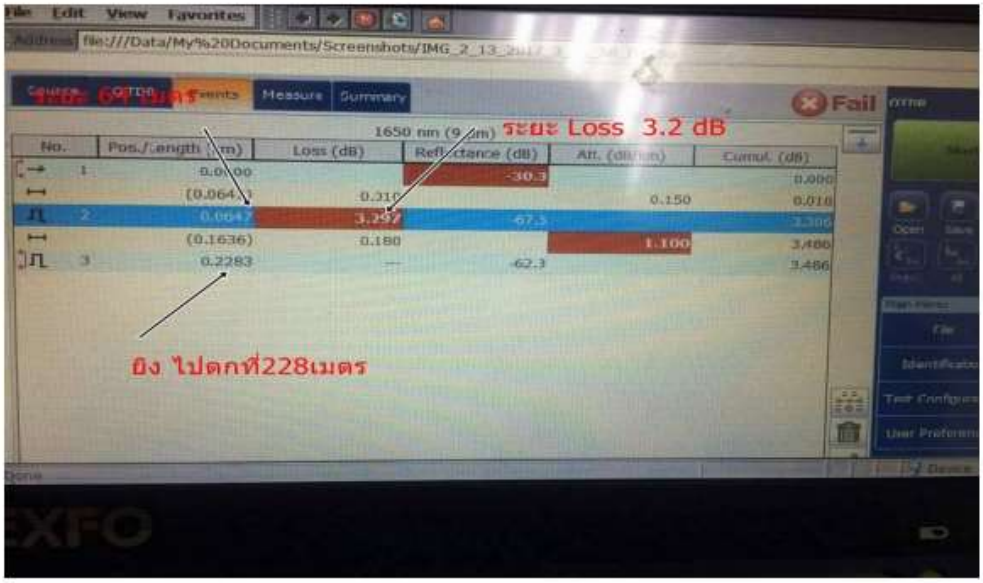
ค่าที่วัดได้ที่เครื่องแสดงผลคือ 4,567 เมตรหรือ 4.567 กิโลเมตร แสดงว่าสาย Fiber Optic มีปัญหาที่ 4.567 กิโลเมตร นับจากปลายสายฝั่งที่ยิงสัญญาณจากเครื่อง OTDR จาก Splitter L2 ไปยัง Splitter L1

รูปที่ 4.9 การแสดงผลค่าที่วัดได้

ค่าที่วัดได้ที่เครื่องแสดงผลคือ 3,186 เมตร หรือ 3.186 กิโลเมตร แสดงว่าสาย Fiber Optic มีปัญหาที่ 3.186 กิโลเมตร นับจากปลายสายฝั่งที่ยิงสัญญาณจากเครื่อง OTDR จาก Splitter L2 ไปยัง Splitter L1

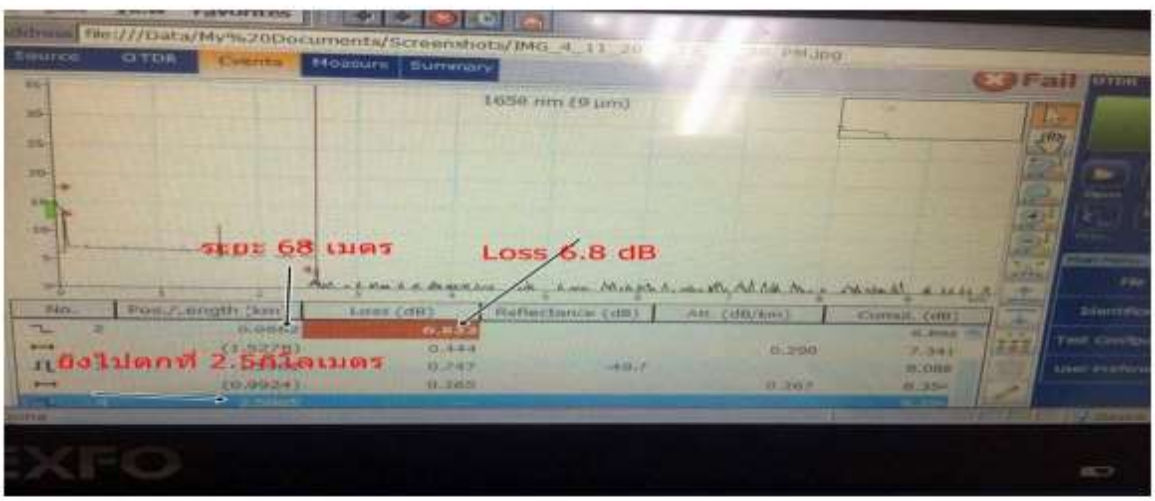
หมายเหตุ ในกรณีที่ยิงสัญญาณจาก Splitter L2 ไปยัง Splitter L1 ในเมื่อทราบค่าแล้วให้ทำเรื่องให้อีกหน่วยงานที่ดูแลส่วนนี้โดยตรงมารับหน้าที่ซ่อมบำรุงต่อจากหน่วยงานที่ผู้จัดทำสหกิจตรวจวัดแล้ว โดยผู้จัดทำสหกิจจะรับผิดชอบในส่วนของระยะทางจาก Splitter L2 ถึงตัว ONT ที่บ้านผู้ขอใช้บริการเท่านั้น

4.2 เครื่อง OTDR ยี่ห้อ EXFO รุ่น Max Tester 730B ที่ใช้ทดสอบระยะสายขาด การแสดงผลค่าที่วัดได้ที่ระยะทางต่างๆ กัน



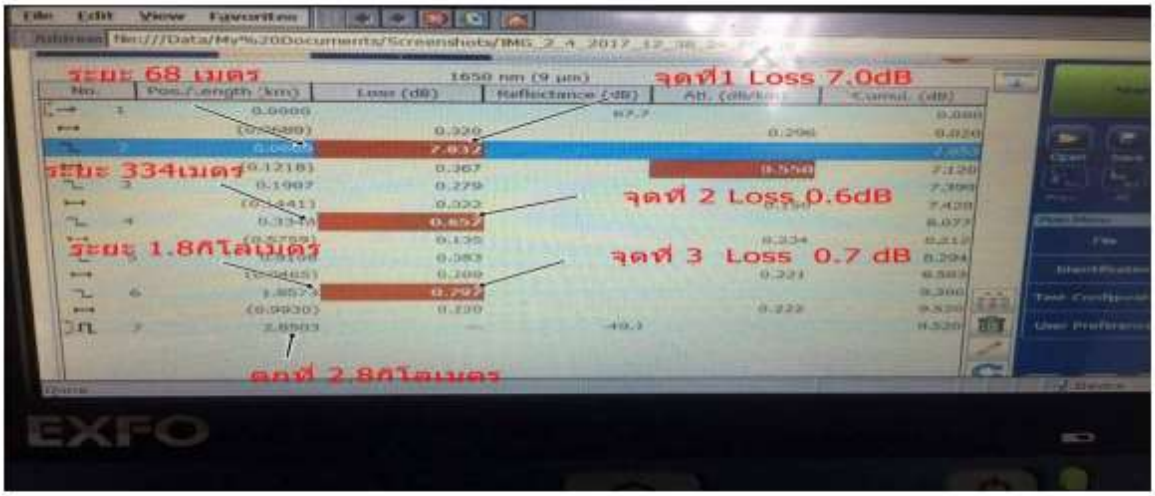
รูปที่ 4.10 การแสดงผลค่าที่วัดได้

ค่าที่วัดได้คือ 228 เมตร จากระยะของสาย Fiber Optic ที่ 230 เมตร จากการยิงสัญญาณจากบ้านผู้ใช้บริการ ไปยัง Splitter L2 และค่า Loss อยู่ที่ 3.2 dB ระยะ 64 เมตร จากผลที่ได้จากการยิงสัญญาณของเครื่อง OTDR ครั้งนี้ เป็นที่หัว Connector ทางฝั่งของ Splitter L2



รูปที่ 4.11การแสดงผลค่าที่วัดได้

จากการใช้เครื่อง OTDR พบว่าระยะ Loss ของสาย Fiber Optic อยู่ที่ 6.8 dB ระยะ 68 เมตร ยิงสัญญาณจาก Splitter L2 ไปยังบ้านผู้ใช้บริการ พบว่า ระยะที่ยิงได้จากเครื่อง OTDR 2.5 กิโลเมตร คือ สาย Fiber Optic ขาดอยู่ที่ระยะ 2.5 กิโลเมตร



รูปที่ 4.12 การแสดงผลค่าที่วัดได้

จากการยิงสัญญาณจากเครื่อง OTDR คิดค่าพบว่ามีจุด Loss ทั้งหมด 3 จุด

จุดที่ 1 คือยิงแล้ว Loss ที่ 7.0 dB ระยะ 68 เมตร

จุดที่ 2 คือยิงแล้ว Loss ที่ 0.6 dB ระยะ 334 เมตร

จุดที่ 1 คือยิงแล้ว Loss ที่ 0.7 dB ระยะ 1.8 กิโลเมตร

ระยะที่ยิงได้จากเครื่อง OTDR 2.8 กิโลเมตร

ตารางที่ 4.1 การทดลองของเครื่อง OTDR ที่ระยะจริง 5 กิโลเมตร

ครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (กิโลเมตร)	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด
1	4.95	1 %
2	4.90	2 %
3	4.95	1 %
4	4.99	0.2 %
5	4.98	0.4 %

