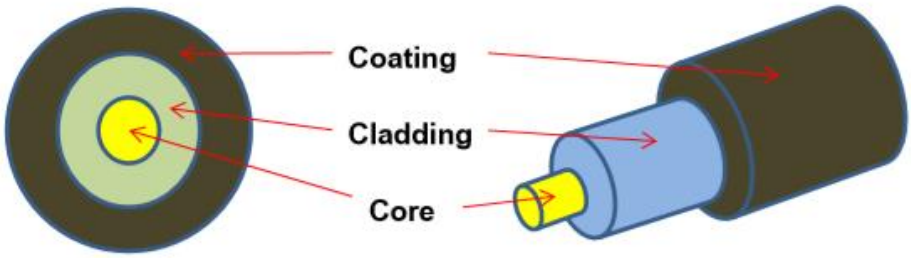
บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

ในขั้นตอนแรกของการทำโครงงานควรที่จะศึกษาพื้นฐานของเส้นใยแก้วนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง ข้อคำนึงในการออกแบบสายเคเบิลใยแก้วนำแสง ขั้นตอนการผลิตเคเบิลเส้นใยนำแสง ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญและการทดสอบ สาเหตุการปรับปรุงโครงสร้างของเคเบิลให้มีขนาดเล็กลง ข้อกำหนดการแขวนสายสื่อสารของการไฟฟ้าที่พูดถึงพื้นที่หน้าตัดรวม และปัญหาความไม่เป็นระเบียบของสายสื่อสาร เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในงานวิจัย

2.1 เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)

เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) หมายถึง เส้นใยโปร่งแสงทรงกระบอกตันขนาดเล็ก มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยทั้งเส้นประมาณ 125 ไมครอน หรือ 0.125 มิลลิเมตร โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยมักเป็นสารประกอบประเภท ซิลิกา หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งเป็นแก้วบริสุทธิ์ เนื้อแก้วนี้อาจถูกเจือด้วยสารหรือวัสดุบางอย่างที่สามารถควบคุมอัตราการเจือได้ เพื่อทำให้แก้วมีค่าดัชนีหักเหของแสง (refractive index) ตามต้องการ โครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยแก้วประกอบด้วยวัสดุโปร่งแสงสองชั้น โดยในแนวแกนกลางของเส้นใยแก้ว เรียกว่า คอร์(core) จะมีค่าดัชนีหักเหสูงกว่าส่วนที่อยู่โดยรอบที่ห่างจากแกนกลางออกไป ส่วนนี้เรียกว่า แคลดดิ้ง(cladding)

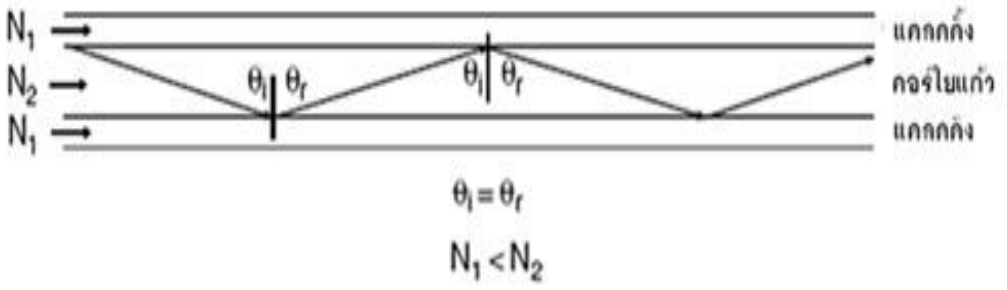


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเส้นใยแก้ว

ส่วนของเส้นใยแก้วที่เป็นเนื้อแก้ว เรียกว่า เส้นใยแก้วเปลือย (bare fiber) จะมีความเปราะบางมาก เนื่องจากมีขนาดที่เล็ก จึงต้องทำการเคลือบผิวด้วยสารประเภทซิลิโคน โพลีเมอร์ หรือพลาสติกบางๆ ซึ่งส่วนนี้มักเรียกว่า โค๊ตติ้ง (coating) เส้นใยแก้วส่วนที่เคลือบด้วยโค๊ตติ้งนั้น จะมีความแข็งแรงมาก สามารถรับน้ำหนักและแรงกระแทกธรรมดาได้พอสมควร เช่น สามารถจับโยน และดัดโค้งงอเป็นวงเล็กๆ ได้โดยไม่ทำให้เส้นใยแก้วแตกหรือหักเลย ในการนำเส้นใยแก้วมาใช้งานจะต้องทำให้เส้นใยแก้วมีความแข็งแรงมากกว่านี้ โดยบรรจุเส้นใยแก้วไว้ภายในส่วนที่ป้องกันแรงกระแทกแล้วจัดโครงสร้างให้มีลักษณะเป็นเคเบิลเส้นใยนำแสงเหมือนสายไฟฟ้า ซึ่งในส่วนนี้จะใช้เทคโนโลยีของสายไฟฟ้าทั่วไป หากต้องการ

รวบรวมเส้นใยแก้วหลายๆเส้นเข้าด้วยกันทำเป็นลักษณะของเคเบิลเส้นใยนำแสงเส้นใยนำแสงใหญ่ๆ ซึ่งเคเบิลเส้นใยนำแสงหนึ่งอาจจะมีเส้นใยแก้วตั้งแต่สิบจนถึงหลายร้อยเส้นก็ได้ โดยสีของโค๊ตติ้งจะบอกให้ทราบถึงลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันของเส้นใยแก้วมีสีต่างๆ ตามนี้น้ำเงิน ส้ม เขียว น้ำตาล เทา ขาว แดง ดำ เหลือง ม่วง ฟ้า ชมพู ซึ่งก็คือสีโค๊ตติ้งนั้นเอง

การสื่อสารข้อมูลโดยเส้นใยแก้วนำแสง จะใช้สัญญาณแสงยิงเข้าไปในแกนเส้นใยแก้ว (Fiber core) เส้นใยแก้วนำแสงจะทำตัวเสมือนตัวนำทางให้แสงเดินทาง แสงจะถูกนำทางให้วิ่งภายในแกนกลางของสายสัญญาณ ในทางทฤษฎีแสงจะถูกนำทางให้วิ่งตามแกนกลางของใยแก้วด้วยการควบคุมขอแคลดดิ้ง (Cladding) ที่มีดัชนีการหักเหของแสงที่ต่ำกว่า (Refractive Index) เคลือบรอบแกนกลางของใยแก้ว ในทางทฤษฎีจะไม่มีพลังงานแสงใดที่สามารถหนีจากแกนกลางของใยแก้วเข้าไปในบริเวณ Cladding ได้ และไม่มีพลังงานใดที่มาจากภายนอกเข้ามาที่แกนกลางของใยแก้วได้ ดังนั้นการส่งสัญญาณข้อมูลด้วยสายใยแก้วนำแสงจะไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณประเภทอิเล็กโตรแมกเนติก แกนกลางของใยแก้วและแคลดดิ้งจะดักลำแสงให้อยู่ในแกนกลางของใยแก้วโดยการทำให้ลำแสงเข้าไปในแกนที่มีมุมหักเหของแสงมากกว่ามุมวิกฤติ (Critical Angle) ลำแสงจะวิ่งภายในแกนกลางใยแก้วนำแสงด้วยอัตราการสูญเสียพลังงานที่ต่ำ โดยทั่วไปแล้วพลังงานที่สูญเสียไปจะเกิดจากการสะท้อนของแสงภายในสายสัญญาณ



ภาพที่ 2.2 การเดินทางของแสงภายในสายใยแก้วนำแสง

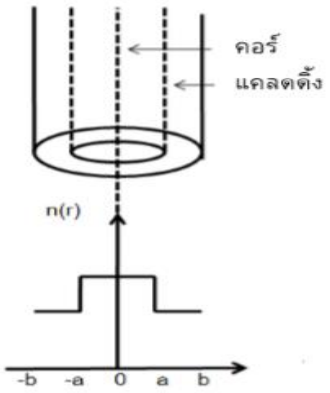
การที่เส้นใยแก้วสามารถนำสัญญาณแสงได้ดี ไม่เพียงเพราะว่าตัวมันเองมีคุณสมบัติโปร่งแสงเท่านั้น แต่ยังเกิดจากโครงสร้างของเส้นใยแก้วที่มักกำหนดให้เส้นใยแก้วมีค่าดรรชนีหักเหของคอร์มากกว่าแคลดดิ้งเล็กน้อย ทำให้เกิดปรากฏการสะท้อนกลับหมด (TIR : Total Internal Reflection) ของแสงที่เดินทางอยู่ภายในคอร์ ส่งผลให้แสงทั้งหมดสามารถเดินทางอยู่ในเส้นใยแก้วโดยไม่สะท้อนออกไปนอกเส้นทาง และเมื่อแก้วที่ใช้บริสุทธิ์ เลยมีผลทำให้แสงส่วนใหญ่เดินทางไปได้ด้วยดีและเดินทางได้ไกล ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเส้นใยแก้ว การที่เส้นใยแก้วแสดงพฤติกรรมการเป็นท่อนำสัญญาณแสงได้ดีมาก เนื่องจากมีค่าการลดทอนสัญญาณแสงต่ำ (low attenuation) ค่าลดทอนสัญญาณแสงของเส้นใยแก้วจะมีค่าขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงที่เดินทางผ่านเส้นใยแก้ว โดยที่ค่าความยาวคลื่นที่ 1.3 และ 1.5 ไมครอน จะเกิดการสูญเสียสัญญาณน้อย ทำให้แสงเดินทางไปได้ไกล

2.1.1 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสง สามารถจำแนกได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการพิจารณา โดยทั่วไปจะนิยมแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบ่งตามดัชนีหักเหของแสงในเส้นในแก้วและแบ่งตามโหมดการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้ว

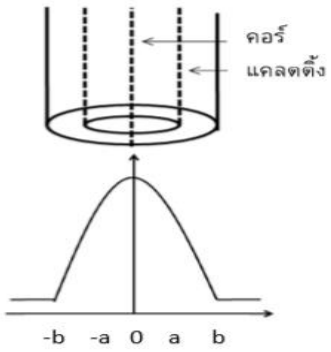
2.1.1.1 ดัชนีหักเหของแสงที่เกิดขึ้นในเส้นใยแก้ว

ก. เส้นใยแก้วชนิดสเต็ปอินเด็กซ์ (Step Index Fiber) หมายถึง เส้นใยแก้วที่ค่าดรรชนีหักเหของคอร์และของแคลดดิ้งมีค่าคงที่ในการแสดงค่าดรรชนีหักเหของ เส้นใยแก้วมักแสดงด้วยลักษณะของกราฟที่แสดงค่าดรรชนีหักเหในแนวภาคตัดขวางหรือหน้าตัดของเส้นใยแก้ว เรียกว่า Refractive Index Profile โดยค่าดรรชนีหักเห จะเป็นฟังก์ชันของรัศมี (r) เส้นใยแก้วชนิดสเต็ปอินเด็กซ์นี้จะมีกราฟเป็นลักษณะเป็นขั้นบันได ซึ่งแสดงให้เห็นถึงค่าดรรชนีหักเหที่มีค่าคงที่แน่นอนช่วงระยะหนึ่งของแนวรัศมีดังแสดงในรูปที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 เส้นใยแก้วชนิดสเต็ปอินเด็กซ์

ข. เส้นใยแก้วชนิดเกรดเด้ดอินเด็กซ์ (Graded-Index) หมายถึง เส้นใยแก้วที่มีดรรชนีหักเหของคอร์เปลี่ยนแปลงไปตามแนวรัศมีที่พุ่งออกจากแกนกลางของเส้นใยแก้วนำแสง โดยทั่วไปที่ตำแหน่งในแนวศูนย์กลางของเส้นใยแก้วจะมีค่าดรรชนีหักเหสูงสุด จากนั้นค่าดัชนีหักเหจะลดลงไปตามระยะทางที่ห่างออกจากแนวศูนย์กลางตามลำดับจนมีค่าเท่ากับค่าดรรชนีหักเหของแคลดดังในตำแหน่งที่คอร์ต่อกับแคลดดิ้งพอดี ดังแสดงในรูปที่ 2.4



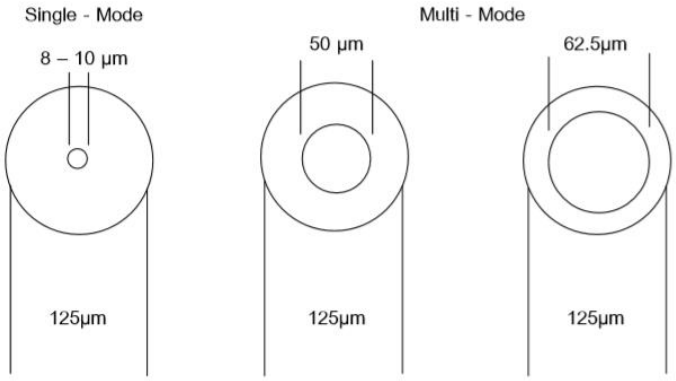
ภาพที่ 2.4 เส้นใยแก้วชนิดเกรดเด้ดอินเด็กซ์

2.1.1.2 โหมดการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้ว

คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงแบ่งแยกได้ตามลักษณะคุณสมบัติของตัวนำแสงที่มีลักษณะการให้แสงเดินทางผ่านคุณสมบัติของเนื้อแก้วนี้จะกระจายแสงออกซึ่งการสะท้อนของแสงกลับต้องเกิดขึ้น โดยผนังแก้วด้านข้างต้องมีดัชนีหักเหของแสงที่ทำให้แสงสะท้อนกลับเพื่อลดการสูญเสียของพลังงานแสง สามารถแบ่งแยกออกเป็นสองแบบคือ แบบโหมดเดี่ยว (Single mode Fiber) และแบบโหมดร่วม (Multi - mode Fiber)

ก. เส้นใยแก้วชนิดโหมดเดี่ยว (Single mode Fiber) เป็นเส้นใยแก้วที่ยอมให้มีโหมดการเดินทางของแสงได้เพียงโหมดเดียว คือโหมดพื้นฐาน (Fundamental Mode) เท่านั้น โครงสร้างของเส้นใยแก้วชนิดนี้มักเป็นชนิดสเต็ปอินเด็กซ์ (SI) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์เล็กมากประมาณ 9 ไมครอน ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดดิ้งมีค่าประมาณ 80 - 125 ไมครอน ซึ่งจะใกล้เคียงขนาดของคลื่นแสง (1300 และ1500 นาโนเมตร) จึงทำให้แสงเดินทางเป็นเส้นตรง ดังนั้นจึงสามารถลดปัญหาที่แสงเดินทางกระจายไปหลายเส้นทางดังที่เกิดกับเส้นใยแก้วชนิดโหมดร่วมได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยการพัฒนาเส้นใยแก้วชนิด Micro ADSS ใช้เส้นใยแก้วชนิดโหมดเดี่ยวในการผลิตและทดลอง

ข. เส้นใยแก้วชนิดโหมดร่วม (Multi - mode Fiber) เป็นสายที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับขนาดของคลื่นแสง โดยมีขนาดตั้งแต่ 500 - 1000 ไมครอน ในขณะที่คลื่นแสงมีขนาดประมาณ 1 ไมครอน (850 และ 1300 นาโนเมตร) จึงทำให้แสงสามารถแพร่กระจายไปในเส้นใยแก้วได้หลากหลายเส้นทาง หรือหลายโหมดจึงถูกเรียกว่า Multimode ซึ่งถูกแบ่งออกไป Step Index Fiber คือสายที่มีดรรชนีการสะท้อนเท่ากันตลอด เมื่อมองตามพื้นที่หน้าตัดของสาย และ Graded Index Fiber เป็นสายที่มีดรรชนีการสะท้อนแสงค่อนๆ เปลี่ยนไปตามพื้นที่หน้าตัดของสาย โดยจะมีดรรชนีการสะท้อนแสงมากที่สุดที่กลางสายแล้วค่อยๆลดลงจนถึงน้อยที่สุดตามระยะทางของสาย แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของเส้นใยแก้วแบบโหมดร่วมและโหมดเดี่ยว

2.2 เคเบิลเส้นใยนำแสง (Optical Fiber Cable)

เคเบิลเส้นใยนำแสง (Optical Fiber Cable) แบ่งตามลักษณะการใช้งาน สามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบ คล้ายแบ่งตามลักษณะการใช้งาน คือ

2.2.1. สายภายใน (Indoor Cable) คือสายเคเบิลเส้นใยนำแสงที่ติดตั้งภายในอาคาร เน้นคุณสมบัติไม่ลามไฟ ตามข้อกำหนดความปลอดภัยมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน NEC (National Electrical Codes) สายชนิดนี้สามารถติดตั้งได้ทั้งภายนอกและภายในอาคาร สายบางชนิดมีคุณสมบัติพิเศษที่เรียกว่า Low Smoke Zero Halogen (LSZH) ซึ่งเมื่อเกิดอัคคีภัยจะเกิดควันน้อยและควันไม่เป็นพิษ เมื่อเทียบกับเปลือกห่อหุ้ม (Jacket) ของสายชนิดอื่นที่จะลามไฟง่ายและเกิดควันพิษ

คุณสมบัติที่สำคัญยิ่ง คือ สามารถโค้งงอได้มากกว่าสายภายนอกอาคาร วิธีการติดตั้งมีหลายแบบ เช่น อาคาร บ้านพักอาศัย ขนาดเล็กของบริการ FTTx การติดตั้งไม่ซับซ้อนแต่ถ้าเป็นอาคารขนาดใหญ่หรือหน่วยงานธุระกิจ การติดตั้งจะมีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ติดตั้งบนCable Ledder, Wireway ,Cable tray, Onduit (PVC,EMT ,IMC ,RAC) หรือวางไว้ใต้ Raised Floor เป็นต้น

2.2.2 สายภายนอก (Outdoor Cable) คือสายเคเบิลเส้นใยนำแสงที่ติดตั้งภายนอกอาคารเริ่มจากอาคารชุมสายที่ให้บริการถึงอาคารผู้รับบริการ สายภายนอกอาคารสามารถจำแนกแบ่งกลุ่มตามลักษณะการติดตั้งใช้งานหลักๆได้ 3 กลุ่ม คือ

2.2.2.1 สายเคเบิลเส้นใยนำแสงแบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable)

สายเคเบิลเส้นใยนำแสงแบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) หรือสายที่แขวนกลางอากาศต้องเจอกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงมากกว่าสายชนิดอื่น โดยทั่วไปจะติดตั้งบนเสาไฟฟ้าแนวต่ำกว่าสายส่งแรงต่ำ การออกแบบสายที่แขวนกลางอากาศต้องออกแบบให้รองรับระยะห่างของช่วงเสา (Span) ระยะตกท้องช้าง (Sag) ต้องรับแรงดึง (Tensile Force) ระหว่างช่วงเสาที่ใช้งานและรองรับ

สภาวะแรงที่เกิดจากลม (Wind Velocity) ไม่น้อยกว่า 144 Km/hr สภาวะจากฝน-ความชื้น ปัจจัยสำคัญการใช้งานระยะยาวต้องทนต่อรังสียูวีจากแสงดวงอาทิตย์ได้ ทั้งนี้อายุการใช้งานเคเบิลเส้นใยนำแสงมาตรฐานกำหนดไว้ที่ 25 ปี

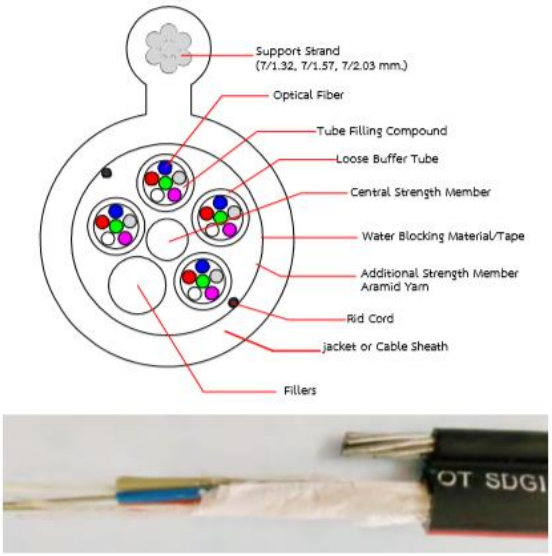
แรงกระทำจากภายนอกรวมทั้งสภาพความเสี่ยงที่คาดการณ์ได้ เช่น น้ำหนักบันไดที่พาดทับบนสายขณะพนักงานขึ้นไปซ่อมบำรุงไฟป่า รถเกี่ยวสายเคเบิล เป็นสาเหตุหนึ่งให้เสาไฟฟ้าล้มเป็นแนวยาวจากแรงดึงของสายสะพาน (Self-Supporting Strand) ของเคเบิลเส้นใยนำแสงและปัญหาที่เริ่มรุนแรงมากขึ้น คือ ชำรุดจากสัตว์กัดแทะ เช่น กระรอก สำหรับเคเบิลใช้งานภายนอก หนู แมลงสาบ จากสายที่ใช้งานภายใน