ตารางที่ 4.2 การทดลองของเครื่อง OTDR ที่ระยะจริง 10 กิโลเมตร

ครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (กิโลเมตร)	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด
1	9.95	0.5 %
2	9.98	0.2 %
3	9.88	1.2 %
4	9.99	0.1 %
5	9.95	0.5 %

ตารางที่ 4.3 การทดลองของเครื่อง OTDR ที่ระยะจริง 15 กิโลเมตร

ครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (กิโลเมตร)	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด
1	14.90	0.67 %
2	14.98	0.13 %
3	14.99	0.07 %
4	14.95	0.33 %
5	14.95	0.33 %

ตารางที่ 4.4 การทดลองของเครื่อง OTDR ที่ระยะจริง 20 กิโลเมตร

ครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (กิโลเมตร)	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด
1	19.95	0.25 %
2	19.89	0.55 %
3	19.99	0.05 %
4	19.99	0.05 %
5	19.98	0.1 %

ตารางที่ 4.5 การทดลองของเครื่อง OTDR ที่ระยะจริง 25 กิโลเมตร

ครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (กิโลเมตร)	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด
1	24.95	0.2 %
2	24.95	0.2 %
3	24.95	0.2 %
4	24.96	0.16 %
5	24.96	0.16 %

ตารางที่ 4.6 การทดลองของเครื่อง OTDR ที่ระยะจริง 30 กิโลเมตร

ครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (กิโลเมตร)	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด
1	29.95	0.17 %
2	29.90	0.33 %
3	29.90	0.33 %
4	29.95	0.17 %
5	29.99	0.03 %

ตารางที่ 4.7 การทดลองของเครื่อง OTDR ที่ระยะจริง 35 กิโลเมตร

ครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (กิโลเมตร)	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด
1	34.95	0.14 %
2	34.99	0.03 %
3	34.90	0.29 %
4	34.99	0.03 %
5	34.95	0.14 %

ตารางที่ 4.8 การทดลองของเครื่อง OTDR ที่ระยะจริง 40 กิโลเมตร

ครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (กิโลเมตร)	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด
1	39.99	0.03 %
2	39.98	0.05 %
3	39.95	0.13 %
4	39.99	0.03 %
5	39.99	0.03 %

ตารางที่ 4.9 การทดลองของเครื่อง OTDR ที่ระยะจริง 45 กิโลเมตร

ครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (กิโลเมตร)	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด
1	44.95	0.11 %
2	44.99	0.02 %
3	44.80	0.44 %
4	44.85	0.33 %
5	44.88	0.27 %

ตารางที่ 4.10 การทดลองของเครื่อง OTDR ที่ระยะจริง 50 กิโลเมตร

ครั้งที่	ค่าที่วัดได้ (กิโลเมตร)	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด
1	49.94	0.12 %
2	49.95	0.10 %
3	49.99	0.02 %
4	49.95	0.10 %
5	49.89	0.22 %

หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด = [(ค่าจริง-ค่าที่วัดได้)/ค่าจริง] x 100 %

4.3 เครื่อง FER-20 Fiber Ranger

รูปที่ 4.13 การแสดงผลค่าที่วัดได้

เครื่อง FFR-20 Fiber Ranger ให้เสียบหัว Connector กับเครื่องก่อน แล้วค่อยเปิดเครื่อง แล้วกดปุ่ม Scan ค่าที่วัดได้จะแสดงเป็นตัวเลขคือ 25 m สายขาดที่ 25 เมตร เครื่อง FFR-20 Fiber Ranger ควรยิงจาก Splitter L2 ไปยัง ONT จะดีที่สุด ถ้ายิงจาก ONT ไปที่ Splitter L2 เกิดสาย Fiber Optic ไม่ได้ขาด แค่มีการบิดหรืองอ จะทำให้สัญญาณย้อนกลับมาที่เครื่อง ทำให้เครื่องเสียหายได้

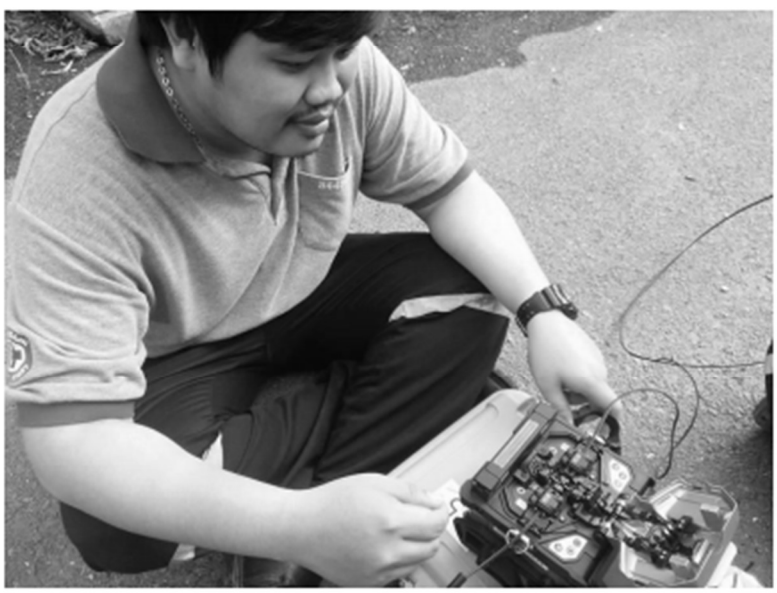
4.4 การต่อสาย Fiber Optic หรือการ Splice Fiber Optic

หลังจากที่เรารู้ว่าสาย Fiber Optic ขาดที่ระยะไหน แล้วให้ทำการตัดต่อสายเพื่อให้ผู้ใช้บริการได้ใช้งาน

รูปที่ 4.14 เครื่อง Fusion Splicer View

รูปที่ 4.15 การปลอกสาย Fiber Optic ให้เห็นแต่เส้นใยแก้ว

รูปที่ 4.15 เป็นการปลอกสาย Fiber Optic เพื่อที่ทำการ Splicer ต่อสาย ลำดับแรกคือต้องปลอกสาย Fiber Optic ให้เห็นแต่เส้นใยแก้ว แล้วนำกระดาษทิชชูใส่น้ำยาแอลกอฮอล์เช็ดเพื่อทำความสะอาดของสายใยแก้ว ทำการตัดโดยเครื่องมือเฉพาะทาง



รูปที่ 4.16 การต่อสาย Fiber Optic

วางสาย Fiber Optic ลงในซอตเกตของเครื่องทั้ง 2 ข้างแล้วล็อกให้เข้าที่ ปิดฝาครอบเครื่อง เปิดเครื่องทำการ Splice รอเครื่องทำงานเสร็จสาย Fiber Optic จะถูกเชื่อมต่อกัน

รูปที่ 4.17 ทำการหลอมละลายเพื่อหุ้มด้วยท่อหด

รูปที่ 4.17 คือหลังจากทำการ Splice สาย Fiber Optic เสร็จแล้ว ก็นำสลีฟมาครอบใส่ที่จุด Splicer แล้วนำสายไปอบความร้อน เพื่อให้ประคองจุดต่อให้แข็งแรง เมื่อทำการอบเสร็จแล้วให้ใช้ไฟแก๊สเป่าด้วยท่อหด เพื่อป้องกันน้ำเข้าและการกระทบของสาย Fiber Optic จุด Splicer เสร็จทำการเก็บสายให้เรียบร้อย

4.5 การวัดสัญญาณที่เครื่อง PON Power Meter PPM 50

รูปที่ 4.18 เครื่อง PON Power Meter PPM 50

หลังจากการ Splicer เชื่อมต่อสายเสร็จแล้ว ทำการวัดสัญญาณที่ปลายสายที่บ้านผู้ใช้บริการว่ามีสัญญาณมาหรือไม่มา สัญญาณที่วัดจะดูที่ 1490 nm จะต้องให้อยู่ในช่วง -15.00 ถึง -22.00 ถึงจะใช้งานได้ แล้วทำการเสียบสายเข้า ONT และทำการปิดงานซ่อมได้

4.6 แบบประเมินความพึงพอใจของช่างเทคนิคในการใช้เครื่อง OTDR แสดงดังตารางที่ 4.11-4.13

ตารางที่ 4.11 การประเมินเครื่อง OTDR ยี่ห้อ VeEx รุ่น FX300

เครื่อง OTDR ยี่ห้อ VeEx รุ่น FX300	ระดับการประเมิน				
หัวข้อประเมิน	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. Design ของตัวเครื่อง	/				
2. การใช้งานสะดวกง่ายต่อการใช้งาน		/			
3. การวัดระยะความแม่นยำ	/				
4. ความหลากหลายของเมนูใช้งาน	/				
5. การดูแลรักษาง่าย		/			

ตารางที่ 4.12 การประเมินเครื่อง OTDR ยี่ห้อ EXFO รุ่น Max Tester 730B

เครื่อง OTDR ยี่ห้อ EXFO รุ่น Max Tester 730B	ระดับการประเมิน				
หัวข้อประเมิน	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. Design ของตัวเครื่อง		/			
2. การใช้งานสะดวกง่ายต่อการใช้งาน		/			
3. การวัดระยะความแม่นยำ	/				
4. ความหลากหลายของเมนูใช้งาน		/			
5. การดูแลรักษาง่าย		/			

ตารางที่ 4.13 การประเมินเครื่อง FFR-20 Fiber Ranger

เครื่อง FFR-20 Fiber Ranger	ระดับการประเมิน				
หัวข้อประเมิน	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. Design ของตัวเครื่อง			/		
2. การใช้งานสะดวกง่ายต่อการใช้งาน		/			
3. การวัดระยะความแม่นยำ			/		
4. ความหลากหลายของเมนูใช้งาน				/	
5. การดูแลรักษาง่าย		/			

สรุป การทดสอบและการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมจากช่างบริษัท ทรูอินเทอร์เน็ต คอร์ปอเรชั่น จำกัด(มหาชน) ที่ใช้งานเครื่อง OTDR

เครื่อง OTDR ยี่ห้อ VeEx รุ่น FX300

ข้อดี มีความแม่นยำสูง มีฟังก์ชั่นใช้งานที่หลากหลาย พกพาสะดวก แบตเตอรี่ทนทาน มีจอ Touch Screen และปุ่มกดไว้ใช้แทนเวลาจอ Touch Screen ใช้งานไม่ได้

ข้อเสีย เปิดเครื่องใช้เวลานาน

เครื่อง OTDR ยี่ห้อ EXFO รุ่น Max Tester 730B

ข้อดี เปิดเครื่องเร็ว ความแม่นยำใกล้เคียง VeEx รุ่น FX300 พกพาสะดวก

ข้อเสีย ปุ่มกดเน้นไปที่จด Touch Screen ไม่มีปุ่มกดไว้ใช้เวลาจอ Touch Screen เสีย

เครื่อง FFR-20 Fiber Ranger

ข้อดี เปิดเครื่องเร็ว ความแม่นยำไม่มาก พกพาสะดวก น้ำหนักเบา

ข้อเสีย ยิงระยะขาดด้วยแสงเลเซอร์ ฟังก์ชั่นน้อย ถ้าระยะที่ขาดน้อยกว่า 25 ม. จะไม่ค่อยแสดงค่า เครื่องจะแสดง 0 ม.

หมายเหตุ สรุปความนิยมใช้เครื่อง OTDR ของช่างเทคนิค บริษัท ทรูอินเตอร์เน็ต คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)

- เครื่อง OTDR ยี่ห้อ VeEx รุ่น FX300 นิยมใช้มากที่สุด
- เครื่อง OTDR ยี่ห้อ EXFO รุ่น Max Tester 730B นิยมใช้เป็นอันดับสอง
- เครื่อง FFR-20 Fiber Ranger ถูกใช้ในกรณีที่ไม่มีเครื่อง OTDR ยี่ห้อ VeEx รุ่น FX300 และ OTDR ยี่ห้อ EXFO รุ่น Max Tester 730B ให้ใช้งาน

ใบงานที่ 5

การทดลองวัดค่ากำลังในโครงข่าย FTTX

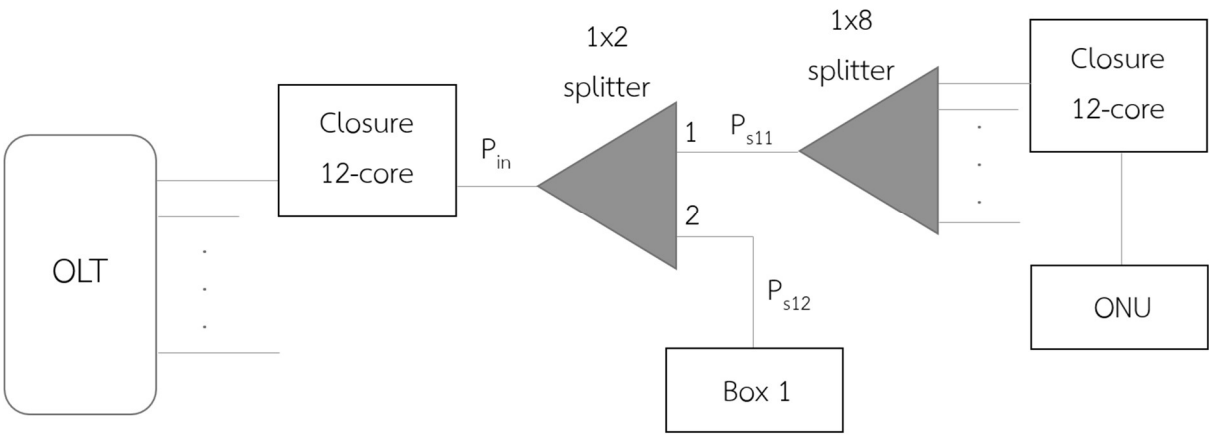
ในโครงข่าย FTTX ซึ่งเป็นโครงข่ายแบบ PON (Passive Optical Network) อุปกรณ์พาสซีฟที่สำคัญที่สุดคือตัวแยกสัญญาณแสง หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า สปลิตเตอร์ (Splitter) ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับ splitter จะอยู่ท้ายการทดลอง

อุปกรณ์การทดลอง

1. Splitter ชนิด 1 x 2
2. Splitter ชนิด 1 x 8
3. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)
4. ตัววัดกำลังแสง (Optical Power Meter)
5. แพชคอร์ด (Patch cord)

วิธีการทดลอง

1. ต่อ light source เข้ากับ optical power meter แล้วจดค่ากำลังที่ออกจาก light source บันทึกเป็น P_{in}
2. นำ light source ต่อเข้ากับ splitter ตัวที่ 1 ซึ่งเป็นชนิด 1 x 2 แล้ววัดกำลังแสงเอาท์พุตจากพอร์ทที่ 1 ด้วย 2 และพอร์ทที่ optical power meter บันทึกค่าเป็น P_{s11} และ P_{s12} ตามลำดับ
3. ต่อพอร์ทเอาต์พุตพอร์ทที่ 1 ของ splitter ตัวที่ไปยังพอร์ทอินพุทของ splitter ตัวที่ 2 ซึ่งเป็นชนิด 1 x 8 แล้ววัดกำลังแสงเอาต์พุทจากพอร์ทที่ 1 ด้วย optical power meter บันทึกค่าเป็น P_{s21}
4. ต่อเอาต์พุตพอร์ทที่ 1 ของ splitter ตัวที่ 2 เข้ากับ ONU ซึ่งคือ optical power meter ที่ทำหน้าที่สมมติเป็น ONU อ่านค่ากำลังแสง แล้วบันทึกค่าเป็น P_{ONU}
5. จากไดอะแกรมโครงข่าย FTTX ดังรูปที่ 1 ให้คำนวณหาค่ากำลัง ณ จุดต่างๆ ตามรูป ซึ่งได้แก่ P_{s11} P_{s21} และ P_{ONU} โดยกำหนดให้ค่า P_{in} มีค่าเท่ากับข้อ 1 โดยสามารถดูวิธีการคำนวณได้จากทฤษฎีท้ายการทดลอง
6. บันทึกค่าที่วัดได้ทั้งหมดลงในตาราง เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณได้



รูปที่ 1 ไดอะแกรมของระบบ FTTX

ผลการทดลอง

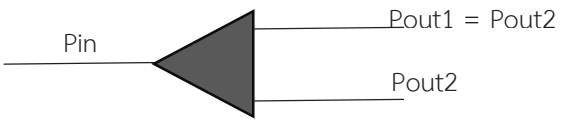
จุดที่วัดกำลังแสง	ค่ากำลังแสงที่วัดได้		ค่ากำลังแสงที่ได้จากการคำนวณ	
	dBm	Watt	dBm	Watt
P_{in}				
P_{S11}				
P_{S12}				
P_{S12}				
P_{ONU}				

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตัวแยกสัญญาณแสง (Splitter) และการคำนวณเบื้องต้น

Splitter เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการแยกสัญญาณแสง จะมีอยู่หลายชนิด และอาจมีอัตราส่วนการแยกสัญญาณแสงไม่เท่ากันในแต่ละพอร์ท แต่ที่นิยมใช้ในโครงข่าย FTTX จะมีอัตราส่วนการแยกสัญญาณในแต่ละพอร์ทเท่าๆ กัน หมายถึงทุกๆ พอร์ทเอาต์พุตจะมีกำลังแสงเอาต์พุตออกมาเท่ากันนั่นเอง