สายเคเบิลเส้นใยนำแสงแบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) แบ่งได้หลักๆดังนี้

ก. Figure-8 Single Mode optical Fiber Cable (ระบุตามมาตรฐาน มอก. 2166-2548) สายเคเบิลเส้นใยนำแสงแบบแขวนในอากาศ (Aerial Cable) ชนิด Figure-8 Single Mode optical Fiber Cable จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลัก ออกแบบติดตั้งระหว่างจุดกับจุดในอากาศ เช่น ระหว่างเสาไฟฟ้ากับเสาไฟฟ้า ระหว่างสาไฟฟ้ากับอาคาร ระหว่างอาคารกับอาคาร เป็นต้น โครงสร้างสายเคเบิลใยแก้ว ชนิด Figure-8 OFC แสดงดังภาพที่ 2.6 ที่มีสายสะพานอยู่ด้านบนที่มีสายเคเบิลเส้นใยนำแสงอยู่ด้านล่างมีรูปล่างหน้าตัดคล้ายเลข 8 จึงเรียกว่า Figure-8 Single Mode optical Fiber Cable

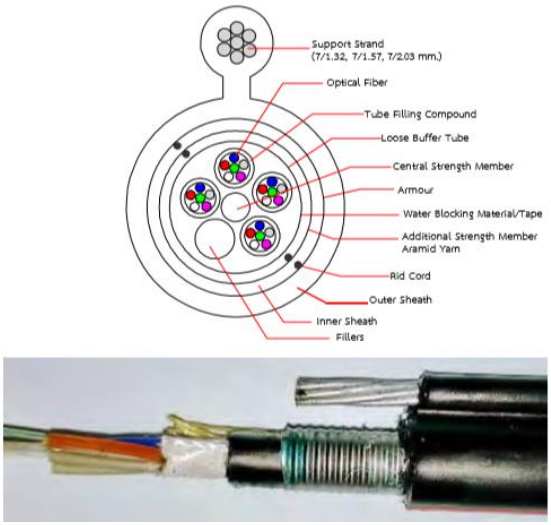
โครงสร้างสายเคเบิลเส้นใยนำแสงประกอบด้วย เส้นใยนำแสงจำนวนสูงสุดไม่เกิน 12F สอดอยู่ใน loose Tube พร้อมอัด Filling Compound ระหว่างช่องว่างของเส้นใยนำแสงกับผนังของ Loose Tube ป้องกันเส้นใยนำแสงเสียหาย จากนั้นจะนำ Loose Tube หลายเส้นรวมตีเกลียวรวมเป็นกลุ่มทรงกลมรอบ Central Strength Member เคเบิลบางขนาดต้องเสริม Filler Rod ที่สร้างจากพลาสติกทรงกลมยาวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ Loose Tube ทดแทนเพื่อให้เมื่อนำ Loose Tube มาตีเกลียวเข้าด้วยกันแล้วได้สมมาตรจำนวนเส้นใยนำแสงของสายเคเบิลตั้งแต่ 12F จนถึง 312F ขึ้นกับการใช้งาน

รอบๆกลุ่ม Loose Tube ตีเกลียวพันด้วย Aramid yarn รองรับแรงดึงหรือ Swell able material ป้องกันน้ำและความชื้นก่อนห่อหุ้มด้วยเปลือก ผลิตจาก HDPF มีสาย Rip Cord 2 เส้นวางตรงข้ามกันช่วยในการปลอกเปลือก ด้านล่างมีแถบสีระบุว่าเคเบิลเส้นนี้เป็นของบริษัทใด เช่น บมจ.TOT ใช้สีแดง เป็นสีประจำบริษัทตามข้อกำหนดของการไฟฟ้า



ภาพที่ 2.6 แบบสาย Figure-8 Single Mode optical Fiber Cable

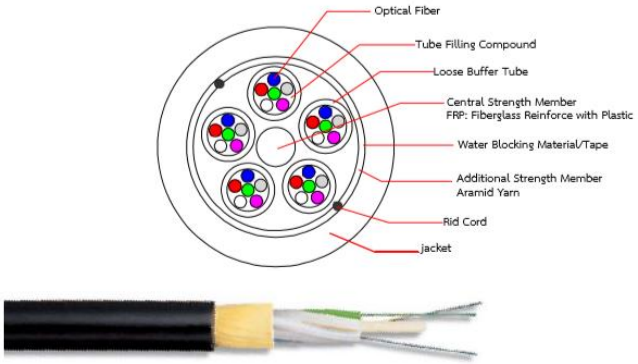
ข. Armoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable (ระบุตามมาตรฐาน มอก.2166-2548) สายเคเบิลเส้นใยนำแสงแบบแขวนในอากาศ Aerial Cable ชนิด Armoured Figure-8 Single Mode optical Fiber Cable จะอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลัก โครงสร้างเหมือนสาย Fig.-8 Single Mode optical Fiber Cable ตำแหน่งการใช้งานทดแทนสาย Fig.-8 Single Mode optical Fiber Cable เดิม แก้ปัญหาบางพื้นที่เจอกระรอกกัดแทะ สายชำรุดเสียหายอย่างรุนแรง สาย Armoured Figure-8 Single Mode optical Fiber Cable แตกต่างเพียงมีแผ่นเหล็กบางรูปคลื่น (Corrugate Armoured Steel) มาห่อหุ้มเส้นใยนำแสงไว้ภายในก่อนห่อหุ้มเปลือกภายนอกคล้ายกับโครงสร้างสาย Figure-8 Single Mode optical Fiber Cable ทดลองใช้งานมาระยะเวลาหนึ่งสามารถป้องกัดสัตว์กัดแทะได้ตามเป้าหมายที่กำหนด



ภาพที่ 2.7 แบบสาย Armoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable

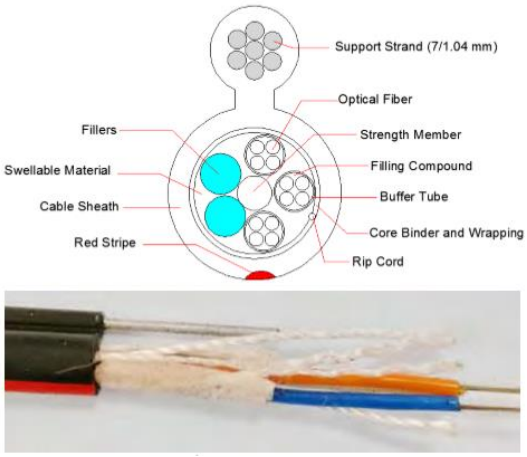
ค. ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode optical Fiber Cable) (ระบุตามมาตรฐาน มอก.2166-2548) สายเคเบิลเส้นใยนำแสงแบบแขวนในอากาศ Aerial Cable ชนิด ADSS OFC (All-Dielectric Self-Supporting Single Mode optical Fiber Cable) จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลักจากที่การไฟฟ้านครหลวงห้ามแขวนสายเคเบิลที่มีสายสะพานกับเสาของการไฟฟ้านครหลวง จากปัญหาเรื่องรถ เรื่องสายสื่อสารซึ่งอยู่ในแนวต่ำสุดของเสาไฟฟ้า สายสะพานดึงให้เสาของการไฟฟ้าล้ม ผู้ให้บริการสื่อสารในประเทศไทยจำเป็นต้องติดตั้งใช้ ADSS OFC ทดแทน

โครงสร้างคล้ายกับสาย Fig.-8 OFC ทุกประการยกเว้นสาย ADSS OFC ไม่มีสายสะพานรับแรงใช้ตัวโครงสร้างที่เป็นแกนกลาง (Central Strength Member) ทำการFRP (Fiberglass Reinforce with Plastic) รับแรงร่วมกับ Aramid Yarn ดังนั้นการออกแบบระยะห่างที่จะแขวนใช้งานผกผันกับราคามาตรฐานทั่วไปกำหนดที่ระยะห่างระหว่างจุดแขวน 40 เมตร จำนวนเส้นใยนำแสงของสายเคเบิลตั้งแต่ 12F จนถึง 312F ขึ้นกับการใช้งาน



ภาพที่ 2.8 แบบสาย ADSS OFC

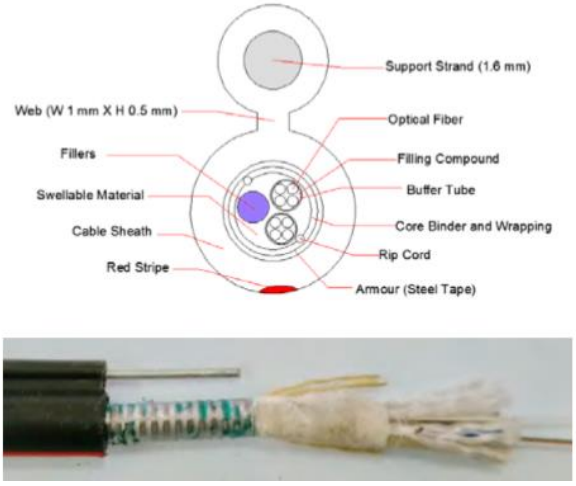
ง. Optical Fiber Cable for Access Service (Dropwire Twisted) (ระบุตามมาตรฐาน มอก.2166-2548) สายเคเบิลเส้นใยนำแสงแบบแขวนในอากาศ Aerial Cable ชนิด Optical Fiber Cable for Access Service (Dropwire Twisted) จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นรอง โครงสร้างคล้ายกับสาย Fig.-8 OFC ย่อส่วนจำนวนเส้นใยนำแสงของสายเคเบิล นิยมผลิต 4ขนาด คือ 4F, 6F, 8F และ 12F ขึ้นอยู่กับการใช้งาน



ภาพที่ 2.9 แบบสาย Dropwire Twisted

จ. Armoured Optical Fiber Cable for Access Service (Armoured Dropwire Twisted) (ระบุตามมาตรฐาน มอก.2166-2548) สายเคเบิลเส้นใยนำแสงแบบแขวนในอากาศ Aerial Cable ชนิด Armoured Optical Fiber Cable for Access Service (Armoured Dropwire Twisted) จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลรอง ตำแหน่งการใช้งานทดแทนสายDropwire Twisted จากปัญหาบางพื้นที่เจอกระรอกกัดแทะสาย ชำรุดเสียหายอย่างรุนแรง