ตัวอย่างที่ 1 จงคำนวณค่ากำลังเอาต์พุตออกจาก splitter ชนิดอุดมคติ ดังรูปที่ 2 ถ้าค่ากำลังอินพุทเท่ากับ 1 mW



Pin = Pout1 + Pout2

รูปที่ 2 Ideal 1 x 2 splitter

วิธีทำ กำลังอินพุตมีค่า 1 mW จะถูกแยกออกทั้งสองพอร์ทเป็นกำลังเท่าๆ กัน ดังนั้นค่ากำลังเอาต์พุตทั้งสองพอร์ทจะมีค่าเท่ากันคือ 1 mW หารด้วยสอง หรือเท่ากับ 0.5 mW เพราะ splitter จะแบ่งกำลังเท่าๆ กัน ยกเว้นโจทย์กำหนดมาเป็นอย่างอื่น

ตัวอย่างที่ 2 ถ้า Splitter ในตัวอย่างที่ 1 ถูกเปลี่ยนเป็นชนิดอุดมคติแบบ 1 x 4 จงคำนวณหาค่ากำลังเอาต์พุตโดยค่ากำลังอินพุตเท่าเดิมกับตัวอย่างที่ 1

วิธีทำ ค่ากำลังเอาต์พุตทั้งสี่พอร์ทจะมีค่าเท่า ๆ กันคือ 1 mW หารด้วยสี่ หรือเท่ากับ 0.25 mW

นอกจากนี้ในหลายกรณี ค่ากำลังแสงจะถูกพูดถึงในหน่วยของ dB และ dBm โดยการเปลี่ยนกำลังแสงในหน่วยของวัตต์ไปเป็นทั้งสองหน่วยดังกล่าวสามารถทำได้ดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$dB = 10log_{10}P(W) \quad (1)$$

$$dBm = 10log_{10}P(mW) \quad (2)$$

ตัวอย่างที่ 3 จากตัวอย่างที่ 1 จงคำนวณค่ากำลังอินพุตในหน่วยของ dB และ dBm

วิธีทำ กำลังอินพุต 1 mW สามารถเปลี่ยนเป็นกำลังในหน่วย dB ได้ดังนี้

$$dB = 10log_{10}P(W) = 10log_{10}(10^{-3}) = -30\ dB$$

และสามารถเปลี่ยนเป็นหน่วย dBm ได้ดังนี้

$$dBm = 10log_{10}P(mW) = 10log_{10}(1) = 0\ dBm$$

การคำนวณค่าการสูญเสียระหว่างจุดสองจุด โดยทั่วไปนิยมใช้หน่วย dB ในการบอกถึงค่าการสูญเสีย การคำนวณค่าการสูญเสียลักษณะนี้สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$Loss\ (dB) = 10log_{10}\frac{P_2}{P_1} \quad (3)$$

ตัวอย่างที่ 4 จากตัวอย่างที่ 1 จงคำนวณค่ากการสูญเสียของ Splitter

วิธีทำ ค่าการสูญเสียของ splitter สามารถคำนวณได้โดยกำหนดให้ค่ากำลังอินพุตเป็น P_1 และค่ากำลังเอาต์พุตเป็น P_2 ในสมการที่ 3 จะได้

$$Splitter\ loss = -10log_{10}\frac{P_{out}}{P_{in}} = -10log_{10}0.5 = 3\ dB$$

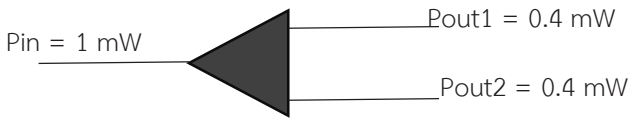
จากตัวอย่างที่ 1, 3, และ 4 จะเห็นได้ว่าเราสามารถคำนวณค่ากำลังแสง และค่าการสูญเสียในหน่วยของ dB ได้ โดยไม่ว่าวิธีไหนเราจะได้คำตอบเท่ากัน จากตัวอย่างทั้งสามดังกล่าว ค่ากำลังอินพุตคือ 1 mW หรือ 0 dBm = -30 dB ถ้ากำลังนี้ผ่าน splitter ที่มีค่าการสูญเสียเท่ากับ 3 dB กำลังเอาต์พุตสามารถคำนวณได้โดยนำค่ากำลังอินพุตมาลบกับค่าการสูญเสียของ splitter ดังนั้นเราจะได้ค่ากำลังเอาต์พุตเท่ากับ 3 – 0 = -3 dBm หรือ -30 – 3 = -33 dB โดยค่า -3 dBm และ -33 dB เมื่อแปลงกลับมาเป็นกำลังในหน่วยของวัตต์จะมีค่าเท่ากันคือ 0.5 mW

อย่างไรก็ตามแต่ในทางปฏิบัติ จะมีการสูญเสียเกิดขึ้นในตัว splitter เองทำให้ผลรวมค่ากำลังเอาต์พุตทั้งสองพอร์ทไม่เท่ากับค่ากำลังอินพุต ในกรณีนี้เราจะเรียกว่าค่าการสูญเสียส่วนเกินหรือ Excess Loss ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$Excess\ Loss\ (dB) = -10log_{10}\frac{\sum P_{out}}{P_{in}} \quad (4)$$

ดังนั้น ถ้าเราทราบค่า excess loss ของ splitter เราต้องนำมาคำนวณในการหาค่าการกำลังแสงเอาต์พุตด้วยเช่นกัน

ตัวอย่างที่ 5 Splitter ดังรูปที่ 3 มีค่า excess loss เท่าใด



รูปที่ 3 Non-ideal 1 x 2 splitter

วิธีทำ ค่า excess loss ของ splitter ตัวนี้มีค่า

$$Excess\ Loss\ (dB) = -10log_{10}\frac{\sum P_{out}}{P_{in}} = -10log_{10}\frac{0.4+0.4}{1} = 0.969\ dB$$

จากตัวอย่างที่ 5 จะเห็นว่าค่า excess loss ของ splitter เท่ากับ 0.969 dB เมื่อนำมารวมกับค่าการสูญเสียปกติของ splitter ตัวเดียวกันดังตัวอย่างที่ 4 จะให้ค่าการสูญเสียของ splitter แบบไม่อุดมคตินี้เท่ากับ 0.969 + 3= 3.969 dB ดังนั้นถ้าเรารู้ค่า excess loss และค่าการสูญเสียจากการแยกกำลังแสงของ splitter เราสามารถคำนวณค่ากำลังในแต่ละพอร์ตได้ เช่น จากตัวอย่างที่ 5 ค่ากำลังในพอร์ตเอาต์พุตของ splitter สามารถคำนวณได้เป็น 0 dBm – 3.969 dB = -3.969 dBm หรือ -30 dB – 3.969 dB = -33.969 dB ซึ่งทั้งสองค่าเมื่อแปลงเป็นกำลังในหน่วยวัตต์จะได้ค่ากำลังเท่ากับ 0.4 mW เท่ากัน

ใบงานที่ 6

All-Optical network wiring termination training device

XIYUAN Network generic cabling training room

Instruction Manual

All-optical network wiring termination training device

Optical Network Pds Training Platform

Note: Before using this product, please read the product manual carefully and keep it for future use.
If you need help, please contact the manufacturer as follows:
T: +86 (0)29 8339 6918
M:+86 (0)13474479856
E:1204453783@qq.com
W:www.s369.com
Xi'an KAIYUAN Electronic Industrial Co., ldt.

Special requirements and important instructions

1. Read the instructions carefully before use.

Please read this instruction carefully before installing and using the device, and install and operate the device according to the instructions. And save it carefully for later reference.

2. Device installation

The user can install the product by himself, and the specific operation method is operated according to the procedure of the training item in Article 5 of this manual.

3. Safe use of electricity

The power socket provided by the user on site must have reliable neutral and earth wires. If the user can't guarantee a reliable ground wire, a reliable ground wire must be specially connected to the metal casing of the device, and the grounding resistance of the ground wire must be less than 4 ohms.

The on-site power socket must be matched with the power plug of the device. The rated power of the power socket must be greater than 5 times the maximum power of the device.

Series power supply between devices is not allowed. It is not allowed to place anything on the power line, nor to tread on the power line.

The power socket must be unplugged during the maintenance of the devices.

On-site electricity must comply with relevant national or industry standards.

If it does not comply or does not meet the above requirements, the device casing may be charged, which can cause personal injury.

4. Fixed device

Before the equipment is put into use, it must be fixed firmly and operated safely in order to prevent dumping and injuring personnel or equipment.

5. intellectual property

Xi'an KAIYUAN Electronic Industrial Co., Ltd. owns a number of national patents for this product. According to the "Patent Law of the People's Republic of China", it is forbidden to produce, sell and use these patented products without the consent of the patentee.