ส่วนงาน บมจ. ทีโอที ที่เกี่ยวข้องร่วมกับนักศึกษาวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไขและทดลองนำแผ่นเหล็กบางรูปคลื่นมาห่อหุ้มบางเส้นใยนำแสงไว้ภายในก่อนที่จะห่อหุ้มเปลือกภายนอกคล้ายกับโครงสร้างสายArmoured Figure-8 Single Mode Optical Fiber Cable ทดลองใช้งานมาระยะเวลาหนึ่ง สามารถป้องกันสัตว์กัดแทะได้ตามเป้าหมายที่กำหนด มีข้อกำหนดมาตรฐาน บมจ.ทีโอที จัดซื้อเข้าระบบคลังพัสดุ กล่าวโดยสรุป Armoured Dropwire Twisted ก็คือ Dropwire Twisted ที่ห่อหุ้มภายนอกด้วย Corrugate Armoured Steel

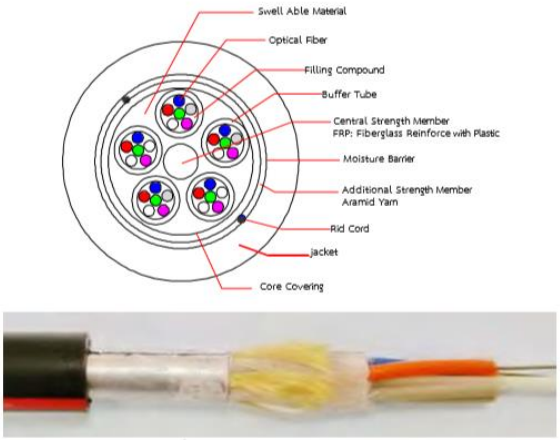


ภาพที่ 2.10 แบบสาย Armoured Dropwire Twisted

2.2.2.2 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดติดตั้งใต้พื้นดิน

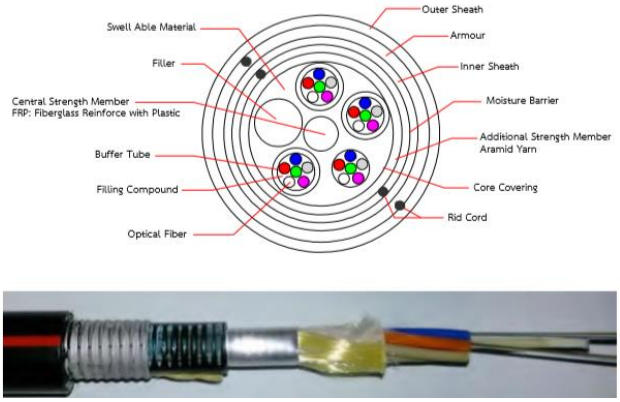
สายเคเบิลใยแก้วนำแสงติดตั้งใต้พื้นดินนิยมติดตั้งใช้งานในเขตเมืองย่านชุมชนหนาแน่นหรือบริเวณที่ต้องการทัศนียภาพที่สวยงาม เช่น โบราณสถาน สายที่ติดตั้งใต้พื้นดินจะปลอดภัยจากสภาพแวดล้อมมากกว่าชนิดที่แขวนบนอากาศ สายเคเบิลใยแก้วนำแสงติดตั้งใต้พื้นดินมีหลักๆ 2 ชนิด คือ

ก. แบบร้อยในท่อ เรียกว่า Optical Fiber Duct Cable (ระบุตามมาตรฐาน มอก. 2165-2548) จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลัก สาย Optical Fiber Duct Cable ออกแบบมาสำหรับติดตั้งในร้อยท่อ โครงสร้างของสายจะไม่มีโลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้า จึงไม่มีปัญหาเรื่องไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากสายส่งไฟฟ้า กรณีที่วางอยู่ใต้ชั้นดินใกล้ๆกันไม่มีปัญหาเรื่องฟ้าผ่า แต่ข้อด้อยของ Optical Fiber Duct Cable คือ จะมีความแข็งแรง ทนทาน ต่ำ การติดตั้งใช้งานจะร้อยไปในท่อ Conduit ,PVC หรือ HDPE (High-Density-Polyethylene)



ภาพที่ 2.11 แบบสาย Optical Fiber Duct Cable

ข. แบบฝังดินโดยตรง เรียกว่า Optical Fiber Direct Buried Cable (ระบุตามมาตรฐาน มอก.2165-2548) จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลัก Optical Fiber Direct Buried Cable ออกแบบมาให้สามารถฝังใต้พื้นดินได้โดยตรง โดยไม่ต้องร้อยท่อโครงสร้างของสายมี Steel Armoured เกราะช่วยป้องกันการกระทำจากภายนอกและเพิ่มความแข็งแรงให้สาย ไม่เหมาะกับการใช้งานในรูปภูมิประเทศที่ดินมีการเคลื่อนตัว

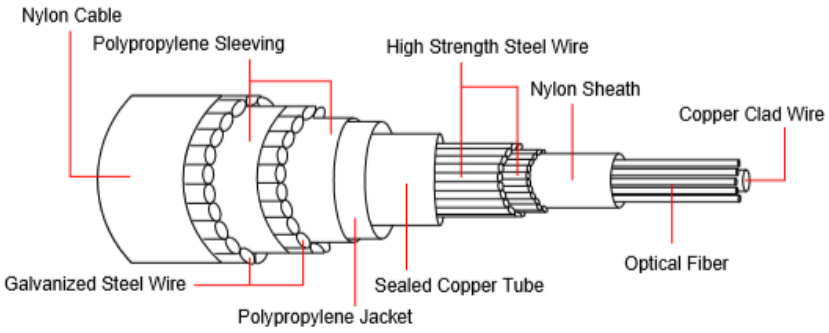


ภาพที่ 2.12 แบบสาย Optical Fiber Direct Buried Cable

2.2.2.3 สายเคเบิลเส้นใยนำแสงติดตั้งใต้น้ำ (Submarine Cable)

สายเคเบิลเส้นใยนำแสงติดตั้งใต้น้ำ (Submarine Cable) ออกแบบให้สามารถอยู่ใต้นำระยะยาว ส่วนมากใช้เชื่อต่อสัญญาณระหว่างประเทศ มีคุณสมบัติพิเศษเพราะต้องวางสายใต้ท้องทะเลหรือมหาสมุทร ส่วนน้อยที่จะวางผ่านแม่น้ำ ทะเลสาบ เนื่องจากราคาค่อนข้างสูง สาย(Submarine

Cable) โครงสร้างออกแบบให้ปิดผนึกอย่างดี โดยมีชั้นโลหะหลายชั้นป้องกันเส้นใยนำแสงชำรุด เสียหาย ไม่นินมมาให้บริการลูกค้ารายย่อยเน้นสื่อสาระหว่างทวีป ประเทศ



ภาพที่ 2.13 แบบสาย Submarine Cable

2.3 ข้อคำนึงในการออกแบบสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

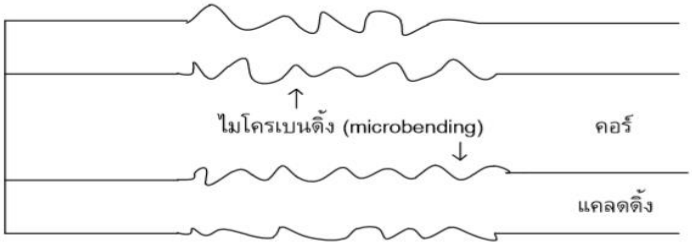
สายเคเบิลเส้นใยแก้วที่ดีต้องได้รับการออกแบบให้ผู้ติดตั้งหรือช่างเทคนิคทั่วไป สามารถทำงานได้เช่นเดียวกับการติดตั้งสายเคเบิลไฟฟ้าธรรมดา นั้นคืออุปกรณ์ที่ใช้ เทคนิคที่ใช้ รวมทั้งเงื่อนไขในการระมัดระวัง ขณะทำการติดตั้งจะต้องมีลักษณะใกล้เคียงกับสายเคเบิลชนิดอื่นๆ ข้อคำนึงในการพิจารณาออกแบบโครงสร้างของสายเคเบิลใยแก้ว พอจำแนกออกเป็นหัวข้อย่อยๆ ได้ดังนี้

2.3.1 ป้องกันการแตกหักของเส้นใยแก้ว

วัสดุที่ใช้ห่อหุ้มเส้นใยในเคเบิลใยแก้วอาจมีหลายชนิดหรือทำเป็นหลายชั้น เพื่อลดแรงกระแทกที่อาจเกิดขึ้นบนสายเคเบิลจากเหตุการณ์ต่างๆ อันจะส่งผลให้แรงอัดที่ส่งต่อจากผิวนอกของสายเคเบิลไปยังเส้นใยแก้วมีค่าน้อยมากหรือแทบไม่มีเลยสายเคเบิลที่ดีควรมีการกำหนดสเป็คของแรงกระแทกสูงสุดที่สายเคเบิลสามารถทดทานได้ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้มีความระมัดระวังในการใช้งานได้มากขึ้น นอกจากนี้วัสดุห่อหุ้มจะต้องถูกชีลด์อย่างดีเพื่อป้องกันการผุกร่อนของเส้นใยหรือบางส่วนของสายเคเบิลอันเนื่องมากจากผลของสภาพแวดล้อมเอง

2.3.2 รักษาคุณสมบัติการนำสัญญาณ

การนำวัสดุอื่นมาห่อหุ้มเส้นใยแก้วต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดการลดทอนประสิทธิภาพในการนำสัญญาณของเส้นใยแก้ว สาเหตุที่อาจทำให้คุณสมบัติการนำสัญญาณมีประสิทธิภาพต่ำลง อาจเกิดจากไมโครเบนดิ้ง (Micro bending) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการหุ้มเส้นใยด้วยโค๊ดดิ้งที่ปล่อยให้วัสดุหุ้มเส้นใยแก้วแข็งตัว (หรือเย็นลง) โดยไม่มีการควบคุมกรรมวิธีหรืออุณหภูมิที่ถูกต้องทำให้แต่ละส่วนของวัสดุที่หุ้มเส้นใยแข็งตัวลงไม่พร้อมกันจนอาจเป็นแรงกระทำต่อเส้นใยแก้วบางส่วนโดยเฉพาะรอยต่อระหว่างคอร์และแคลดดิ้งทำให้เกิดเป็นไมโครเบนดิ้งได้ แสดงดังในภาพที่2.14



ภาพที่ 2.14 การเกิดไมโครเบนดิ้งบริเวณรอยต่อระหว่างคอร์และแคลดดิ้ง

อีกส่าเหตุหนึ่งมาจากการดูดซึมไฮโดรเจน (Hydrogen Absorption) จากวัสดุหุ้มเส้นใยที่มีสารประกอบของธาตุไฮโดรเจนซึมเข้าไปในเส้นใยแก้วซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีเป็นผลทำให้ค่าการลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วมีค่าสูงขึ้น

2.3.3 มีความคงทนแข็งแรง

การติดตั้งที่มีระยะทางไกลมักจะต้องทำการยืดสายเคเบิลระหว่างเสา เช่นเดียวกับสายไฟตัวสายเคเบิลเองก็มีน้ำหนักในตัวมันเองพอสมควร ซึ่งเรียกว่า axial load หากระยะห่างระหว่างเสามีมาก สายเคเบิลก็จะรับน้ำหนักมากทำให้ตัวสายเคเบิลยืดออกตาม แรงหรือน้ำหนักที่รับอยู่หลังติดตั้ง และจะค่อยๆยืดออกเมื่อเวลาผ่านไปนานๆ ในกรณีสายเคเบิลไฟฟ้าส่วนยืดของสายเคเบิลที่เกิดขึ้นจะมีค่าได้มากถึง 20–40 เปอร์เซ็นต์แต่สำหรับสายเคเบิลใยแก้วธรรมดาที่แข็งแรงแล้วไม่ควรจะเกิดความยืดของสายมากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ มิฉะนั้นเส้นใยแก้วจะแตกหักได้ในขณะที่เส้นใยแก้วที่มีคุภาพสูงจะอนุญาตให้เกิดการยืดตัวของสายเคเบิลได้เพียง 0.50 - 1 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากเส้นใยแก้วมีความบอบบางมาก ในทางปฏิบัติสายเคเบิลใยแก้วที่ติดตั้งแล้วจะอนุญาตให้เกิดการยืดตัวของสายได้สูงสุดเพียง 0.2 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นในการทำให้สายเคเบิลใยแก้วมีความคงทนแข็งแรง และรับน้ำหนักได้มากโดยที่เกิดการยืดตัวน้อยจะใช้วัสดุที่ทนแรงดึงได้สูง เช่น โลหะ เป็นแกนสำหรับรับแรงดึงของสาย แต่ในบางครั้งการใช้โลหะเป็นแกนเคเบิลอาจทำให้เกิดผลของการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากสภาพแวดล้อมได้จึงหลีกเหลี่ยงโดยการนำวัสดุเคฟล่า (Kevlar) มาใช้แทนหรือโดยการอัดหรือพันเกลียวจนแน่น เคฟล่าเองมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนที่ดีและมีความ แข็งแรงสูง อีกทั้งป้องกันหรือช่วยลดผลกระทบจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EI : Electromagnetic Interference) ได้ดีอีกด้วย

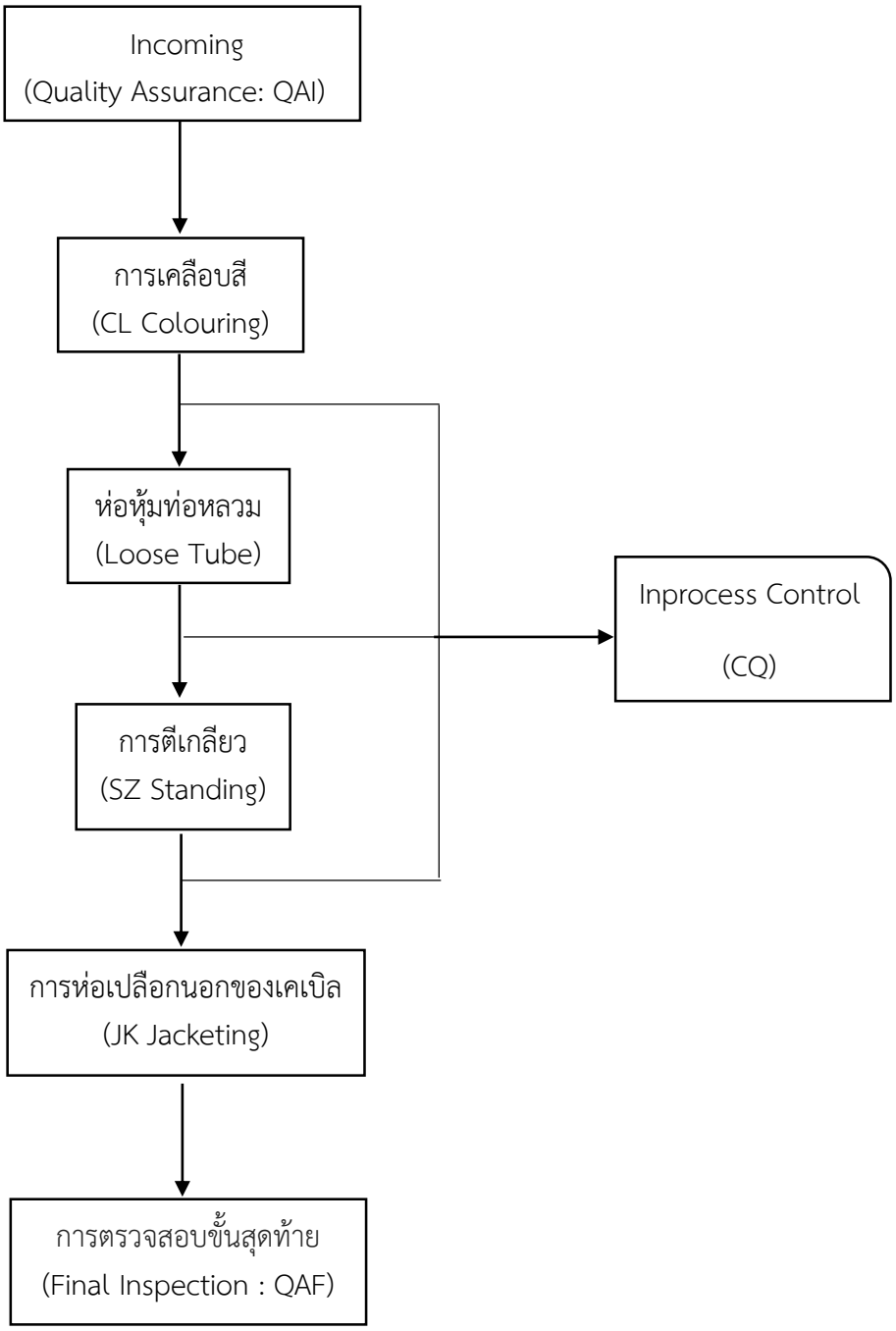
2.3.4 สะดวกในการติดตั้งและซ่อมแซม

นอกเหนือจากการเลือกใช้วัสดุและการออกแบบโครงสร้างของวัสดุสายเคเบิลที่ก่อให้เกิดความแข็งแรงทนทานแล้วยังต้องคำนึงถึงการสร้างสรรค์ส่วนประกอบภายในสายเคเบิลให้เอื้ออำนวยต่อการติดตั้งและซ่อมแซมด้วย สายเคเบิลที่ประกอบด้วยเส้นใยแก้ว จำนวนมากจำเป็นต้องมีการระบุโค๊ดสีของเส้นใยที่แตกต่างกันทำให้ทราบว่าเส้นใยแก้วสีไหนกำลังใช้งานอะไรอยู่ โดยทั่วไปจะใช้สีของโค๊ดติ้ง (coating) หรือเยื่อหุ้มเส้นใยแก้วเป็นเกณฑ์ นอกจากนั้นสายเคเบิลใยแก้วอาจมีส่วนของลวดทองแดงหรือสายไฟแทรกอยู่นอกเหนือจากเส้นใยโดดๆสายไฟที่แทรกอยู่นี้หากมีได้ถูกออกแบบมาให้เป็นสายนำ

สัญญาณสำหรับใช้งานก็จะใช้เป็นเพียงสายสัญญาณชั่วคราว ไว้เชื่อมต่อระหว่างสถานี ในกรณีที่เส้นใยแก้วบางเส้นชำรุดไม่สามารถใช้งานได้ หรืออาจใช้เป็นสายสัญญาณสำหรับการสื่อสารระหว่างสถานีกับวิศวกรสนามในขณะทำการติดตั้งหรือซ่อมแซมสายเคเบิลภายนอกอยู่

2.4 ขั้นตอนการผลิตเคเบิลเส้นใยนำแสง

ขั้นตอนการผลิตเคเบิลเส้นใยนำแสง สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 Incoming เป็นการตรวจสอบวัตถุดิบที่เข้ามาใหม่ก่อนจะส่งไปขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนที่ 2การเคลือบสี โดยการเคลือบสีเพื่อที่ให้สะดวกแก่การติดตั้งจะได้เชื่อมต่อได้ถูกเส้น ขั้นตอนที่ 3 เป็นการห่อหุ้มท่อหลวม เพื่อเป็นการป้องกันเส้นใยนำแสงและยังเป็นการแบ่งสีของท่อหลวมเพื่อให้สะดวกต่อการนำไปติดตั้ง ขั้นตอนที่ 4 การตีเกลียว เป็นขั้นตอนการเสริมวัสดุต่างๆเข้ามาเพื่อป้องกันเส้นใยนำแสง ขั้นตอนที่ 5 การห่อเปลือกนอกของเคเบิล เป็นการห่อหุ้มป้องกันเส้นใยนำแสงชั้นนอกสุดของเคเบิลเส้นใยนำแสง ขั้นตอนที่ 6 การตรวจสอบขั้นสุดท้าย เป็นการนำชิ้นงานไปทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนด ในแต่ละขั้นตอนการผลิตสายเคเบิล จะประกอบด้วยการทดสอบค่าการลดทอน



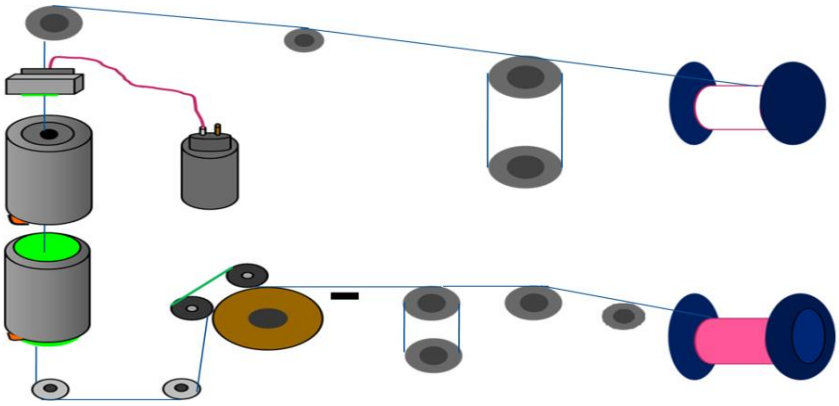
ภาพที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการผลิตเคเบิลเส้นใยนำแสงใยแก้ว