Xi'an KAIYUAN Electronic Industrial Co., Ltd. owns the intellectual property rights of the instruction manual. According to the "Copyright Law of the People's Republic of China", it

can not be used for profitable activities such as printing, publishing, ommercial purposes and other profitable activities, without the consent of the copyright owner.
"XIYUAN" is a registered trademark of Xi'an KAIYUAN Electronic Industrial Co., Ltd.

Contents

Product technical specifications and structure diagram	1
Product characteristics	3
Main training functions of products	4
The basic operation of the product	5
Training program	11
Training program of Optical Network Pds Training Platform	11
Training project #1: All-optical network link construction training	11
Training Project #2: Fiber fusion speed training	14
Training program of All-Optical Network Wiring Termination Training Device	16
Optical Fiber Complex Permanent Link Wiring Termination	16
Maintenance and service	18
Recommended training room layout	19

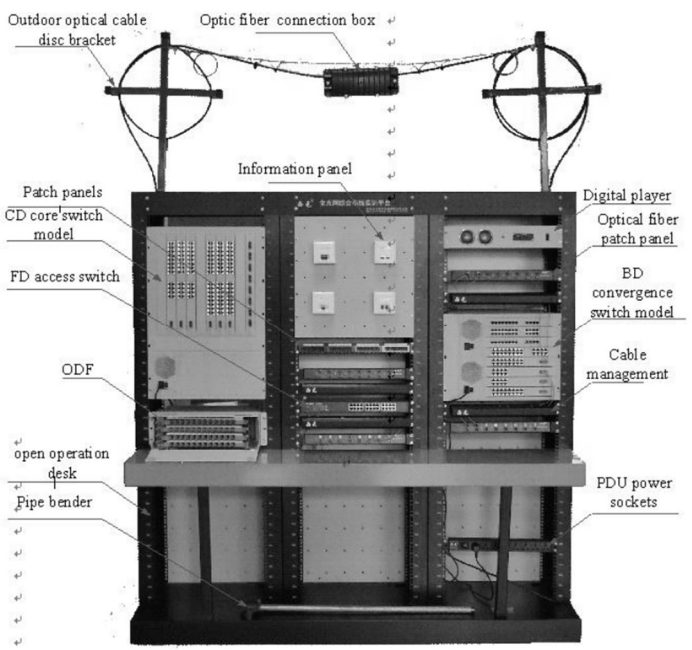
OTDR Testing

Product technical specifications and structure diagram

1. KYPXZ-02-01 Technical specification of Optical Network Pds Training Platform

Category	Technical Specifications of Products
Product model	KYPXZ-02-01
External size	Length 1800mm，width 610mm，height 2500mm
Voltage/ Power	Alternating Current 220V/150W
main Matching device	1 Open platform 2 Disc bracket 1 Core Switch Model 1 Convergence Switch Model 1 Digital Player 1 Web camera 2 Optical Fiber Transceiver 1 Optical Ethernet Switch 1 Pipe bender 1 ODF 1 24 port patch panels 4 Combined optical fiber patch panels 4 Cable management 1 Optical Fiber Connection Box 1 PDU socket The rack can be used for installation of cable pipes and outlets.
Training population	Each device can meet 2 to 4 people training at the same time.

2. KYPXZ-02-01 Schematic diagram of product structure of Optical Network Pds Training Platform



3. KYPXZ-02-06 Technical specification of All-Optical Network Wiring Termination Training Device

Category	Technical Specifications of Products
Product model	KYPXZ-02-06
External size	Length 600mm，width 580mm，height 1800mm
Voltage/ Power	Alternating Current 220V/50W
main Matching device	1 19-inch open platform+keyboard 1 Fiber Optic Wiring Termination Tester 2 19-inch combined optical fiber patch panels 1 ODF 2 Cable management 4 Optical fiber information socket 1 Digital Player 1 PDU socket
Training population	Each device can meet 2 to 4 people training at the same time.

4. KYPXZ-02-06 Schematic diagram of product structure of All-Optical Network Wiring Termination Training Device

Product characteristics

KYPXZ-02-01 Product characteristics of Optical Network Pds Training Platform

1. Real simulation and provide a complete training platform for all-optical network buildings, equipment rooms, management rooms, optical port socket in the working area.

2. Realize the complete fiber-optic link structure of the fiber-to-the-home (FTTH) system from the Telecommunications room to the user terminal.

3. Full simulation core switch and convergence switch.

4. Configure various optical fiber patch panel for fiber fusion, cold connection and wiring operations.

5. Floor installation, vertical operation, stable and practical, saving space.

6. Configure standard U digital player with professional product voice explanation.

KYPXZ-02-06 Product characteristics of All-optical Network Wiring Termination Training Device

1. The product realizes 8-way multi-fiber jumper and link simultaneous test function at low cost.

2. The product is equipped with four kinds of optical fiber couplers of SC, ST, FC and LC. It has the functions of wiring, termination and continuity test of 10 different optical fiber jumpers and links.

3. The indicator light of the product configuration has two display functions of continuous and intermittent flashing, which intuitively test the switching of various optical fiber jumpers and complex optical fiber links.

4. The product is equipped with 48-port optical fiber distribution box (ODF), 8-port SC+8-port ST combined optical fiber distribution frame, and various optical fiber information sockets. It can simultaneously build multiple complex optical fiber links at the same time and carry out practical training and testing of optical fiber communication engineering installation and construction technology.

5. The product selects common engineering equipment, including SC port + ST port combined fiber distribution frame, 48-port SC fiber distribution box, SC, ST, FC, LC and other fiber couplers, a variety of transparent fiber information professional devices such as sockets, highlighting the combination of theoretical teaching and engineering.

6. Product configuration digital player with remote control and U disk, insert U disk to automatically play the voice commentary, convenient for teaching and training.

7. The product is equipped with a special training material package to facilitate teaching and training.

8. According to the real engineering application case of network and communication room, the product adopts floor-to-ceiling installation and vertical operation.

Main training functions of products

KYPXZ-02-01 Main training functions of Optical Network Pds Training Platform

1. All-optical network buildings optical cable overhead installation training.
2. All-optical network equipment wiring termination technology training.
3. All-optical network management wiring termination technology training.
4. All-optical network work area optical port socket installation training.
5. Wear steel pipe wiring installation training.
6. Network camera installation and software debugging training.
7. Optical fiber cold welding and fusion training.
8. Cable permanent link installation and test training.

KYPXZ-02-06 Main training functions of All-Optical Network Wiring Termination Training Device

1. 10 kinds of different connectors fiber jumper on-off test training.
2. SC-SC port optical fiber link construction termination and test training.
3. ST-ST port optical fiber link construction termination and test training.
4. FC-FC port optical fiber link construction termination and test training.
5. LC-LC port optical fiber link construction termination and test training.
6. Different interface complex optical fiber links termination and test comprehensive training.
7. Practical training of optical fiber fusion skills (Combining with optical fiber welding machine for training)
8. Practical training of the optical fiber cold welding skills (Training with optical fiber cold connection tool).

9. Installation and training of optical fiber information sockets.

10. Optical cable wiring, cable opening, cable management, disk fiber and other engineering skills training.

The basic operation of the product

Before using the product, first plug the power switch of the core switch model, convergence switch model, digital player, network camera, and optical switch into the power socket of the device, and then turn on the power.

Optical fiber patch panel

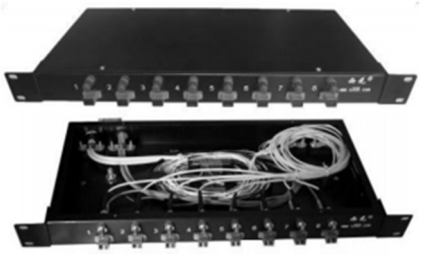
1. Concept

The optical distribution frame, abbreviated as ODF (Optical Distribution Frame), is an important supporting device in the optical transmission system. It is mainly used for optical fiber fusion of optical cable terminals, optical connector installation, optical path adjustment, and excess pigtails, storage and cable protection, etc. It plays an important role in the safe operation and flexible use of fiber-optic communication networks.

2. Structure and classification

Optical distribution frame are typically 19-inch rack mounts and are suitable for installation in standard communications or network cabinets. The optical distribution frame is composed of a casing, an internal component and an external interface. According to the number of external interfaces, it can be divided into 8, 12, 16, 24, 48 ports, etc. According to the type of external interface. ST, SC, FC, ST+SC combination, etc. As shown in Figures 4-1 and 4-2.

Figures 4-1 12 ports ST Optical distribution frame



Figures 4-1 16 ports ST Optical distribution frame

3. Functional characteristics

Optical cable fixed protection, optical fiber termination function, line adjustment function, optical cable core protection, identification record function, optical fiber storage function.

4. Application

The fiber distribution frame is suitable for horizontal wiring or device termination between device rooms, as well as mutual terminal connection of centralized points. Generally used in various management rooms, device rooms, central computer rooms, etc. , the installation methods are mostly 19" communication cabinets, racks and standard U-type installation.

Optical fiber distribution box

1. Concept

In practical applications, in some large central computer rooms such as parks and enterprises, a single distribution frame cannot meet the needs of large-capacity connection wiring. The optic fiber distribution box provides an application scheme for high-capacity fiber optic wiring.

2. Structure and classification

(1) Structure

Typical optical fiber distribution box is composed of a plurality of fiber distribution units as shown in Figure 4-3 and Figure 4-4, and each unit has a drawer structure. When welding and adjusting the wire, the corresponding drawer is pulled out along the track and operated outside the frame, so that there is a large operation space, so that the units do not affect each other. The drawer is provided with locking devices in both the pull-out and push-in states to ensure stable and accurate operation and safe and reliable connection of the components in the unit. Cable introduction holes are provided on the front and rear sides of the cabinet, so that the indoor (outdoor) optical cable can be penetrated into the box for wiring welding.

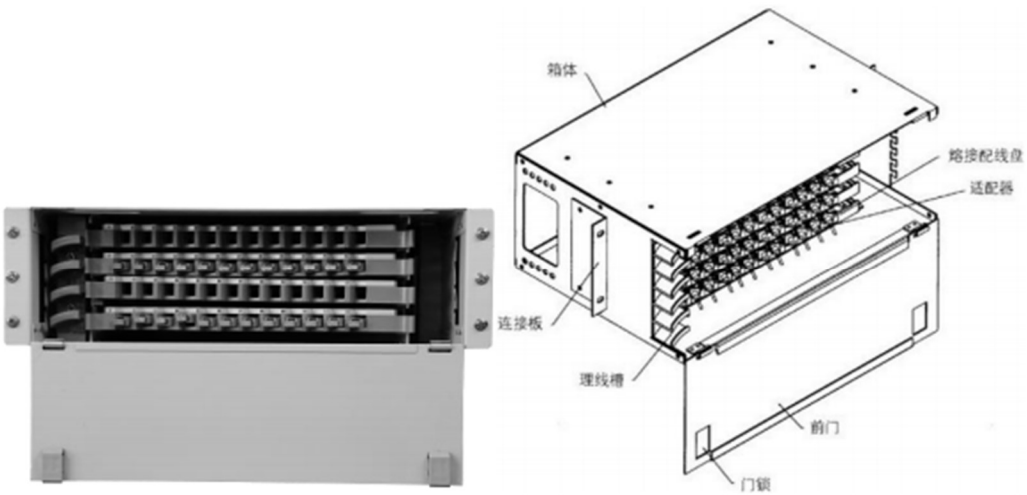


Figure 4-3 optical fiber distribution box

Figure 4-4 Fiber distribution unit

(2) Classification

There are many classification methods for optical fiber distribution boxes. According to the number of interfaces, there are 12, 24, 36, 48, 72 ports, etc., according to the placement method, there are vertical and horizontal, according to the installation method, there are wall-mounted, cabinet and rack.

3. Functional characteristics

The fiber optic distribution box is basically the same in function and occasion. Its function is to provide more and wider wiring units in the same space. It can be used in a large-density large central computer room, which can save a lot of space.

Optical fiber connection box

1. Concept

The optical fiber connection box, also called the optical cable connector box and the barrel, as shown in Figure 4-5. It is suitable for straight-through and branch connection of overhead, pipeline, direct burial and other laying methods of various structural optical cables. In the optical communication network, due to the limited length of the optical cable and the need for the optical cable to branch on the transmission line, the optical cable connector is generated, and the optical cable connection box provides conditions for the connection and branching of the optical cable and protects the connector.

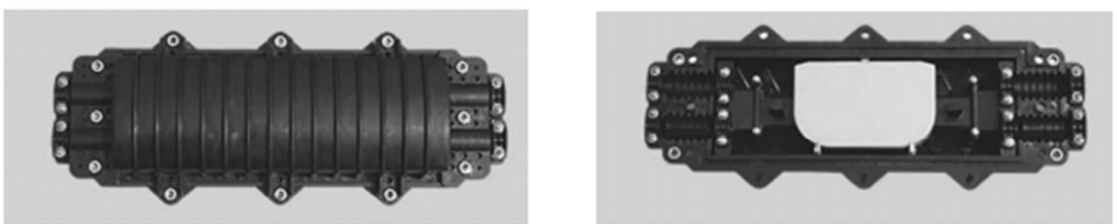


Figure 4-5__Optical fiber connection box

2. Structure

The box is mostly made of high quality reinforced plastic with high strength and corrosion resistance. Optical cable holes are reserved on both sides for the penetration and insertion of the cable. The internal structure includes a support frame, optical cable fixing

device, an optical fiber mounting device, a fiber optic connector protection, an optical cable and a connection box sealing member.

3. Functional characteristics

The optical fiber connection box can prevent material aging of materials caused by heat, cold, light, oxygen and microorganisms in nature, and has excellent mechanical strength. The rugged cable splice case and main structural components can withstand the worst environmental changes while flame-retardant, waterproof, so that vibration, impact, cable tension, distortion and other protection.

4. Application

The optical fiber connection box is generally installed outdoors, and is widely used in communication, network systems, CATV cable television, optical cable network systems, and the like. In optical fiber communication networks, optical fiber connection points are the most prone to failure, and the most suitable cable connector box must be strictly selected.

Optical fiber disk box

The Optical fiber disk box, as shown in Figure 4-6, is a device for connecting optical cables for the fusion and branching of optical fibers. During operation, the optical cable is introduced into the splice tray, welded, and finally packaged in the box. The fiber optic box can be superimposed, which can expand the capacity, and is extremely convenient to install and use. It is the core component in the device such as the optical box, the ODF, and the connection box. The fiber optic box is generally injection molded with high-strength engineering plastics, and has the characteristics of flame retardant and long anti-aging time.

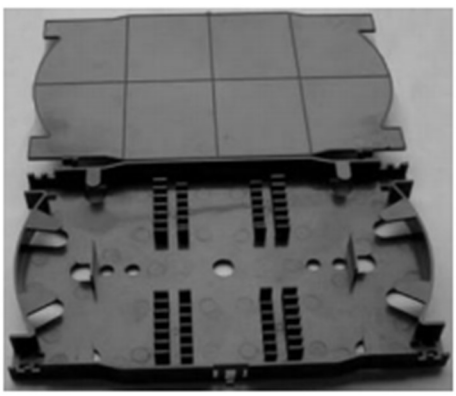


Figure 4-6 fiber optic box

The fiber optic box can be divided into 4 cores, 6 cores, 8 cores, 12 cores and 24 cores. The pigtails and cable bundles have their own cable passages, which are layered and managed to effectively protect the optical fibers from damage. The fiber optic box generally has a three-layer structure, the lowermost layer is a wiring board, the middle is a welding plate, the top is a cover plate, the welding and wiring are integrated, and the operation is very convenient. The fiber is fixed in the fiber optic box to ensure that the bending radius is greater than 40 mm. The 24-core indoor cable terminal box continues as shown in Figure 4-7.

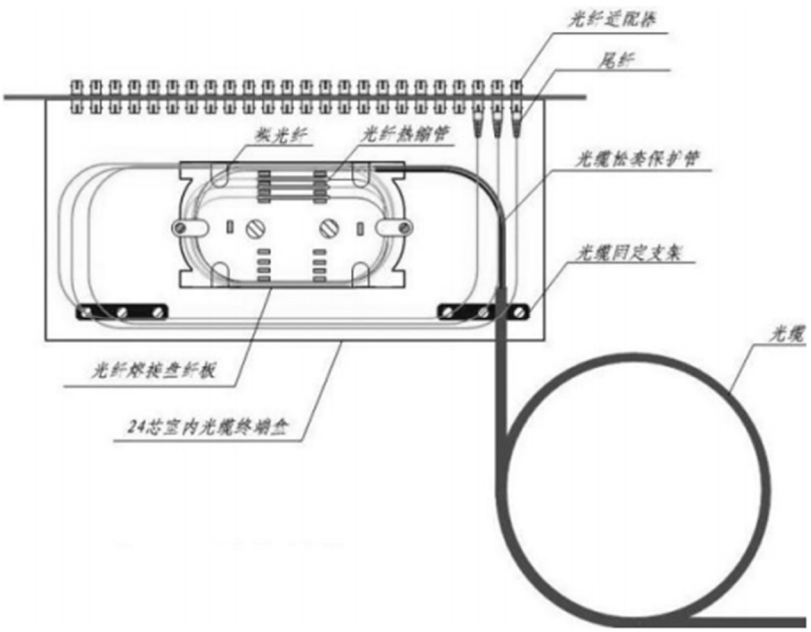


Figure 4-7 24-core indoor cable terminal box continues

Installation Technology

1. Installation of rack room

The bottom and top of the rack are the installation parts of the machine room. The top of the rack has a bend angle, which can be connected with the installation rack of the engine room. The bottom is fixed to the ground with expansion screw.

2. Introduction and routing of optical cables and optical fibers

(1) The optical cable is introduced at the top or bottom of the bobbin, fixed and grounded in the terminal module, and the loose tube is stripped with a special stripping tool, then the flat tube with good toughness is sleeved from the tail until the two tubes overlap about 10 mm.The joint is protected by a heat shrink sleeve. Introduce the bare fiber with the

flat tube from the right side of the rack into the fiber distribution frame module (the ribbon cable must be installed with the fiber distribution box, and the bare fiber is placed on the protection tube and embedded in the fiber distribution box as shown in Figure 9-12). The optical fiber distribution frame module is welded to the single core cable, and the fusion joint is clamped in the plastic groove, and the excess length is coiled.

The single core cable from the optical distribution frame module is movably connected to the inner end of the adapter. The outer end of the adapter is movably connected with the tail wire of the wire, and the pigtail of the wire is set by the adapter, and is reserved by the left column winding area and then enters the optical device through the top or the bottom of the frame.

(2) The bending radius of the optical cable is not less than 15D, where D is the diameter of the optical cable.

(3) The single-core cable and bare fiber bending radius is greater than 37.5 mm.

3. High voltage protection grounding of optical cable

After optical the cable metal reinforcing core is cut to the excess length, the reinforcing core seat is connected by the confluence bar, which is connected to the machine room ground.

Training program

KYPXZ-02-01 Training program of Optical Network Pds Training Platform

Training project #1: All-optical network link construction training

1. Platform construction

Step 1: Install the rack. Connect the top hat, column, and base, and then fix the operation table to the 24-26U position of the column and install the support feet.

Step 2: Install the orifice plate. Install an orifice plate with 4x25 holes in the middle of the front of the rack and the remaining five orifices in the lower part of the back of the rack.

Step 3: Install the cable tray. After installing the 30×30 foot sleeves on the two cable reel racks, they are screwed on the two side pillars on the back of the rack. The four mounting holes of each reel rack correspond to the 1U, 2U, 4U, 5U of the posts respectively.

2. Equipment installation

Step 1: Install the front device.

Fix each rack-mounted device on the front pillar to keep a gap between each device for easy training.

The camera is mounted on the top of the rack through a special bracket for the word, and the notebook is placed in the middle of the table.

Install the four 86 bases at the bottom and install them in the four of 25 holes of the hole plate to allow the cable to pass through. Install four information panels with couplers (modules) on the 86 base.

FD access switch comes with two SPF optical modules to ensure that the optical module is fully inserted into the SPF interface of the switch.

After the installation of each device is completed, connect the CD core switch, BD convergence switch, FD access switch, digital player, and the power cable of the camera and laptop to the PDU power socket, turn on the external power supply, and turn on the corresponding switch to check each device. And make sure the power supply is normal. Lay the manual bender flat on the base of the console frame.

Step 2: Install the back device.

Tightening the 3 steel cable to the top of the cable tray, and fixing the two ends with a U-shaped card. After the outdoor optical cable is inserted into the optical fiber connection box, the cable is hung on the steel cable, and the excess length of the optical cable is wound around the two cable trays, and fixed with a wire tie.

Use a dedicated bracket to mount the optic fiber transceiver on the upper two well plates.

Use the straight-through connection to bend the formed steel pipe as shown in the figure, fix it under the orifice plate with the pipe clamp, insert the indoor optical cable from one end of the pipeline, and pierce the other end to leave a certain length for later connection.

The installation location of the equipment is shown in Figure 5-1.

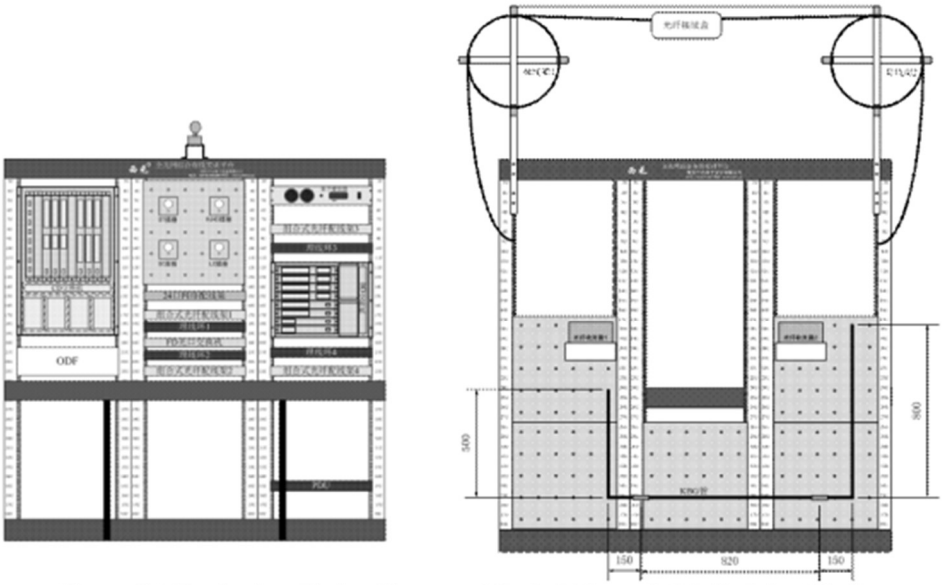


Figure 5-1 Device installation diagram of Optical Network Pds Training Platform

3. Camera debugging

Step 1: Use a super five 568B line-sequence jumper to connect the camera to the laptop, turn on the power, and the camera enters the self-test state.

Step 2: Set the LAN IP, subnet mask, and gateway of the computer. If you don't connect to the Internet, you don't set DNS.

Step 3: Open the IP Camera software, right click on the camera in the list, select "Network Configuration" to set the camera IP, and the IP address of the camera should be in the same subnet as the IP address.

Step 4: Open the camera monitoring software and right click on the left margin to enter the "Group Settings". Right click to create a new group and click below to find the camera. Double-click the found camera, set its parameters on the right, rename the device name, the user name is admin, the password is blank, and the rest of the parameters are unchanged. Click "Add" to add the camera to the newly created group and click "OK" to return computer.

Step 5: Find the added camera in the left group, double-click to display the monitoring screen, switch to the "Control" tab, and remote control of the camera can be realized in the software.

4. Device connection

After the device installed and debugged, each device is connected by fiber to form a fiber link of "camera - CD switch - BD switch - FD switch - information panel - terminal computer", so that the camera and the laptop can interact with each other. There are many ways to connect, and Figure 5-2 shows one of the possible connections.

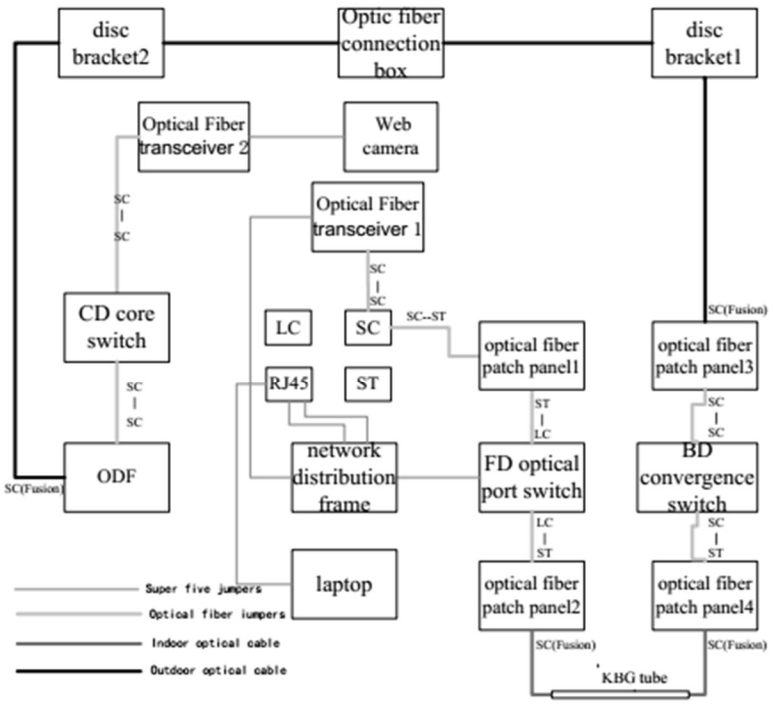


Figure 5-2 System connection diagram

Training Project #2: Fiber Fusion Speed Training

Completed in 3 hours. Please carefully study the drawings and technical requirements, pay special attention to the type of work tasks, cable length, termination position, site management, etc. Please standardize the installation, give priority to the quality of work, and complete the competition task within the specified time.

1. Work preparation

First: Prepare 2 single-mode optical cables with 5 meters long and 48 cores. As shown in Figure 5-3, the table is fixed with nylon strap and glue, and a circle is made in the middle, taking into account the position of welder and tool, so as to facilitate rapid operation.

Second: Open the cable. First, peel off the outer skin of the cable for 800 mm, then leave the inner sheath 30 mm and strip 770 mm as shown in Figure 5-4.

Third: Splicing one SC pigtail at one end of the cable and connecting the test device as shown in Figure 5-5.

Forth: Check device and tools. Allow players to try tools such as fusion splicers, cutters, and strippers. Prepare equipment such as alcohol and dust-free paper.

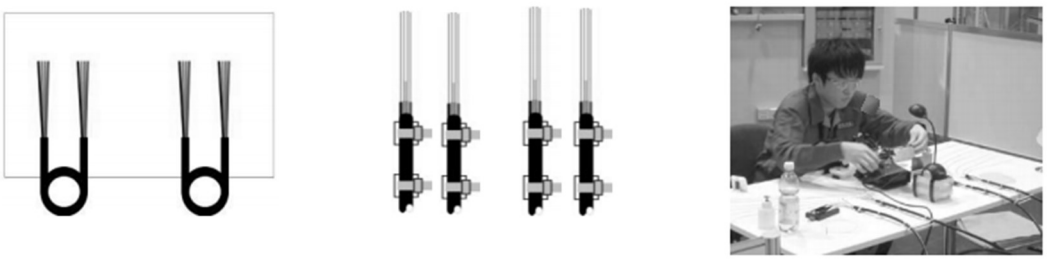


Figure 5-3 Cable is fixed on the countertop

图 5-3 光缆在台面固定方式

Figure 5-4 Cable cable length requirement diagram

2. Optical fiber fusion speed training

Two optical cables are required to be annular joined, and the optical cables are sequentially welded according to the chromatographic order of the optical fibers, and the connecting strings are formed into a single path. As shown in Figure 5-5, place the fused fiber on the table and not in the splicer tray. Record the number of splice points while ensuring that the light loss is small. At the same time, the appearance quality of the welded joints, the operation specifications, labor protection with goggles, and environmental sanitation are evaluated.

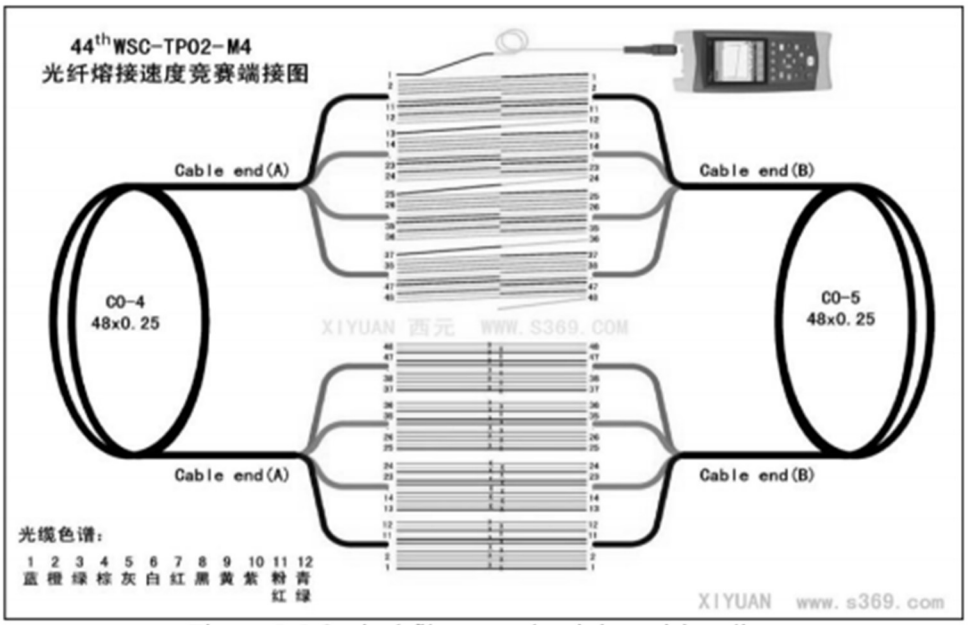


Figure 5-5 Optical fiber speed training wiring diagram

Specific operational technical requirements and precautions are as follows:

First. Please use the optical fiber fusion splicer operating instructions in accordance with the regulations. Use a fusion splicer to splicing the optical fiber and clean the fusion splicer in time, and ensure that each splicing is done.

Second. Each heat-welding protection tube must be installed at each welding point. The heating time is adjusted correctly, and the casing shrinks are centered.

Third. The fiber sheath and the resin layer must be removed, and each core fiber is cleaned at least 3 times with alcohol.

Forth. The optical fiber stripper must be cleaned in time after each use, removing the resin or debris adhering to the stripper.

Fifth. Correct use and cleaning of optical fiber cutting knife.

Sixth. Allow the soaking of dust-free paper with alcohol during the preparation phase.

KYPXZ-02-06 Training program of All-Optical Network Wiring Termination Training Device

Optical Fiber Complex Permanent Link Wiring Termination

Competition task: Optical fiber complex permanent link installation (corresponding to WSC-TP02 M5)

Players are required to complete the construction and installation of optical fiber complex permanent links. The specific tasks are as follows:

Optical fiber complex permanent link wiring termination (30 minutes)

Please perform the All-Optical Network Wiring Termination Training Device (product model XIYUAN KYPXZ-02-06). According to the routing and termination locations shown in Figure 5-6, eight optical fiber permanent links are built, all using single-mode fiber jumpers. The wiring principle is shown in Figure 5-7. The fiber jumper selection and plug-in are required correctly, and the corresponding fiber link indicator blinks. Please maintain a reasonable radius of curvature of the optical fiber, and use Velcro to tie and manage the line, neat and beautiful. Please do not need to install the patch panel cover for easy inspection and evaluation. There are 9 types of jumpers used in each optical fiber link, totaling 16 pieces, as follows:

Optical Fiber Link 1: 1 SC-SC, 2 SC-ST (one inside the patch panel).

Optical Fiber Link 2: 1 SC-SC.

Optical Fiber Link 3: 1 ST-ST, 2 SC-ST (one inside the patch panel).

Optical Fiber Link 4: 1 ST-ST.

Optical Fiber Link 5: 1 SC-FC, 1 SC-ST (one inside the patch panel), 1 ST-FC.

Optical Fiber Link 6: 1 FC-FC.

Optical Fiber Link 7: 1 SC-LC, 1 SC-ST (one inside the patch panel), 1 ST-LC.

Optical Fiber Link 8: 1 LC-LC.

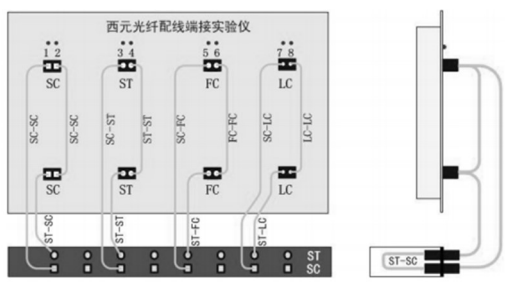


Figure 5-6 Optical Fiber Complex Permanent Link Terminal Location Diagram

Figure 5-7 Schematic diagram of the optical fiber complex permanent link

Each links of the optical fiber links 1, 3, 5, and 7 has three optical fiber jumpers, two optical fiber jumpers outside the instrument, and one optical fiber jumper inside the optical fiber distribution frame. Each link of optical fiber links 2, 4, 6 and 8 has one optical fiber jumper, which is connected to the outside of the optical fiber distribution terminal tester

(1) Optical fiber link 1 (3/5/7) wiring termination steps

Step 1: Insert the ST fiber end of the ST-SC (ST-ST/ST-FC/ST-LC) fiber jumper into the No. 1 (No. 3/5/7) ST fiber coupler of the fiber distribution frame. The other end is inserted into the corresponding fiber optic coupler of the lower row of the optical fiber wiring termination tester.

Step 2: The SC-ST fiber jumper inside the fiber distribution frame is connected to the SC fiber coupler and the ST fiber coupler of No. 1 (No. 3/5/7).

Step 3: Insert the SC end of the SC-SC (SC-ST/SC-FC/SC-LC) fiber jumper into the No. 1 (No. 3/5/7) SC fiber coupler of the fiber distribution frame. The other end is inserted into the corresponding fiber optic coupler of the upper row of the optical fiber optic wiring termination tester

(2) Optical fiber link 2 (4/6/8) wiring termination steps

Use SC-SC (ST-ST/FC-FC/LC-LC) fiber jumper to connect the SC of the upper and lower rows of No. 2 (No. 4 / No. 6 / No. 8) of the optical fiber cable termination tester (ST/FC/LC) fiber Coupler.

The optical fiber wiring termination tester's optical fiber indicators 1-8 can visually display the interruption of the eight optical fiber link terminations.

Maintenance and service

1. Maintenance of power failure of device

If there is a power failure in the device, first check if the power socket board switch is turned on and restart if necessary. Then check if the power plug is plugged in and re-plug it if necessary.

2. Other faults

If there are other faults in the use of the decive, please contact your local service center or company.

3. Spare parts

Local maintenance centers and company stocks often use spare parts to ensure maintenance needs.

Recommended training room layout