2.4.1 Incoming (Quality Assurance: QAI)

เป็นการตรวจสอบวัตถุดิบที่เข้ามาใหม่ก่อนจะส่งไปขั้นตอนการเคลือบสี (colouring) มีการตรวจสอบ 2 อย่าง คือ Optical Fiber และ Materials

2.4.2 การเคลือบสี (colouring)

เป็นขั้นตอนการผลิตเคเบิลเส้นใยนำแสงจะเริ่มจากการนำเส้นใยแก้วที่ผ่านการเคลือบ โค๊ตติ้ง เรียบร้อยแล้วนำมาใช้ โดยปกติการเคลือบโค๊ตติ้งให้กับเส้นใยแก้วเปลือย มักจะใช้วัสดุใสไม่มีสี ดังนั้นก่อนนำเส้นใยแก้วนี้มาผลิตเป็นเคเบิลเส้นใยนำแสง จึงต้องผ่านกระบวนการเคลือบสี (colouring) ก่อน เพราะเมื่อนำเส้นใยแก้วมาจัดรวมกันไว้ในเคเบิลเส้นใยนำแสงเส้นเดียวกัน จะได้ทราบว่าเส้นใยแก้วเส้นไหนใช้งานอะไร



ภาพที่ 2.10 ขบวนการเคลือบสีเส้นใยแก้ว

ในการเคลือบสีจะใช้การสอดเส้นใยแก้วเข้าไปในกล่องขนาดเล็กที่มีสีบรรจุอยู่ โดยการคล้องเส้นใยแก้วผ่านรอกเข้าสู่กล่องที่มีปากรูขนาดเล็กในการสอดเส้นใยแก้ว เส้นใยแก้วที่เคลื่อนผ่านกล่องเล็กนี้จะถูกเคลือบด้วยสี แล้วจะถูกอบด้วยรังสียูวีหรืออัลตร้าไวโอเลต (UV : Ultraviolet) เพื่อทำให้สีที่เคลือบแห้งก่อนถูกม้วนเก็บที่วงล้อเล็กๆ คล้ายกับหลอดด้ายขนาดใหญ่ เรียกว่า บ๊อบบิ้น (bobbin) ความหนาของสีที่เคลือบลงไปควบคุมความเร็วได้ด้วยการหมุนบ๊อบบิ้น จากนั้นเส้นใยนำแสงที่เคลือบสีแล้ว ก่อนที่จะส่งมอบให้ขั้นตอนต่อไปต้องผ่านการทดสอบดังต่อไปนี้

1. Attenuation ทดสอบทั้งก่อน-หลังเคลือบสี
2. Color Shade ทดสอบการยึดเกาะของสี

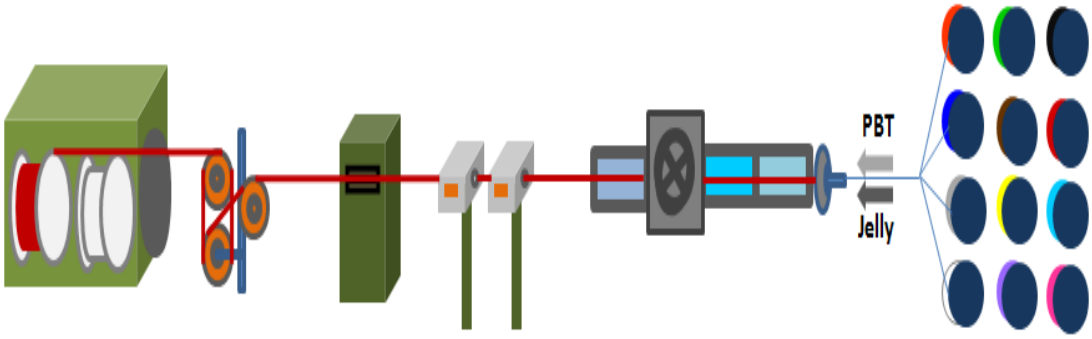
ตารางที่ 2.1 การกำหนดสีโค๊ตติ้งของเส้นใยแก้ว

ลำดับเส้นใยแก้ว	สีที่เคลือบเส้นใยแก้ว
1	น้ำเงิน (blue)
2	ส้ม (orange)
3	เขียว (green)
4	น้ำตาล (brown)
5	เทา (slate)
6	ขาว (white)
7	แดง (red)
8	ดำ (black)
9	เหลือง (yellow)
10	ม่วง (violet)
11	ชมพู (rose)
12	ฟ้า (aqua)

การกำหนดสีของเส้นใยแก้ว เพื่อความสะดวกในการระบุเส้นใยแก้วที่รวมกันไว้หลายๆ เส้นในเส้นใยนำแสง โดยทั่วไปมักจะกำหนดสีตามตารางที่ 2.1

2.4.3 การห่อหุ้มท่อหลวม (loose tube)

ในการออกแบบเคเบิลเส้นใยนำแสง มักจะจัดรวมเส้นใยแก้วหลายๆเส้นเข้าไว้ในท่อเล็กๆ ที่ความทนทานแข็งแรง โดยจัดให้เส้นใยแก้วมีความอิสระในการเคลื่อนไหวได้ เรียกว่า ท่อหลวม (loose tube) จากนั้นจึงนำท่อหลวมแต่ละท่อมาจัดรวมกันอีกที ขึ้นอยู่กับการออกแบบเคเบิลเส้นใยนำแสงให้มีใยแก้วจำนวนเท่าไหร่ ในการนำเส้นใยแก้วมาจัดรวมกันหลายเส้นไว้ในท่อหลวม



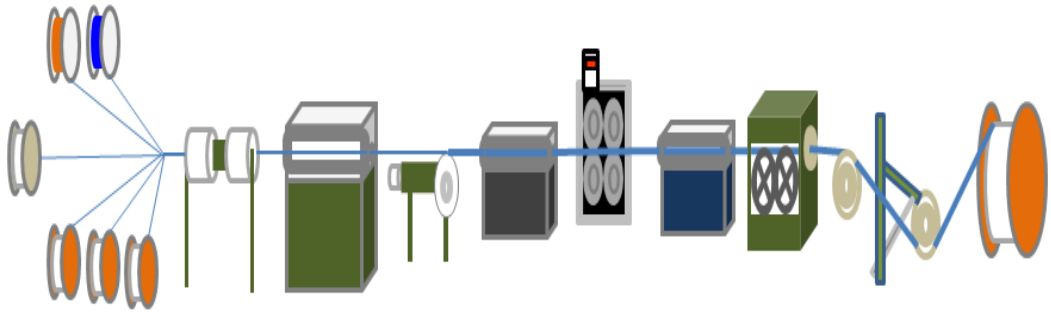
ภาพที่ 2.11 ขบวนการห่อหุ้มเส้นใยแก้วหลายๆ เส้นในท่อหลวมเดียว

ในการจัดให้เส้นใยแก้วบรรจุอยู่ภายในท่อ จะไม่ใช้วิธีการสอดเส้นใยแก้วเข้าไปในท่อหลวม แต่เป็นการหล่อท่อขึ้นมาหุ้มเส้นใยแก้ว โดยใช้เครื่องฉีดพลาสติกเป็นตัวหล่อท่อ เส้นใยแก้วที่บรรจุไว้ในท่อหลวมหลังการหล่อและท่อแข็งตัวดีแล้ว จะถูกม้วนจัดเก็บเพื่อเตรียมใช้งานในกระบวนการต่อไป ซึ่งเป็นการนำท่อหลวมหลายๆ ท่อมาม้วนตีเกลียวดังรูปที่ 2.11 จากนั้นก่อนที่จะส่งมอบให้ขั้นตอนต่อไป ต้องผ่านการทดสอบดังต่อไปนี้

- loose tube Structure
- Fiber Excess Length
- Attenuation

2.4.4 การตีเกลียว (SZ Stranding)

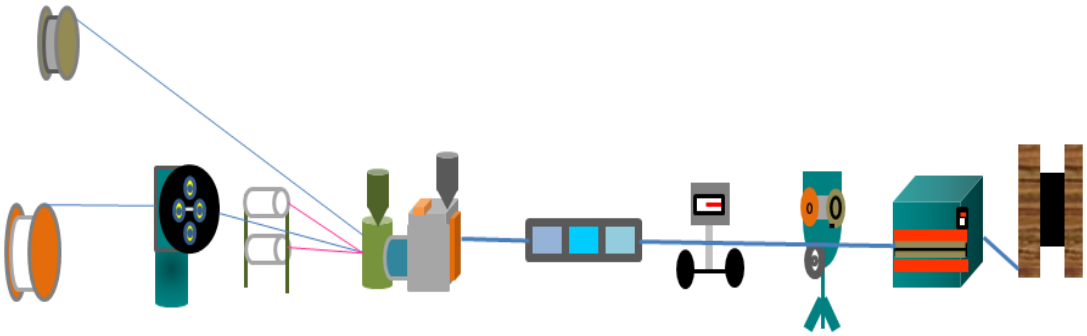
ในการตีเกลียวท่อหลวมหลายท่อให้รวมกันเป็นสาย จะกระทำโดยรอบแกนกลาง ที่เป็นวัสดุที่มีความทนทานแข็งแรงและสามารถรับแรงดึงได้มาก เรียกว่า แกนรับแรงดึง หรือ tension member วัสดุส่วนนี้จะใช้รับแรงดึงที่เกิดจากน้ำหนักของเคเบิลเส้นใยนำแสง หรือ แรงกระทำจากภายนอกในขณะทำการติดตั้งและในสภาวะใช้งานหลังจากการติดตั้งเสร็จ รอบแกนรับแรงดึงจะประกอบไปด้วยท่อหลวมหลายท่อเรียงต่อกันเป็นเส้นรอบวงเพื่อให้ได้จำนวนเส้นใยแก้วที่ต้องการ ถ้าหากจำนวนเส้นใยแก้วที่กำหนดมีไม่มาก จะทำให้จำนวนท่อหลวมที่ต้องการไม่สามารถจัดเรียงได้เต็มรอบ จะใช้ท่อตันเทียม เรียกว่า แท่งเสริม หรือ filler rod จัดวางแทรกเข้าไป โดยขนาดของแท่งเสริมนี้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันท่อหลวมที่ใช้บรรจุเส้นใยแก้ว เมื่อจัดเรียงท่อหลวมรอบแกนรับแรงดึงแล้ว ก็จะนำเข้าเครื่องตีเกลียวเพื่อม้วนท่อหลวมให้พันรอบแกนรับแรงดึง ให้ตีเกลียวในลักษณะตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาสลับกันไปเป็นช่วงๆ เรียกว่าการตีเกลียวแบบ SZ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการพันกันของท่อหลวม ทำให้เกิดความสะดวกในการติดตั้ง และซ่อมบำรุงเคเบิลเส้นใยนำแสงเส้นใยแก้ว เส้นใยแก้วที่ถูกม้วนตีเกลียวแล้วจะถูกมัดด้วยเชือกเล็กๆเพื่อไม่ให้แตกออกจากกัน ก่อนที่จะพันด้วยเชือกเส้นเล็กๆ อาจจะใส่อะรามิดยาน หรือเทปกันน้ำก่อนพันก็เป็นได้ขึ้นอยู่กับชนิดของเคเบิลเส้นใยนำแสงใยแก้ว เส้นใยแก้วที่ตีเกลียวแล้วจะถูกม้วนเก็บก่อนนำไปประกอบในขบวนการห่อหุ้มให้มีลักษณะเป็นเคเบิลเส้นใยนำแสงต่อไป



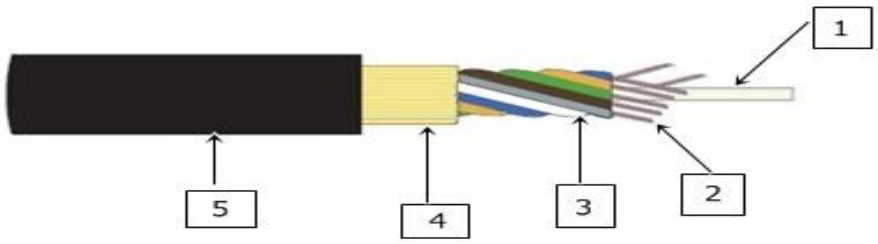
ภาพที่ 2.12 การม้วนตีเกลียวสำหรับท่อหลวมหลายท่อเข้าด้วยกัน

2.4.5 การห่อเปลือกนอกของเคเบิล (JK Jacketing)

กระบวนการสุดท้ายในการผลิตเคเบิลเส้นใยนำแสง โดยการห่อหุ้มเส้นใยแก้วหลายๆ เส้นในท่อหลวมที่ถูกตีเกลียวแบบ SZ แล้ว ด้วยการหล่อผนังภาบนอกด้วยวัสดุที่มีความคงทน แข็งแรง ซึ่งในกระบวนการห่อหุ้มเคเบิลเส้นใยนำแสงนี้จะมีกรรมวิธีแตกต่างกันออกไปตามชนิดและประเภทของเคเบิลเส้นใยนำแสง เช่น พันด้วยเทปกัน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อการกันน้ำรวมทั้งยังมีการพิมพ์รหัสและรายละเอียดของเส้นใยแก้วลงไปที่ผิวด้านนอกของเคเบิลเส้นใยนำแสง เช่น ชนิด และเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นต้น



ภาพที่ 2.13 การห่อหุ้มเคเบิลเส้นใยนำแสงใยแก้ว



ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างโครงสร้างของเคเบิลเส้นใยนำแสงใยแก้ว

จากรูป 2.14 แสดงตัวอย่างของเคเบิลเส้นใยนำแสงเส้นแก้ว โดยมีรายละเอียดดังนี้ 1. แกนรับแรงดึง 2. เส้นใยแก้ว (optic fiber) 3. ท่อหลวม (loose tube) 4. เทปกันน้ำ (water block tap) 5. แจ๊คเก็ต (jacket) นอกเหนือจากนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสาย หรือลูกค้าที่ต้องการเพิ่มเติมอะไรเข้าไป เช่น อะรามิดยาน (aramid yarn) โลหะบาง เป็นต้น

2.4.6 การตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final Inspection Quality Assurance: QAF) เป็นการนำชิ้นงานไปทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนด การทดสอบมีดังนี้

- Tensile Loading Test
- Impact Resistance Test

- Crush/ Compression Test
- Repeat Bending / Flexing Test
- Cable Bending Test
- Torsion/ Twist Test
- Temperature Cycling
- Water Penetration

2.5 ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญและการทดสอบ

ในการพิจารณาพารามิเตอร์และการทดสอบเคเบิลเส้นใยนำแสงจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.5.1 พารามิเตอร์ทางแสง (Optical parameters) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่เป็นผลจากเส้นใยนำแสงที่บรรจุภายในเคเบิลเส้นใยนำแสงโดยตรง ได้แก่

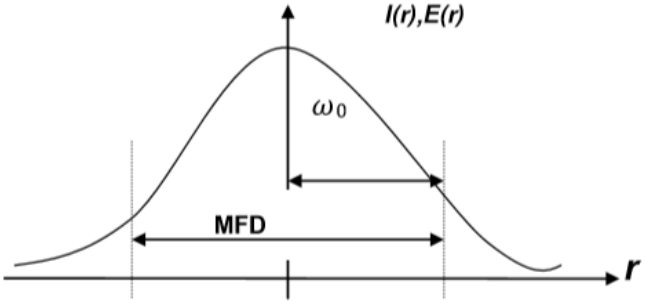
- Attenulation (มาตรฐาน ITU-T G.650) ค่าการลดทอนสัญญาณของแสงในเส้นใยแก้วหรือเรียกว่า การลดทอนสัญญาณเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ทำให้แสงที่เดินทางในเส้นใยที่เส้นใยแก้วมีค่าการลดทอนสัญญาณต่ำ ทำให้แสงสามารเดินทางไปได้ไกล โดยปกติเส้นใยแก้วแต่ละชนิดจะมีค่าการลดทอนสัญญาณไม่เท่ากัน อีกทั้งเส้นใยแก้วเส้นเดียวกันก็ยังมีค่าการสดทอนสัญญาณทีไม่เท่ากัน เมื่อแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนั้นมีความยาวคลื่นแตกต่างกัน

- Chromatic Dispersion (CD.) (มาตรฐาน ITU-T G.650) มีสาเหตุมาจากแสงที่มีสี หรือความยาวคลื่นต่างกันเดินทางไปถึงปลายทางไม่พร้อมกัน Chromatic Dispersion มีผลกระทบต่อ Data Rate เนื่องจากค่าดัชนีหักเหของ Core ขึ้นอยู่กับค่าความยาวคลื่นแสง แสงความยาวคลื่นสูงจะมีค่าดัชนีหักเหต่ำ ทำให้แสงความยาวคลื่นสูงเดินทางได้เร็วกว่าแสงความยาวคลื่นสั้น ดังนั้นการส่งสัญญาณหลายหลายคลื่นแสงไปยังเส้นใยแก้วนำแสงจะส่งผลให้สัญญาณของแต่ละคลื่นแสงมีการ Spread ของเวลาที่แตกต่างกัน เป็นผลให้สัญญาณที่ปลายทางมีการ Spread มากยิ่งกว่าสัญญาณที่ต้นทาง

- Polarization Mode Dispersion (PMD.) (มาตรฐาน ITU-T G.650) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในเส้นใยแก้ว ชนิด Single mode (ในเส้นใยแก้วชนิด Multimode เกิดขึ้นได้น้อยจนสามารถละเลยได้) PMD เกิดจากการบานออกของสัญญาณพัลล์ที่เป็นผลมาจากการโพลาไรซ์เซชั่นของแสงที่เดินทางภายในเส้นใยแก้วต่างกัน จึงทำให้เกิดการเลื่อมล้ำกันทางด้านเวลา ที่เรียกว่า Differential Group Delay (DGD) โดยหน่วยของ PMD คือ PS/square (km.) สาเหตุของการเกิด PMD อาจมีสาเหตุมา จากการโค้งงอของเส้นใยแก้ว การกดทับเส้นใยแก้ว อุณหภูมิ หรืออาจเป็นผลจากการผลิตเส้นใยแก้วเนื่องจากสารที่เคลือบเส้นใยแก้วเองจึงทำให้ดัชนีการหักเหของแสงภายในเส้นใยแก้วต่างกัน หรือ เรียกว่าไบรีฟินเจนต์

- Cut–off wavelength (มาตรฐาน ITU-T G.650) การนำเส้นใยแก้วชนิดโหมดเดี่ยวมาใช้งานต้องทราบค่าความยาวคลื่นคัทออฟ เนื่องจากหากใช้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าความยาวคลื่นคัทออฟส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วที่ออกแบบให้เป็นชนิดโหมดเดี่ยวจะมีพฤติกรรมเป็นโหมดร่วมไปทันที

- Mode Field Diameter (มาตรฐาน ITU-T G.650) ของแสงที่ผ่านจากชั้นคอร์ไปสู่แคลดดิ้ง กล่าวคือลำแสงของโหมดพื้นฐาน ที่เดินทางในเส้นใยแก้วชนิดโหมดเดียว มักมีลักษณะการแจกแจงพลังงานในลักษณะของการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian distribution) หรือรูปแบบระฆังคว่ำ คือจะมีค่าความเข้มแสงสูงสุดในแนวแกนกลางของเส้นใยแก้ว จากนั้นจะมีค่าลดลงไปเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่องตามรัศมี (r) ที่ห่างออกไปจนมีค่าเป็นศูนย์การวัดค่าMFD มีประโยชน์ในการช่วยทำนายค่าการสูญเสียสัญญาณรวมทั้งจุดเชื่อมต่อต่างๆของเส้นใยแก้ว



ภาพที่ 2.16 ลักษณะการแจกแจงพลังงานในลักษณะของการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian distribution)

ที่ระยะรัศมีที่ทำให้ค่าความเข้มแสงลดลงเหลือเพียง 1/e2 = 0.135 ของค่าสูงสุดจะเรียกรัศมีนี้ว่าขนาดของจุด (spot size) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ ω_0 ในรูปโดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโหมดสนามหรือMFD (Mode Field Diameter) จะมีค่าเท่ากับสองเท่าของขนาดจุด ($2\omega_0$)

- Cladding & Core Diameter (มาตรฐาน ITU-T G.650) เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์และแคลดดิ้ง

- Core / Cladding Concentricity error (มาตรฐาน ITU-T G.650) เป็นการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลางระหว่างคอร์และแคลดดิ้ง

- Cladding non-circularity (มาตรฐาน ITU-T G.650) เป็นการวัดค่าความไม่เป็นวงกลมของเส้นใยแก้วชั้นแคลดดิ้ง

2.5.2 การทดสอบทางกลของเคเบิล (Mechanical Test) เป็นการทดสอบทางกลของเคเบิลเส้นใยนำแสงให้เป็นไปตามข้อกำหนด ได้แก่ การทดสอบ

- Tensile Loading Test (มาตรฐาน IEC 60794-1-2 Method E1)
- Impact Resistance Test (มาตรฐาน IEC 60794-1-2 Method E4)
- Crush/ Compression Test (มาตรฐาน IEC 60794-1-2 Method E3)

- Repeat Bending / Flexing Test (มาตรฐาน IEC 60794-1-2 Method E8)
- Cable Bending Test (มาตรฐาน IEC 60794-1-2 Method E11 B)
- Torsion/ Twist Test (มาตรฐาน IEC 60794-1-2 Method E7)
- Temperature Cycling (มาตรฐาน IEC 60794-1-2 Method F1)
- Water Penetration (มาตรฐาน IEC 60794-1-2-F5)

การทดสอบเคเบิลของโรงงานผู้ผลิตจะขึ้นอยู่กับประเภทของเคเบิลและข้อกำหนดของลูกค้า ดังตัวอย่างตามเอกสารแนบ 1

2.6 สาเหตุการปรับปรุงโครงสร้างของเคเบิลให้มีขนาดเล็กลง

2.6.1 เพื่อให้สอดคล้องกับแผนการจัดระเบียบสายสื่อสาร และการนำสายสื่อสารลงใต้ดิน พ.ศ. 2560 ปัจจุบันการขยายตัวของอุตสาหกรรมโทรคมนาคมมีเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานครที่มีความหนาแน่นของประชากรมาก ทำให้มีการวางโครงข่ายหลายบริษัท ในหลายพื้นที่จึงมีสายสื่อสารรกรุงรัง ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน สำนักงาน กสทช. ได้มีนโยบายหลักในการดำเนินงาน สำหรับปี พ.ศ. 2560 ในเรื่องการนำสายสื่อสารลงดิน และการจัดระเบียบสายสื่อสาร ที่สอดรับกับนโยบายเปลี่ยนสายอากาศเป็นระบบสายไฟฟ้าใต้ดินของรัฐบาล (โดยการนำของพลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี) เพื่อรองรับปริมาณความต้องการใช้งานในสังคมเศรษฐกิจดิจิทัล และการเป็นมหานครแห่งอาเซียน โดยจะดำเนินการร่วมกับการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) กรุงเทพมหานคร สำนักงานตำรวจแห่งชาติสมาคมโทรคมนาคมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคม เพื่อสร้างทัศนียภาพที่สวยงาม และความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน และก่อให้เกิดการใช้โครงสร้างพื้นฐานโทรคมนาคมร่วมกันเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อประเทศชาติ

2.6.2 เพื่อการปรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าแบบเหนือดินเป็นเคเบิลใต้ดิน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (สำนักงานใหญ่) กรณีศึกษา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพการ ดำเนินงานในปัจจุบันศึกษาปัญหาอุปสรรคและศึกษากระบวนการขับเคลื่อนเพื่อนำ เสนอแนวทางในการ ปรับปรุงแก้ไขการจัดการปรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าแบบเหนือดินเป็นเคเบิลใต้ดินของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผลการวิจัยพบว่า สภาพการดำเนินงานในปัจจุบันส่วนใหญ่มีความเห็นว่า การปรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าแบบเหนือดินเป็นเคเบิลใต้ดินเป็นเรื่องของการปรับปรุงทัศนียภาพของเมืองท่องเที่ยวใหญ่ๆ ให้เป็นเมืองที่น่าอยู่ คิดเป็นร้อยละ 87 ปัญหาอุปสรรคในการจัดการปรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าแบบเหนือดินเป็นเคเบิลใต้ดินส่วนใหญ่มีความเห็นว่าการกำหนดจุดติดตั้งระบบไฟฟ้าในครั้งแรกนั้น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่มีการประสานงานกับชาวบ้านไว้ก่อนเมื่อเข้าดำเนินการก่อสร้างปรากฏว่าเจ้าของบ้านบริเวณที่จะก่อสร้างไม่

ยินยอมให้ใช้พื้นที่ ต้องเสียเวลาเจรจาหาตำแหน่งติดตั้งใหม่ซึ่งต้องใช้เวลาออกแบบและขออนุญาตกรมทางหลวงใหม่ทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 87

2.6.3 เพื่อลดการใช้ทรัพยากรโดยการเพิ่มขีดความสามารถของเคเบิลที่มีขนาดเล็กลงให้สามารถมากกว่าหรือเท่ากับเคเบิลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน กล่าคือ เมื่อเคเบิลมีขนาดเล็กลง ปริมาณวัตถุดิบก็จะลดลงที่ใช้ผลิตเคเบิลก็จะลดลง ราคาเคเบิลก็จะลดลง ค่าแรงงานในการติดตั้งก็จะลดลง ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวข้องก็จะลดลงด้วย เป็นผลให้ความสนใจของตลาดในการลดขนาดของเคเบิลเพิ่มมากขึ้นและมีแนวโน้มว่าเคเบิลขนาดเล็กจะครองตลาดในอนาคต

2.7 ข้อกำหนดการแขวนสายสื่อสารของการไฟฟ้าที่พูดถึงพื้นที่หน้าตัดรวม

- การพาดสายสื่อสารโทรคมนาคมบนเสาไฟฟ้าตามเส้นทางที่ได้รับอนุญาต หากมีสายกระจาย (Drop Wire) ทองแดงของผู้ขออนุญาตที่พาดอยู่เดิมเกินที่กำหนด 10 คู่สาย ผู้ขออนุญาตต้องดำเนินการเปลี่ยนแปลงสายกระจาย (Drop Wire) เป็นสายเคเบิลทองแดงก่อน หรือหากมี สายกระจาย (Drop Wire) เส้นใยแก้วนำแสงของผู้ขออนุญาตที่พาดอยู่เดิมเกินที่กำหนด 5 เส้น ผู้ขออนุญาตต้องดำเนินการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้ไม่เกินกำหนด 5 เส้น

- ระดับการพาดสายและหรือติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารโทรคมนาคม ให้พาดสายสื่อสารโทรคมนาคมบนเสาไฟฟ้าที่ระดับความสูง 4.40-4.80 เมตร จากระดับพื้นหรือทางเทา แล้วแต่กรณี

- ให้พาดสายสื่อสารโทรคมนาคมบนเสาไฟฟ้าที่ปักคร่อม ตรอก ซอย หรือถนนที่มีทางเดินรถกว้างพอที่รถบรรทุก หรือรถรับส่งผู้โดยสารขนาดใหญ่วิ่งผ่าน เข้า-ออก ได้ที่ระดับความสูง 5.50-5.90 เมตร จากระดับทางเดินรถที่มีรถบรรทุกหรือรถรับส่งผู้โดยสารขนาดใหญ่ผ่าน

- ให้ติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารโทรคมนาคมบนเสาไฟฟ้าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนดขึ้นในระดับความสูงตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด 4.40-5.50 เมตร จากระดับพื้น หรือทางเท้าหรือทางเดินรถแล้วแต่กรณี หรือตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเห็นสมควร

- การพาดสายและหรือติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารโทรคมนาคมต้องติดตั้งให้มีระดับ ที่ต่ำกว่าแนวสายไฟฟ้าแรงต่ำหรือระดับติดโคมไฟถนนไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร

- ให้ทำวงรอบเคเบิล (Cable Loop) ได้เฉพาะจุดหัวต่อหรือก่อนเข้าตู้โหนดหรือตู้กระจายสาย (ODF) แต่ละวงมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 60 เซนติเมตร และมีความยาวไม่เกิน 15 เมตร หนึ่งเสาไฟฟ้า 1 ต้น ให้มีวงรอบเคเบิล (Cable Loop) รวมกันได้ไม่เกิน 2 วงรอบ รวมทั้งห้ามทำวงรอบเคเบิล (Cable Loop) ที่ระหว่างเสาไฟฟ้า (Span) เป็นอันขาด

2.8 ปัญหาความไม่เป็นระเบียบของสายสื่อสาร

ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้อนุญาตให้หน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนพาดสายและติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารบนเสาไฟฟ้า เพื่อใช้ในกิจการของตนเองและการบริการแก่สาธารณะ ทำให้เสาไฟฟ้าต้องแบกรับสายสื่อสารมากมาย เช่น สายสัญญาณอินเทอร์เน็ต สายเคเบิลทีวี สายอ๊อพติคไฟเบอร์ สายกล้องวงจรปิด เป็นต้น ซึ่งการเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ทำให้สายและอุปกรณ์สื่อสารจำนวนมาก ทั้งที่ใช้งานและไม่ได้ใช้งานระโยงระยางอยู่บนเสาไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งมีทั้งที่พาดอย่างถูกกฎหมายและผิดกฎหมาย

สร้างความร่วมมือ จัดระเบียบสายสื่อสาร

เมื่อเล็งเห็นว่าสายสื่อสารที่มีมากเกินไป ทำให้เกิดผลกระทบได้หลายทาง ซึ่งหนึ่งในนั้นคือทัศนียภาพของเมืองที่ดูไม่งามตา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจึงดำเนินการจัดระเบียบสายและอุปกรณ์สื่อสารโทรคมนาคมบนเสาไฟฟ้าอย่างเข้มข้นและจริงจัง และเพื่อให้เกิดการทำงานที่ราบรื่น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ตั้งคณะกรรมการเพื่อดูแล

– กำหนดแนวทาง action plan เพื่อเร่งรัดการจัดระเบียบสายและอุปกรณ์สื่อสารโทรคมนาคมบนเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ให้เกิดประสิทธิผลรวดเร็วถูกต้อง เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด

– ผลักดันให้เกิดการทำงานที่เป็นรูปธรรมและเหมาะสม

– ติดตามผลการปฏิบัติงานจัดระเบียบสาย และรายงานต่อคณะกรรมการการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นรายเดือน

– พิจารณาและกำหนดแนวทางการทำงานอย่างเหมาะสม ทั้งในส่วนของการแก้ไขปัญหา ป้องกันการละเมิดและปราบปรามการละเมิดพาดสายและการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารโทรคมนาคมโดยไม่ได้รับอนุญาต

– ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อขับเคลื่อนการทำงานในระดับนโยบายระหว่างหน่วยงานโดยคำนึงถึงระบบหน่วยงานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นสำคัญ

– สื่อสาร สร้างความรู้ความเข้าใจ และขับเคลื่อนการดำเนินงานการจัดระเบียบสายและอุปกรณ์สื่อสารโทรคมนาคมบนเสาไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง