การพัฒนาโปรแกรมเพื่อตรวจสอบความเสียหายภายในโครงข่ายระบบใยแสง

DEVELOPMENT OF INSPECTION PROGRAM FOR OPTICAL FIBER NETWORK

รุ่ง พงกอไม้

ROONG FONGDOKMAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-061-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อตรวจสอบความเสียหายภายในโครงข่ายเคเบิลใยแสง

DEVELOPMENT OF INSPECTION PROGRAM FOR OPTICAL FIBER NETWORK

T039329

รุ่ง พวงดอกไม้

ROONG PONGDOKMAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-061-8

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 39329
วัน, เดือน, ปี 24 มิ.ย. 2544
b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF INSPECTION PROGRAM FOR OPTICAL FIBER NETWORK

ROONG PONGDOKMAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2001

ISBN 974-648-061-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาโปรแกรมเพื่อตรวจสอบความเสียหายภายในโครงข่ายเคเบิลใยแสง

DEVELOPMENT OF INSPECTION PROGRAM FOR OPTICAL FIBER NETWORK

ชื่อนักศึกษา นายรุ่ง พวงดอกไม้

รหัสประจำตัว 39061082

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ถวิล พึ่งมา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ชวลิต เบญจางคประเสริฐ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวภาค	
รศ.ดร.ยุทธพงษ์	รังสรรค์เสรี	
ดร.สุทธิชัย	นพนาคีพงษ์	
ศ.มนูญ	สุขเกษม	
รศ.ดร.ถวิล	พึ่งมา	

วัน/เดือนปี ที่สอบ 29 มกราคม 2544 เวลา 12.00-13.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....5.....**เดือน**.....กุมภาพันธ์.....**พ.ศ**.....2544.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาโปรแกรมเพื่อตรวจสอบความเสียหายในโครงข่ายเคเบิลใยแสง
นักศึกษา	นายรุ่ง พวงดอกไม้
รหัสประจำตัว	39061082
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. ถวิล พึ่งมา
	ผศ. ชวลิต เบญจางคประเสริฐ

บทคัดย่อ

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ นำเสนอถึงการพัฒนาระบบแสดงผลจุดชำรุดในโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลร่วมกับเครื่องมือทดสอบที่เรียกว่า OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) รวมถึงการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบความยาวระหว่างสายเคเบิลและเส้นใยแก้วนำแสงที่บรรจุอยู่ภายใน และการจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข่ายสายเคเบิลอย่างเป็นระเบียบภายหลังจากการติดตั้งระบบเชื่อมโยงโทรคมนาคมเสร็จสมบูรณ์ การทดลองแสดงผลอาศัยข่ายสายเคเบิลใยแก้วนำแสงของการสื่อสารแห่งประเทศไทยระหว่างสถานีรามอินทราและสถานีจระเข้บัว ซึ่งผลการทดลองสามารถระบุตำแหน่งชำรุดดังกล่าวลงในแบบหรือแผนที่ (Drawing) ได้อย่างแม่นยำตลอดความยาวของสายเคเบิล ทำให้การค้นหาเพื่อซ่อมแซมแก้ไขให้ระบบกลับคืนสู่สภาวะปกติ ดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development of Inspection Program for Optical Fiber Network
Student	Mr. Roong Pongdokmai
Student ID.	39061082
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2001
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Tawil Pungma
	Asst. Prof. Chavalit Benjangkaprasert

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to present the development of the fault location display system in optical cable network on personal computer together with the OTDR (Optical Time Domain Reflectometer). There is also the calculation comparing the length of the cable and the optical fiber contained inside as well as the proper data collection of the optical cable networks. The experimentation was carried out on the Communication Authority of Thailand's optical cable network between Ramintra Telecommunication Office and Jorakhebua Telecommunication Office. The results indicated the fault location in the map or the drawing precisely throughout the length of the cable. This enables the search for the fault location points and the restoration to be done rapidly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ. ดร. ถวิล พึ่งมา ผศ. ชวลิต เบญจางคประเสริฐ และ อ. พิเชฐ ม่วงนวล ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ การสื่อสารแห่งประเทศไทย ที่สนับสนุนและอนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับทำการศึกษาวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ เพื่อนนักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจและแก้ไขในส่วนที่ผิดพลาดจนสำเร็จอย่างสมบูรณ์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รุ่ง พวงดอกไม้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....1

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ขอบเขตการศึกษา.....2

1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....3

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น.....4

1.7 ข้อจำกัดของการศึกษา.....4

บทที่ 2 เคเบิลใยแก้วนำแสง.....5

2.1 โครงสร้างของแกนเคเบิล.....5

2.1.1 โครงสร้างของแกนเคเบิลชนิด Loose construction.....6

2.1.1.1 Loose Tube.....7

2.1.1.2 Loose fiber bundle.....11

2.1.1.3 Slotted core.....12

2.1.1.4 Ribbon.....13

2.1.2 โครงสร้างของแกนเคเบิลชนิด Tight construction.....14

2.2 เคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ.....16

2.2.1 เคเบิลชนิดปราศจากตัวนำไฟฟ้า (Dielectric cable).....16

2.2.2 เคเบิลชนิดผสม (Hybrid cable).....16

2.2.3 เคเบิลใต้มหาสมุทร (Ocean cable).....17

2.3 เปลือกหุ้มเคเบิล (Sheath).....18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.4 การกำหนดรหัสสีเส้นใยแก้วนำแสง (Color coding).....19
2.5 การตรวจสอบคุณภาพสายเคเบิล (Performance criteria).....21
2.6 สรุป.....23

บทที่ 3 การติดตั้งข่ายสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....25
3.1 เทคนิคการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง.....26
3.1.1 อุปกรณ์เชื่อมต่อสายทางกล (Mechanical splice).....26
3.1.2 การเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion splice).....27
3.2 หัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Connector).....28
3.3 ตู้พักสายเคเบิลใยแก้วนำแสง (Fiber optic distribution).....30
3.4 หัวต่อเคเบิลใยแก้วนำแสง (Fiber optic closure).....32

บทที่ 4 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย.....34
4.1 การจัดทำเอกสาร.....34
4.1.1 เอกสารด้านเทคนิค.....34
4.1.2 เนื้อหาและรูปแบบของเอกสาร.....35
4.1.3 ตัวอย่างการจัดเก็บเอกสาร.....40
4.2 ลักษณะข้อมูลและการรวบรวมข้อมูล.....46
4..2.1 เครื่องหมายบอกความยาวสายเคเบิล.....46
4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นใยแก้วนำแสงและสายเคเบิลที่ห่อหุ้ม..48
4.3 เครื่องมือและวิธีดำเนินการวิจัย.....48
4.3.1 เครื่องมือสำหรับศึกษาวิจัย.....48
4.3.2 การทำงานของ OTDR.....48
4.3.2.1 บล็อกไดอะแกรมของ OTDR.....50
4.3.2.2 การวิเคราะห์ผลการวัด OTDR.....51
4.3.2.3 สมการกำลังงานแสงแบบกระจัดกระจายในทิศทางย้อนกลับ...53
4.3.2.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับ OTDR.....56
4.3.3 การออกแบบโปรแกรมแสดงผล.....58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....59
5.1 ผลการทดลอง.....62
5.1.1 การบันทึกและแก้ไขรายการ.....62
5.1.2 การค้นหาและการแสดงผลจากฐานข้อมูล.....65
5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล.....66
5.2.1 การแสดงผลด้วยเครื่องมือทดสอบ OTDR.....66
5.2.2 การแสดงผลด้วยโปรแกรม.....66
5.2.3 การปรับเทียบ.....68
5.2.4 สรุปผลการทดลอง.....70

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....72

บรรณานุกรม.....74

ภาคผนวก ก.....75
ภาคผนวก ข.....117

ประวัติผู้เขียน.....124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 รหัสสีของเปลือกหุ้มสายเคเบิลใยแก้วนำแสง 15

2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของสายเคเบิลชนิด Loose และ Tight Constructions 16

2.3 เปลือกหุ้มเคเบิลชนิดต่างๆ.....19

2.4 รหัสสีของเส้นใยแก้วนำแสงและยูนิต.....20

2.5 การทดสอบเคเบิลใยแก้วนำแสงด้วยเครื่องมือ.....22

2.6 การทดสอบเคเบิลใยแก้วนำแสงด้วยสภาพแวดล้อม.....23

4.1 การกำหนดรหัส.....40

4.2 รหัสเคเบิลในแต่ละเส้นทาง.....43

4.3 รหัสแนวสายเคเบิลและหัวต่อเคเบิล.....43

4.4 แผนผังการเชื่อมโยงระหว่าง Node ต่างๆ.....44

4.5 ตัวอย่างรายละเอียดตู้พักสายเคเบิลสถานี ปณ.จระเข้บัว.....44

4.6 รายละเอียดเคเบิลที่เชื่อมต่อภายในตู้พักตามสถานีต่างๆ.....45

4.7 ตัวอย่างรายละเอียดแนวสายเคเบิลสถานี ปณ.คลองจั่น-ปณ.จระเข้บัว.....47

5.1 รายละเอียดแนวสายเคเบิลทั้งหมดระหว่างสถานี ปณ.คลองจั่น-ปณ.จระเข้บัว.....60

5.2 ความคลาดเคลื่อนจากการแสดงผลด้วย OTDR.....66

5.3 ความคลาดเคลื่อนจากการแสดงผลด้วยโปรแกรม.....67

5.4 ความคลาดเคลื่อนจากการแสดงผลด้วยโปรแกรมหลังจากปรับเทียบ.....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างทั่วไปของเคเบิลใยแก้วนำแสง.....6

2.2 ความยาวส่วนเกินของเส้นใยแก้วนำแสงในท่อพลาสติก.....6

2.3 ตัวอย่างเคเบิลชนิด 144 Fiber bundle, loose tube polyethylene sheath.....7

2.4 ลักษณะทั่วไปของเคเบิลใยแก้วนำแสง.....8

2.5 ลักษณะการตีเกลียวของท่อพลาสติกสำหรับบรรจุเส้นใยแก้วนำแสง.....8

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Lay length และ Bending radius.....11

2.7 ตัวอย่างเคเบิลชนิด 36 Loose fiber bundle, LXE sheath.....11

2.8 ตัวอย่างเคเบิลแบบผสม 15 Fiber/1 twisted copper pair, slotted core, steelpeth sheath.....12

2.9 ตัวอย่างเคเบิล 144 Fiber ribbon, crossly sheath.....13

2.10 โครงสร้างเคเบิลชนิด Tight construction.....14

2.11 ตัวอย่างเคเบิลสำหรับติดตั้งภายในอาคารที่มีโครงสร้างแบบ Tight construction.....15

2.12 ตัวอย่างเคเบิลชนิด Undersea cable.....17

2.13 ตัวอย่างเคเบิลใต้น้ำชนิด 35 Fiber, armored cable.....19

3.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของอุปกรณ์เชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Mechanical splice.....27

3.2 (A) หลักการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีหลอมละลาย.....27

(B) ลักษณะเส้นใยแก้วนำแสงชนิดเส้นเดียวและชนิด Ribbon.....27

3.3 หลักการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วย Connector.....28

3.4 ชิ้นส่วนต่างๆ ของ Connector.....28

3.5 ค่าสูญเสียชนิดต่างๆ ของ Connector.....29

3.6 ค่าสูญเสียจากการขัดผิวหน้าสัมผัสของ Connector มากเกินไป.....30

3.7 ตัวอย่าง Connector ชนิด ST และ SC.....30

3.8 ชิ้นส่วนต่างๆ ของตู้พักสายเคเบิล.....31

3.9 ลักษณะของตู้พักสายเคเบิลชนิด 19 นิ้ว.....32

3.10 ตู้พักสายเคเบิลมาตรฐาน ETSI.....32

3.11 ลักษณะถาดรองจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Splice tray) และ Heat-shrink.....33

3.12 หัวต่อเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ.....33

4.1 ลักษณะโครงสร้างของเอกสาร.....36

4.2 รายละเอียดอาคารและ Node.....36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.3 รายละเอียดตาราง Node และการเชื่อมโยงเครือข่าย.....38

4.4 รหัสเส้นทางแนวสายเคเบิลและรายละเอียดสายเคเบิล.....38

4.5 รายละเอียดตู้พักสายและการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง.....38

4.6 ตารางการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง.....39

4.7 บันทึกผลการวัดด้วยเครื่องมือทดสอบ OTDR.....39

4.8 ตัวอย่างแผนที่แนวเคเบิล.....41

4.9 ตัวอย่างแผนผังการเชื่อมโยง.....42

4.10 ตัวอย่างแผนผังแสดงความยาวของสายเคเบิลในแต่ละเส้นทาง.....42

4.11 ตัวอย่างตู้พักสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....45

4.12 ผลการวัดสายเคเบิลด้วย OTDR จากสถานี ปณ.จระเข้บัว- ปณ.รามอินทรา.....46

4.13 รายละเอียดต่างๆ ที่พิมพ์ไว้บนสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....47

4.14 หลักการ TDR และกราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณสะท้อนกลับและระยะทาง.....49

4.15 คาบเวลาที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของสัญญาณพัลส์.....49

4.16 การสะท้อนกลับของแสงบริเวณรอยต่อตัวกลางแก้วและอากาศ.....49

4.17 โครงสร้างของ OTDR.....51

4.18 ความสัมพันธ์ของปริมาณแสงสะท้อนกลับและช่วงเวลา.....52

4.19 Fiber signature แสดงคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง.....52

4.20 ตัวอย่างกราฟและรายละเอียดพารามิเตอร์ต่างๆ ของ OTDR.....57

4.21 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมแสดงผล.....57

4.22 โฟล์วชาร์ตการทำงานของโปรแกรมแสดงผล.....58

5.1 แผนที่แนวสายเคเบิลที่ใช้ในการทดลอง.....59

5.2 ผลการวัดสายเคเบิลด้วย OTDR จากสถานี ปณ.คลองจั่น- ปณ.จระเข้บัว.....60

5.3 ภาพหน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรมแสดงผล.....63

5.4 ขั้นตอนการบันทึกรายละเอียดของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....63

5.5 ขั้นตอนการบันทึกรายละเอียดของหัวต่อสายเคเบิล.....63

5.6 ขั้นตอนการบันทึกรายละเอียดของตู้พักสายเคเบิล.....64

5.7 ขั้นตอนการกำหนดชื่ออาคาร สถานที่ติดตั้ง.....64

5.8 ขั้นตอนการบันทึกรายละเอียดแนวสายเคเบิล.....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.9 จอภาพแสดงการค้นหาตำแหน่งของข่ายสายเคเบิล.....65

5.10 ตัวอย่างแสดงการค้นหาตำแหน่งที่ระยะ 5050 เมตร.....65

5.11 บริเวณตำแหน่งเชื่อมต่อสายเคเบิลที่ระยะ 4.070 Km.....67

5.12 บริเวณตำแหน่งเชื่อมต่อสายเคเบิลที่ระยะ 8.119 Km.....68

5.13 บริเวณตำแหน่งปลายสายเคเบิลที่ระยะ 9.042 Km.....68

5.14 ตำแหน่งเชื่อมต่อสายเคเบิลจุดแรกหลังจากการปรับเทียบ.....69

5.15 ตำแหน่งเชื่อมต่อสายเคเบิลจุดที่สองหลังจากการปรับเทียบ.....69

5.16 ตำแหน่งปลายสายเคเบิลหลังจากการปรับเทียบ.....70

5.17 ความคลาดเคลื่อนจากการแสดงผลทั้ง 3 วิธี.....70

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ระบบสื่อสารในปัจจุบันมีการพัฒนาให้ส่งสัญญาณที่ความเร็วสูงจากสายส่งโลหะไปสู่สายส่งเส้นใยแก้วนำแสงเนื่องจากสามารถรองรับการรับส่งที่มีแบนด์วิทได้สูงกว่าและทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดี ดังนั้นหากระบบเชื่อมโยงด้วยเคเบิลใยแก้วนำแสงขัดข้องซึ่งส่วนใหญ่มาจากข่ายสายเชื่อมโยงชำรุด ย่อมส่งผลกระทบโดยตรงต่อการให้บริการค่อนข้างมาก การตรวจแก้และซ่อมแซมให้ระบบคืนสู่สภาวะปกติได้ในเวลาอันรวดเร็วจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับงานบำรุงรักษาข่ายสายเคเบิลใยแก้วทั่วไป มูลเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความล่าช้าขณะทำการตรวจแก้ข่ายสายเคเบิลใยแก้วนำแสง ได้แก่ รายละเอียดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข่ายสายเคเบิลจัดเตรียมไว้ไม่เพียงพอ รายละเอียดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข่ายสายเคเบิลจัดเตรียมไว้ไม่เป็นระเบียบ การค้นหาจุดชำรุดของข่ายสายเคเบิลอาศัยวิธีกะประมาณจากเครื่องมือทดสอบ OTDR กับแผนที่หรือแผนผังแนวเคเบิล (Drawing) ตลอดจนความไม่สอดคล้องกันระหว่างความยาวสายเคเบิลกับแนวสายเคเบิลตามพื้นราบ

ปัญหาดังกล่าวหากได้รับการแก้ไขจะทำให้การตรวจแก้ดำเนินไปได้ด้วยความรวดเร็วยิ่งขึ้น และยังสามารถกำหนดระยะเวลาการแก้ไขได้ ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับมาตรฐานการให้บริการทั่วไป นอกจากนี้ยังช่วยลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจโดยรวมของผู้ให้บริการเครือข่ายและผู้ใช้บริการอีกด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดติดตั้งภายนอกอาคารนั้น จะประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสงจำนวนหนึ่งพันล้อมรอบแกนกลางในลักษณะตีเป็นเกลียวไปตามความยาวของสายเคเบิล โดยอาจมีทิศทางเดียวหรือสองทิศทางขึ้นอยู่กับการออกแบบของแต่ละผู้ผลิตเพื่อทำให้เกิดความยืดหยุ่น ลดแรงเสียดทานและภาระแรงดึงที่มีต่อเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหลายที่บรรจุอยู่ภายใน ดังนั้นหากทำให้เส้นใยแก้วนำแสงเหล่านี้ยืดออกเป็นเส้นตรงขนานกับแกนเคเบิลแล้ว พบว่าเส้นใยแก้วนำแสงจะมีความยาวมากกว่าแกนเคเบิลเสมอ ซึ่งสามารถพิสูจน์และคำนวณหาค่าดังกล่าวนี้ได้จากขนาดรูปทรงทางเรขาคณิตหรือโครงสร้างของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงนั้นๆ

การติดตั้งข่ายสายเคเบิลภายนอกอาคารทั่วไปมักพาดแขวนไว้บนเสาหรือร้อยท่อใต้ดิน และในบางเส้นทางอาจจำเป็นต้องใช้ทั้งสองวิธีดังกล่าวร่วมกัน รวมทั้งมีการเชื่อมต่อสายเคเบิลเข้าด้วยกันเป็นระยะๆ ซึ่งโดยปกติแล้วจุดเชื่อมต่อแต่ละแห่งจำเป็นต้องเผื่อปลายสายทั้ง 2 ด้านไว้อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อย 5-10 เมตร เพื่อความสะดวกต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ ทำให้ความยาวสายเคเบิลไม่สอดคล้องกับระยะทางตามพื้นราบ นอกจากนี้สภาพภูมิประเทศอาจจำเป็นต้องพาดสายเคเบิลนอกเส้นทางการคมนาคม เช่น ภูมิประเทศที่เป็นเทือกเขาสูงชัน หรือแม้แต่พื้นที่ที่ปราศจากเส้นทางคมนาคมโดยสิ้นเชิง ได้แก่การติดตั้งสายเคเบิลพาดไปกับเสาส่งไฟฟ้าแรงสูงเป็นต้น จะเห็นได้ว่าหากเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งบรรจุอยู่ภายในสายเคเบิลชำรุดเพียงบางเส้นหรือทั้งหมดในขณะที่ผิวนอกของสายเคเบิลมีสภาพปกติทุกประการ การค้นหาจุดชำรุดในเหตุการณ์ดังกล่าวคงเป็นไปด้วยความยากลำบากถ้าหากปราศจากข้อมูลทางสายที่ละเอียดเพียงพอ บทวิจัยนี้จะศึกษาวิธีการกำหนดค่าดัชนีหรือตัวชี้ (Pointer) ให้กับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่เชื่อมโยงเป็นเครือข่ายตลอดทั้งเส้นทาง และในขณะเดียวกันจำเป็นต้องกำหนดหมายเลขที่อยู่ (Address) บนสายเคเบิลดังกล่าวด้วยเช่นกัน ซึ่งวิธีการนี้สามารถแก้ปัญหาดังที่กล่าวข้างต้นได้เป็นอย่างดี

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เมื่อพิจารณาถึงวิธีการมัลติเพล็กซ์สัญญาณดิจิตอลด้วยเทคนิคที่เรียกว่าพอยต์เตอร์ (Pointer) จะเห็นว่าข้อมูลด้านรับก่อนที่จะนำมามัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกันจะต้องกำหนดค่า Pointer ใหม่ให้กับข้อมูลแต่ละชุดก่อนเสมอ และเมื่อต้องการเข้าถึงข้อมูลชุดใดชุดหนึ่งสามารถกระทำได้ทันทีที่แปลค่า Pointer ของมันออกมาได้เป็นผลสำเร็จ ซึ่งเป็นเทคนิคการมัลติเพล็กซ์สัญญาณดิจิตอลความเร็วสูงในปัจจุบันเช่นระบบ SDH หรือระบบ ATM เป็นต้น

หากนำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับขบวนการค้นหาตำแหน่งชำรุดใด ๆ บนข่ายสายเคเบิล โดยที่ผลการรายงานจากเครื่องมือทดสอบ OTDR เปรียบเทียบได้กับค่า Pointer และหมายเลขที่อยู่ (Address) ของสายเคเบิลนั้นถูกบันทึกไว้ก่อนล่วงหน้าแล้วในฐานข้อมูล (Database) ก็จะทำให้การค้นหาตำแหน่งใดๆบนสายเคเบิลเกิดความคล่องตัวมากขึ้น ขจัดปัญหาความล่าช้าออกไปได้ทันที ยกตัวอย่างเช่นต้องการค้นหาจุดชำรุดบนข่ายสายเคเบิลเส้นทางหนึ่งซึ่งบันทึกข้อมูลทางสายไว้แล้วอย่างสมบูรณ์ กล่าวคือ จดบันทึกเครื่องหมายแสดงความยาวสายเคเบิล (Mark-Length) เป็นระยะๆ ตลอดทั้งเส้นทางเพื่อนำมาใช้กำหนดเป็นหมายเลขที่อยู่ให้กับสายเคเบิล หลังจากนั้นอาศัยเครื่องมือทดสอบ OTDR เพื่อตรวจสอบหาระยะจุดชำรุดบนสายเคเบิล โดยค่าที่อ่านได้นั้นเปรียบเสมือนกับดัชนีสำหรับชี้พิกัดของสายเคเบิลต่อไป แต่ค่าที่อ่านได้จาก OTDR นั้นยังไม่สามารถกำหนดให้เป็น Pointer ได้โดยตรงเนื่องจากเหตุผลที่กล่าวไว้แล้วตามหัวข้อ 1.2 จำเป็นต้องคำนวณเพื่อแปลงความยาวเส้นใยแก้วนำแสง (จาก OTDR) ให้เป็นความยาวของสายเคเบิลเสียก่อน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 วิเคราะห์โครงสร้างของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์โครงสร้างของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดติดตั้งภายนอกอาคารทั้งแบบพาดแขวนบนเสาและร้อยท่อใต้ดิน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นใยแก้วนำแสงและสายเคเบิลที่ห่อหุ้มด้วยการคำนวณ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเคเบิลชนิดดังกล่าวจะประกอบด้วยท่อพลาสติกเล็กๆขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 มม. จำนวน 1-6 เส้นพันรอบแกนกลางเคเบิลและภายในท่อพลาสติกเหล่านี้บรรจุไว้ด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

1.4.2 ศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือทดสอบที่เรียกว่า OTDR

ศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือทดสอบ OTDR สำหรับค้นหาตำแหน่งชำรุดของข่ายสายเคเบิลใยแก้วนำแสงในเบื้องต้น

1.4.3 ศึกษาวิธีการรวบรวมข้อมูลทางสาย

ศึกษาวิธีการรวบรวมข้อมูลทางสายที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งข่ายสายเคเบิลและวิธีเก็บบันทึกข้อมูลดังกล่าวอย่างเป็นระเบียบเพื่อความสะดวกและง่ายต่อการแก้ไข เปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอยู่ตลอดเวลา

1.4.4 พัฒนาระบบแสดงผลจุดชำรุดในโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสง

พัฒนาระบบแสดงผลโดยอาศัยโปรแกรมประยุกต์ Microsoft Visual Basic ร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) และฐานข้อมูลจากหัวข้อ 1.4.3 ซึ่งการแสดงผลจะประกอบด้วยระยะพิกัดของแนวสายเคเบิลที่ชำรุดตามสภาพภูมิประเทศและภาพแสดงแผนที่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ตรวจสอบโครงสร้างของสายเคเบิล

ตรวจสอบโครงสร้างของสายเคเบิลที่นำมาทดลองด้วยการวัดค่าต่าง ๆ ได้แก่ระยะเกลียว (R) รัศมีเกลียว (S) ของเส้นใยแก้วนำแสงที่พันล้อมรอบแกนของเคเบิลด้วย Vernier Caliper เพื่อนำมาคำนวณหาความยาวสายเคเบิลและเส้นใยแก้วนำแสง

1.5.2 รวบรวมข้อมูลทางสายของโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสง

รวบรวมข้อมูลทางสายของโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงโดยละเอียดรวมถึงการจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระเบียบ ได้แก่รูปการติดตั้ง หัวต่อสายเคเบิล ตู้พักสายเคเบิลปลายทาง ทะเบียนข่ายสายเชื่อมโยงและที่สำคัญที่สุดคือรายละเอียดของแผนที่ภูมิประเทศที่เคเบิลพาดผ่านโดยจะต้องจดบันทึกให้สัมพันธ์กับเครื่องหมายบอกความยาวที่พิมพ์กำกับไว้บนสายเคเบิลตลอดทั้งเส้นทาง ซึ่งเป็นการกำหนดหมายเลขที่อยู่หรือ Address ให้กับสายเคเบิล

1.5.3 ออกแบบโปรแกรม

ออกแบบโปรแกรมสำหรับบันทึก การแก้ไขและแสดงผลข้อมูลด้วย Microsoft Visual Basic 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.4 ปรับปรุงการแสดงผล

ปรับปรุงการแสดงผลให้เกิดความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้นด้วยวิธีการปรับเทียบ (Calibrate)

1.5.3 ประเมินผลและสรุปผลการทดลอง

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น

การศึกษาทดลองในครั้งนี้ประกอบด้วยเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของสายเคเบิลโดยตรงและเส้นใยแก้วนำแสงที่บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.6.1 เคเบิลใยแก้วนำแสงที่นำมาทดลองนั้นจะต้องเป็นชนิดติดตั้งภายนอกอาคาร

เคเบิลใยแก้วนำแสงที่นำมาทดลองนั้นจะต้องเป็นชนิดติดตั้งภายนอกอาคาร (Outdoor Cable) แบบพาดแขวนบนเสาหรือร้อยท่อใต้ดิน และมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบมาตรฐาน (เส้นใยแก้วนำแสงพันล้อมรอบแกนกลางสายเคเบิล)

1.6.2 เครื่องหมายบอกความยาว (Mark-Length) บนผิวเคเบิลใยแก้วนำแสง

รายละเอียดต่างๆของสายเคเบิลโดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องหมายบอกความยาวเคเบิล (Mark-Length) จะต้องพิมพ์กำกับไว้อย่างชัดเจนและถาวรตลอดความยาวของสายเคเบิล

1.6.3 ค่าดัชนีหักเหของเส้นใยแก้วนำแสง

เพื่อให้การแสดงผลมีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น สายเคเบิลใยแก้วนำแสงจะต้องระบุค่าดัชนีหักเหของเส้นใยแก้วนำแสงไว้ในรายละเอียดด้านเทคนิค (Specification) ของสายเคเบิลด้วย ซึ่งจะนำมาใช้ตั้งค่า (Setup) ให้กับเครื่องมือทดสอบ OTDR สำหรับการรายงานผลในเบื้องต้น

1.7 ข้อจำกัดของการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้พบว่ามีตัวแปรบางอย่างที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งเป็นผลมาจากข้อจำกัดของเครื่องมือทดสอบและขบวนการผลิตสายเคเบิลใยแก้วนำแสง พอสรุปได้ดังนี้

1.7.1 ความเที่ยงตรงของเครื่องมือทดสอบ OTDR (OTDR Accuracy)

นอกจากความเที่ยงตรงของเครื่องมือทดสอบ OTDR แล้วยังรวมถึงระยะตำแหน่งที่เครื่องมือทดสอบดังกล่าวไม่สามารถอ่านค่าได้ (Dead Zone) ด้วย

1.7.2 ความคลาดเคลื่อนของเครื่องหมายบอกความยาวสายเคเบิล (Mark-Length Error)

ความคลาดเคลื่อนของเครื่องหมายบอกความยาวที่พิมพ์ไว้บนสายเคเบิล ซึ่งอาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตรวมถึงค่าดัชนีหักเหที่แท้จริงของเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

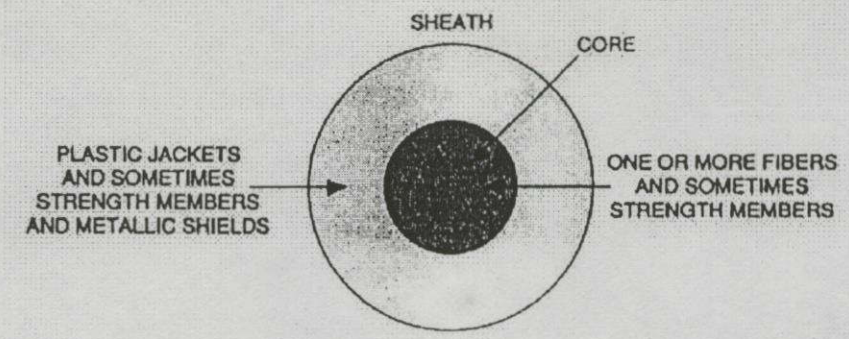
บทที่ 2
เคเบิลใยแก้วนำแสง

โครงสร้างทั่วไปของเคเบิลทั้งชนิดสายทองแดงและเส้นใยแก้วนำแสงส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน สำหรับเคเบิลใยแก้วนำแสงนั้นส่วนที่อยู่ตรงกลางเรียกว่าแกนซึ่งประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสงจำนวนหนึ่งและด้านนอกเป็นเปลือกหุ้มสำหรับทำหน้าที่ป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงเหล่านั้น (ดังรูปที่ 2.1) โดยปกติแล้วเรามักคุ้นเคยกับเคเบิลทองแดงซึ่งทราบดีว่าการดึงเคเบิลผ่านท่อร้อยสายด้วยเครื่องมือชนิดใดชนิดหนึ่งนั้นจะต้องนำสายคู่ตีเกลียว (Twisted pairs) หรือสายชนิดแกนร่วม (Coaxial) ยึดติดเข้ากับเปลือกหุ้มเคเบิลเสียก่อน นอกจากนี้คู่สายทองแดงและสายชนิดแกนร่วมยังสามารถนำมาใช้แทนเชือกสำหรับดึงสายเคเบิลได้อีกด้วย เนื่องจากคุณสมบัติของทองแดงนั้นเหนียวและบิดไปมาได้รวมทั้งสามารถยืดขยายตัวได้มากกว่า 20% ในทางตรงกันข้ามเส้นใยแก้วนำแสงไม่สามารถทำเช่นนี้ได้ จากการทดสอบที่ 50 kpsi เส้นใยแก้วนำแสงสามารถยืดขยายตัวได้เพียง 0.5% เท่านั้นก่อนที่มันจะขาดออกจากกัน เพื่อป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงและค่าสูญเสียชนิด Micro bending Loss ที่อาจเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการติดตั้งและภายหลังจากการติดตั้งเคเบิลใยแก้วนำแสงจะต้องออกแบบสร้างขึ้นด้วยวัสดุที่ทนแรงดึงได้สูงเพื่อรับน้ำหนักจากแรงดึงและเปลือกหุ้มที่แข็งแรงเพื่อป้องกันแรงกระแทกจากภายนอก ตลอดจนการยืดตัวและหดตัวอันเนื่องมาจากความร้อน วัสดุที่ทนแรงดึงได้สูง (Strength member) ในบางครั้งอาจวางไว้ตรงกลางของเคเบิลหรือบริเวณเปลือกหุ้มเคเบิลหรืออาจวางไว้ทั้ง 2 แห่งก็ได้ โดยทั่วไปแล้ววัสดุสำหรับรับแรงดึงมักจะเป็นโลหะหรือ Aramid yarn (เช่น Kevlar yarn) หรือเส้นใยแก้วอัดแท่ง (Fiberglass epoxy rod) สิ่งที่สำคัญก็คือพื้นที่หน้าตัดของวัสดุเหล่านี้จะต้องมีขนาดเพียงพอ หากเคเบิลยืดขยายตัวออกไปจะต้องไม่ทำให้เส้นใยนำแสงยืดตัวเกิน 2 ใน 3 ของค่าที่ได้จากการทดสอบ (0.5 %ที่ 50 kpsi) จนได้รับความเสียหาย ยกตัวอย่างเคเบิลทั่วไปมีอัตราทนแรงดึงที่ 2700 N (600 ปอนด์) หากเคเบิลดังกล่าวบรรจุเส้นใยแก้วนำแสงที่ผ่านการทดสอบการยืดตัวที่ 0.5% (50 kpsi) เคเบิลจะต้องรับแรงดึงได้อย่างเพียงพอ นั่นคือเมื่อเคเบิลรับภาระน้ำหนักเต็มที่ชั่วขณะ 2700 N จะต้องไม่ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงยืดขยายตัวเกิน 2/3×0.5% = 0.33% จริงๆแล้วควรออกแบบเคเบิลให้สามารถรองรับความตึงที่อาจเกิดขึ้นในระยะยาวด้วย โดยไม่ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงเกิดความตึงเกิน 25% ของความตึงมาตรฐาน (Fiber's prove strain)

2.1 โครงสร้างของแกนเคเบิล

เคเบิลที่ได้รับการออกแบบส่วนใหญ่ถูกจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะได้แก่โครงสร้างแกนเคเบิลชนิดอัดแน่น (Tight Construction) และชนิดยืดหยุ่นได้ (Loose Construction)

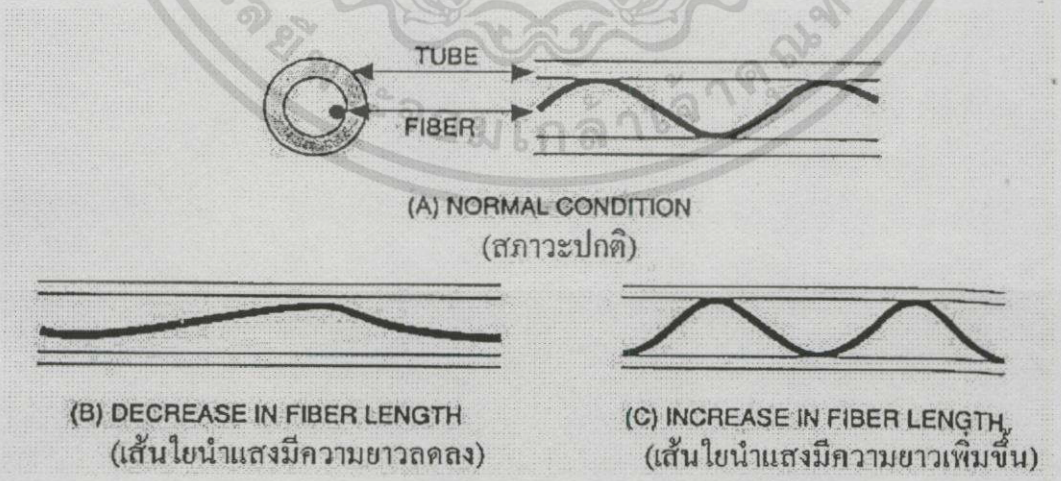
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของเคเบิลใยแก้วนำแสง

2.1.1 โครงสร้างแกนเคเบิลชนิดยืดหยุ่นได้ (Loose Construction)

เส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐานที่ผ่านการเคลือบสารป้องกัน (Coated) ไว้แล้วจะถูกนำมารวมกันเป็นกลุ่มตั้งแต่ 1 เส้นขึ้นไปเราเรียกว่า ยูนิต แต่ละยูนิตจะนำไปบรรจุลงในท่อพลาสติกหรือร่องบนแกนของเคเบิลหรือวางบนแกนของเคเบิลโดยตรงอย่างหลวมๆ ดังนั้นด้านข้างของกลุ่มเส้นใยแก้วนำแสงเหล่านี้จึงมีที่ว่างเล็กน้อย ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงสามารถเคลื่อนตัวได้บ้างอย่างอิสระ เพื่อช่วยลดความตึงเครียดและช่วยลดค่าสูญเสียที่เกิดจากการโค้งงอดังแสดงในรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่ารูปร่างที่ไม่เป็นเส้นตรงของเส้นใยนำแสงนั้นเกิดขึ้นในท่อพลาสติกหลวมๆ ท่อหนึ่ง โดยปกติแล้วเส้นใยแก้วนำแสงจะมีความยาวกว่าท่อเสมอ ดังรูปที่ 2.2A และหากท่อดังกล่าวยืดตัวในระหว่างการติดตั้งเคเบิลหรือขยายตัวเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็ตาม จะเห็นว่าส่งผลกระทบต่อเส้นใยแก้วนำแสงน้อยมากโดยไม่ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงยืดตัวจนเป็นเส้นตรงแต่อย่างใด ดังรูปที่ 2.2B ในทางตรงกันข้ามหากอุณหภูมิลดต่ำลง ท่อพลาสติกจะหดตัวเร็วกว่าเส้นใยแก้วนำแสงและความยาวส่วนเกินของเส้นใยแก้วนำแสงก็จะขดตัวอยู่ภายในท่อนั้นเอง (รูปที่ 2.2C)



รูปที่ 2.2 ความยาวส่วนเกินของเส้นใยแก้วนำแสงภายในท่อพลาสติก

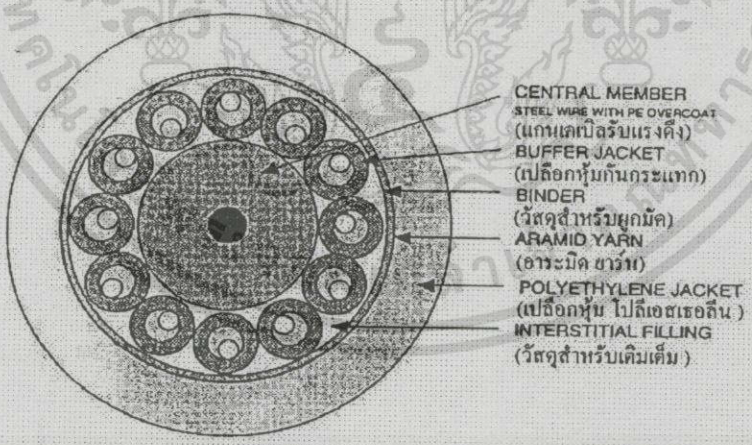
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเร่งที่ทำให้เส้นใยแก้วนำแสงเสื่อมสภาพได้แก่ น้ำหรือสภาพความเย็นจัดจนเป็นน้ำแข็ง ตลอดจนการโค้งงอเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Micro bend ดังนั้นเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดภายนอกอาคารเกือบทุกชนิดจะต้องบรรจุด้วยสารประกอบชนิดหนึ่งเรียกว่า Gel-type filling compound โดยคั่นระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับแกนเคเบิลไว้เสมอ

โครงสร้างชนิดยืดหยุ่นได้นี้มีหลายรูปแบบ เช่น ชนิดบรรจุเส้นใยแก้วนำแสงอย่างหลวมๆ ไว้ในท่อพลาสติกขนาดเล็ก (Loose tube) หรือมัดรวมเส้นใยนำแสงเข้าด้วยกันอย่างหลวมๆ (Loose fiber bundle) หรือวางเส้นใยแก้วนำแสงลงในร่องแกนเคเบิล (Slotted core) หรือชนิดแถบยาวคล้ายริบบิ้น (Ribbon) โครงสร้างชนิด Loose tube และ Slotted core จะมีวัสดุสำหรับทำหน้าที่รับแรงดึง (Strength members) อยู่ภายในแกนหรือบางครั้งอาจมีตำแหน่งอยู่ที่เปลือกหุ้ม ส่วนโครงสร้างชนิด Loose fiber bundle และ Ribbon บางชนิดนั้นมักจะวางไว้ที่เปลือกหุ้มของเคเบิลมากกว่า โครงสร้างเคเบิลเหล่านี้นิยมใช้สำหรับติดตั้งภายนอกอาคาร ซึ่งสามารถติดตั้งด้วยการร้อยท่อใต้ดิน ฝังไว้ใต้ดินโดยตรง พาดแขวนอากาศหรือวางใต้น้ำได้เหมือนๆ กับสายเคเบิลทองแดงทั่วไป ส่วนเคเบิลชนิดยืดเวลาการลุกไหม้ในกรณีเกิดไฟไหม้นั้นส่วนใหญ่จะนำมาใช้ร้อยท่อแนวตั้งภายในอาคารสำนักงานสูงๆ ทั่วไป โครงสร้างเคเบิลชนิดยืดหยุ่นได้แบ่งออกเป็น 4 ลักษณะดังนี้

2.1.1.1 Loose Tube

การออกแบบโครงสร้างเคเบิลชนิดนี้เส้นใยแก้วนำแสงจำนวน 1 ถึง 12 เส้นจะร้อยอยู่ภายในท่อพลาสติกซึ่งอาจเป็นไนลอน (Nylon) โพลีเมอร์ (Polymer) หรือโพลีเยสเตอร์ชนิดแข็ง (Stiff Polyester) ดังตัวอย่างแสดงไว้ในรูปที่ 2.3

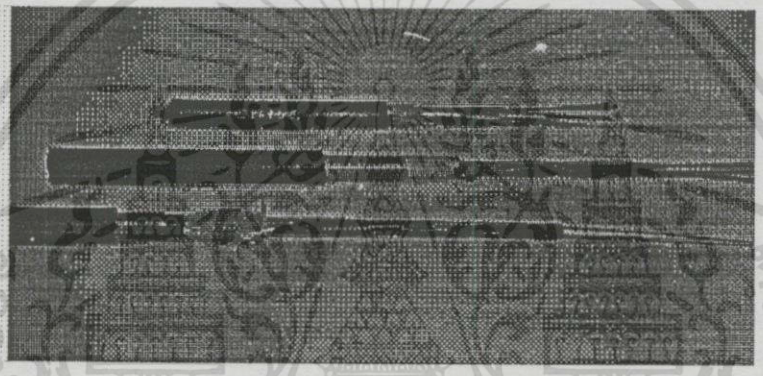


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเคเบิลชนิด 144 fiber bundle, loose tube polyethylene sheath

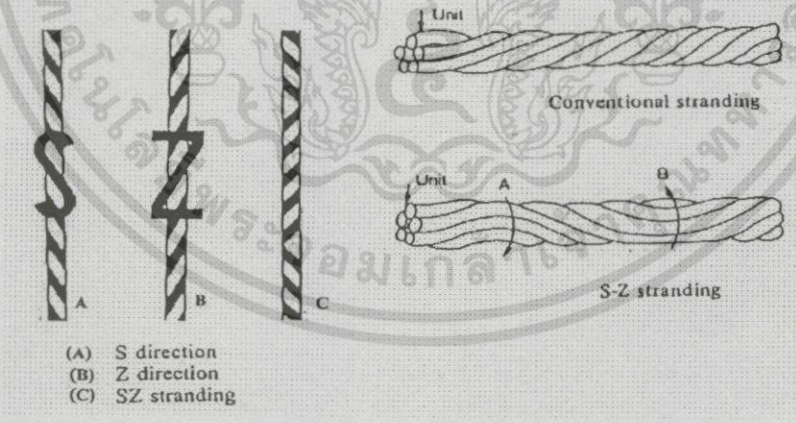
เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อพลาสติกจะมีขนาดใหญ่กว่าจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงรวมกัน เพื่อให้มีเนื้อที่ว่างเล็กน้อยสำหรับการเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระของเส้นใยแก้วนำแสงที่บรรจุอยู่ภายใน นอกจากนี้เส้นใยแก้วนำแสงจะมีความยาวมากกว่าท่อพลาสติกเสมอ เพื่อยอมให้เส้นใยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำแสงสามารถเหยียดตรงได้เมื่อเคเบิลยืดขยายตัวออกในขณะที่มีแรงดึง โดยทั่วไปแล้วท่อพลาสติกจะถูกกำหนดด้วยรหัสสีและเติมสารประกอบชนิดหนึ่งลงไปเพื่อป้องกันน้ำ เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อพลาสติกมีขนาด 1-3 มม. ขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่บรรจุ (ดังรูปที่ 2.4) แกนของเคเบิลจะประกอบด้วยท่อพลาสติกที่บรรจุเส้นใยแก้วนำแสงตั้งแต่ 1 ท่อขึ้นไปพันตีเกลียวล้อมรอบแกนกลางซึ่งเป็นวัสดุชนิดหนึ่งสำหรับทำหน้าที่รับแรงดึง อาจตีเกลียวในทิศทางเดียวคล้ายก้นหอยหรือตีเกลียวกลับไป-มา (เรียกว่า "S-Z") อย่างใดอย่างหนึ่ง วัสดุสำหรับรับแรงดึงอาจเป็นสายโลหะหรือแท่งแก้วชุบด้วยโพลีอีทลีนหรือโพลียูรีเทนเพื่อให้เส้นผ่าศูนย์กลางมีขนาดพอดีกับจำนวนท่อพลาสติกที่นำมาพันล้อมรอบตัวมัน ในบางครั้งอาจนำแท่งพลาสติกแข็งใส่เพิ่มเข้าไปสำหรับตีเกลียวร่วมกับท่อพลาสติกที่บรรจุเส้นใยนำแสงเพื่อรักษาความกลมให้กับแกน ลักษณะการตีเกลียวของเส้นใยแก้วนำแสงล้อมรอบแกนกลางเคเบิลแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้คือ



รูปที่ 2.4 ลักษณะทั่วไปของเคเบิลใยแก้วนำแสง



รูปที่ 2.5 ลักษณะการตีเกลียวของท่อพลาสติกสำหรับบรรจุเส้นใยแก้วนำแสง

1) การตีเกลียวลักษณะคล้ายก้นหอย (Conventional Stranding)

ลักษณะการตีเกลียวเป็นไปในทิศทางเดียวตลอดความยาวดังรูปที่ 2.5 (A และ B) มุมที่เกิดขึ้นเมื่อวัดจากแนวแกนกลางของเคเบิลมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การตีเกลียวลักษณะคล้ายก้นหอยแต่มีทิศทางสลับไปมา (S-Z Stranding)

การตีเกลียวจะมีทิศทางเป็นตรงกันข้ามหลังจากการตีเกลียวในทิศทางแรกผ่านไปได้ระยะหนึ่ง ดังนั้นเส้นใยแก้วนำแสงจะมีทิศทางตามแนวแกนเคเบิลรูป "S" ในช่วงแรกและหลังจากนั้นจะเป็นตรงกันข้ามคือรูป "Z" ดังรูปที่ 2.5C

การตีเกลียวแบบก้นหอยนั้นเปรียบเทียบได้กับบันไดวน โดยที่ความสูงของขั้นบันไดวน 1 รอบเราเรียกว่าระยะเกลียว (Lay Length; S) มุมที่เกิดขึ้นจากการตีเกลียวเทียบกับหน้าตัดของเคเบิลเรียกว่าความเอียงของเกลียว (Stranding Angle; α) ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสายเคเบิลถึงเส้นใยแก้วนำแสงเรียกว่ารัศมี เกลียว (Stranding Radius; R) ดังนั้นความยาวจริงของเส้นใยแก้วนำแสงที่พันเป็นเกลียว 1 รอบ (L) และมุมที่เกิดจากการตีเกลียว (α) สามารถคำนวณได้จาก

$$L = S\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi R}{S}\right)^2} \tag{2.1}$$

$$\alpha = \arctan\frac{S}{2\pi R} \tag{2.2}$$

โดยที่

R = รัศมีเกลียว (ม.ม)

L = ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง (ม.ม)

S = ความยาวของระยะเกลียว 1 รอบ (ม.ม)

α = มุมเอียงจากการพันเป็นเกลียว (องศา)

การตีเกลียวดังกล่าวจะทำให้เส้นใยแก้วนำแสงมีความยาวมากกว่าสายเคเบิล หากคลายเกลียวเหล่านั้นออกแล้วดึงให้ตึงขนานกับสายเคเบิลและความยาวที่เพิ่มขึ้นสามารถคำนวณได้จาก

$$Z = \frac{L - S}{S} \times 100\% = \left\{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi R}{S}\right)^2} - 1\right\} \times 100\% = \left(\frac{1}{\sin\alpha} - 1\right) \times 100\% \tag{2.3}$$

โดยที่

Z = ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการตีเกลียว (เปอร์เซ็นต์)

นอกจากนี้การตีเกลียวยังทำให้เกิดส่วนโค้งตามแนวรัศมี (Radius of curvature) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ารัศมีการโค้งงอ (Bending radius) สามารถคำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta = R\left\{1 + \left(\frac{S}{2\pi R}\right)^2\right\} \qquad (2.4)$$

δ = รัศมีการโค้งงอ (มม.)

ตัวอย่าง เคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นหนึ่งประกอบด้วยหลอดพลาสติกเกลียวทิศทางเดียว มีระยะความสูงของเกลียว 1 รอบเป็น 102 มม. ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางของเคเบิลถึงจุดกึ่งกลางของหลอดเกลียว 4.3 มม. ดังนั้นความยาวหลอดเกลียวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการตีเกลียวสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Z = \left\{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi \times 4.3}{102}\right)^2} - 1\right\} \times 100\% \approx 3.4\ \%$$

นั่นคือความยาวเคเบิลทุกๆ 100 เมตร หลอดเกลียวบรรจุเส้นใยแก้วนำแสงจะมีความยาวเป็น 103.4 เมตร

มุมที่เกิดขึ้นระหว่างแกนหน้าตัดหลอดเกลียวและแกนหน้าตัดเคเบิล มีค่าเป็น

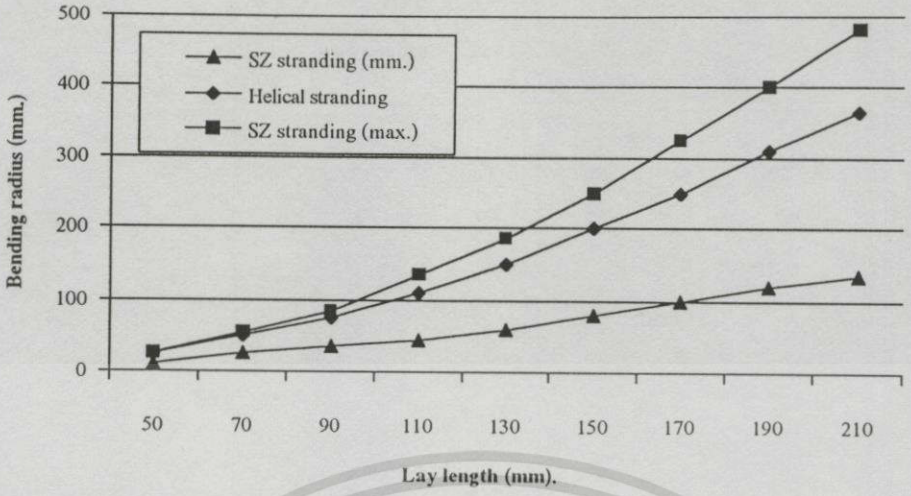
$$\alpha = \arctan\frac{S}{2\pi R} = \arctan\frac{102}{2\pi \times 4.3} \approx 75.2^\circ$$

รัศมีการโค้งงอ มีค่าเป็น

$$\delta = 4.3\left\{1 + \left(\frac{102}{2\pi \times 4.3}\right)^2\right\} \approx 65.6\ \text{mm.}$$

ในกรณีของการตีเกลียวแบบ 2 ทิศทาง (SZ) นั้นจะเห็นได้ว่ารัศมีการโค้งงอเปลี่ยนแปลงไปตลอดความยาวของสายเคเบิล โดยเฉพาะอย่างยิ่งตำแหน่งเปลี่ยนทิศทางของหลอดเกลียวพลาสติก (จาก S ไปเป็น Z และจาก Z ไปเป็น S) ส่วนระยะห่างของเกลียว 1 รอบ (S) และระยะจากจุดกึ่งกลางของเคเบิลถึงจุดกึ่งกลางของหลอดเกลียว (R) ต่างมีค่าคงที่และสัมพันธ์กันดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 ซึ่งจะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนระหว่างการตีเกลียวแบบทิศทางเดียวและแบบ 2 ทิศทาง ในทางปฏิบัติ สายเคเบิลชนิดเกลียว 2 ทิศทางนั้นเราสามารถนำสมการดังกล่าวข้างต้นคำนวณหาค่าได้เช่นเดียวกัน

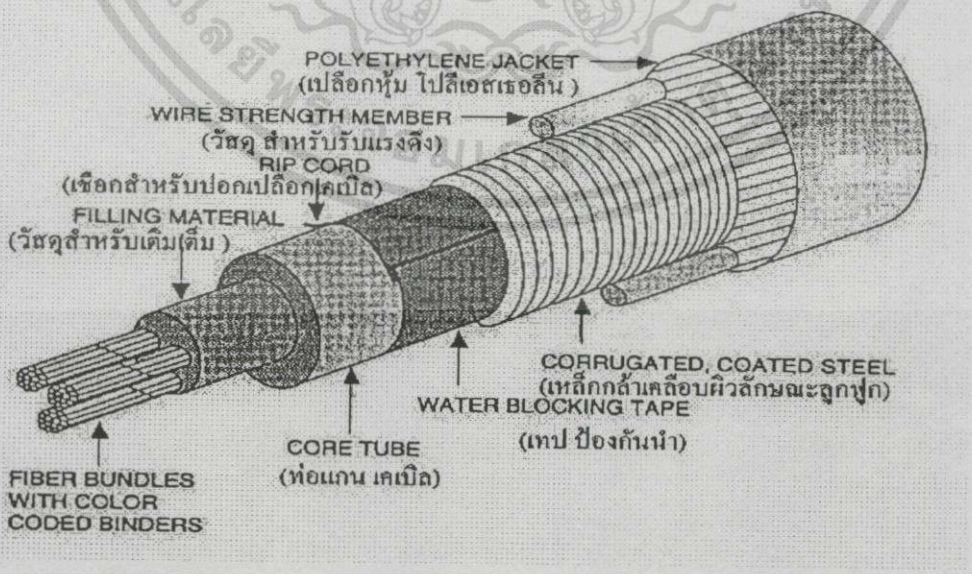
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Lay length และ Bending radius

2.1.1.2 Loose fiber bundle

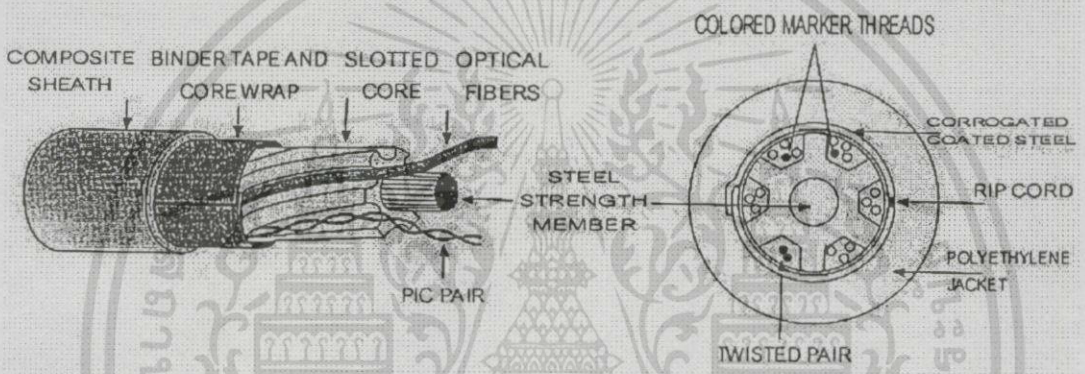
เส้นใยแก้วนำแสงที่กำหนดรหัสสีไว้แล้วจำนวนไม่เกิน 12 เส้นจะนำมามัดด้วยเชือกซึ่งกำหนดรหัสสีไว้แล้วเช่นเดียวกันอย่างหลวมๆ เรียกว่ายูนิต จำนวนยูนิตมีได้ไม่เกิน 8 ยูนิต แล้วห่อหุ้มด้วยท่อพลาสติกที่บรรจุด้วยสารประกอบ Gel-type filling compound ตัวอย่างเคเบิลชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.7 ปกติแล้วเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของแกนมีขนาด 6 -10 มม. ขึ้นอยู่กับจำนวนของเส้นใยแก้วนำแสง สายเคเบิลชนิดนี้วัสดุสำหรับทำหน้าที่รับแรงดึงมักอยู่ที่เปลือกหุ้มเคเบิลซึ่งอาจทำด้วยโลหะหรือฉนวนไฟฟ้าก็ได้ รูปที่แสดงเป็นเคเบิลยี่ห้อ AT&T ชนิด LXE (Light guide express entry) ประกอบด้วยเทปโลหะหนา 0.15 มม. พันทับแกนกลางอีกชั้นหนึ่งทำหน้าที่ป้องกันน้ำ โลหะดังกล่าวนี้เรียกว่า Electrolytically – Chrome – Coated Steel "ECCS"



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างเคเบิลชนิด 36 loose fiber bundle, LXE sheath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้ว เทปโลหะที่มีลักษณะเหมือนลูกฟูกจะให้ความยืดหยุ่นได้ดีและนำมาใช้พันทับแกนกลางหรือท่อแกน (Core tube) ไปตลอดความยาวของสายเคเบิลด้วยการเย็บตะเข็บเข้าด้วยกัน แล้วจึงห่อหุ้มด้วยเปลือกชั้นนอกอีกครั้งด้วยโพลีอีทลีนหรืออื่นๆ สารเคลือบผิวโลหะที่มีลักษณะเหนียวจะช่วยลดการกัดกร่อนที่มีต่อโลหะและยังช่วยยึดโลหะให้แน่นกับเปลือกหุ้มโพลีอีทลีนอีกด้วย ส่งผลให้เปลือกเคเบิลสามารถทนต่อแรงกระแทกได้เป็นอย่างดีและลดอาการบิดจากการโค้งงอหรือการบีบรัดด้วยเข็มขัดรัดสายเคเบิล เชือกเส้นเล็กมีไว้สำหรับดึงเพื่อฉีกเปลือกหุ้ม (Rip Cord) ซึ่งอยู่ใต้ชั้นเทปโลหะช่วยให้การปอกเปลือกหุ้มกระทำได้ง่ายขึ้น สายโลหะ 2 เส้นที่ยึดติดอยู่ภายในเปลือกหุ้มโพลีอีทลีนโดยมีตำแหน่งตรงกันข้ามและวางขนานไปตามแกนของเคเบิลทำหน้าที่รับแรงดึง นอกจากนี้แล้วยังมีสายเคเบิลชนิดพิเศษที่มีโครงสร้างเป็นฉนวนไฟฟ้าทั้งหมดอีกด้วย



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างเคเบิลผสม 15 fiber/1 twisted copper pair, slotted core, steelpeth sheath

2.1.1.3 Slotted Core

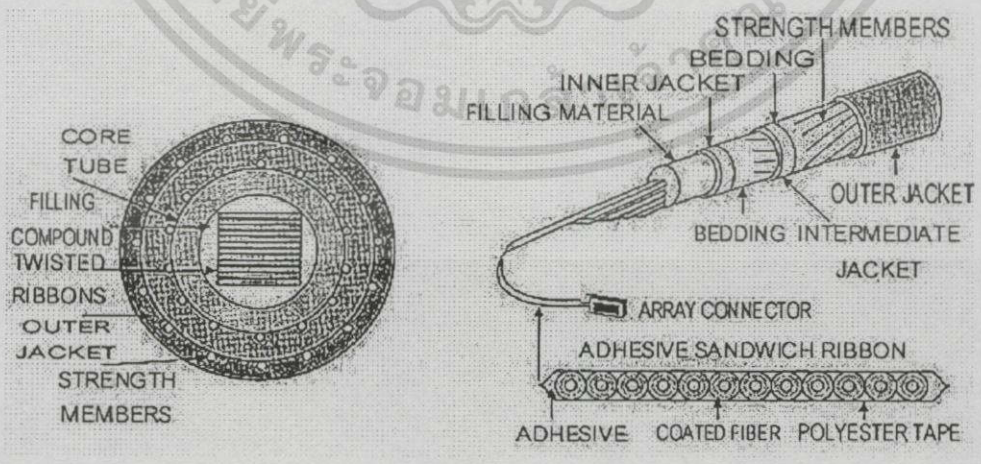
ตัวอย่างเคเบิลชนิดนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 บางครั้งอาจเรียกว่า ช่องเปิด (Open channel) หรือร่องเปิด (Fluted) แกนที่มีลักษณะเป็นร่องนี้ประกอบด้วยวัสดุสำหรับรับแรงดึงอยู่ตรงกลางทำจากโลหะหรืออโลหะก็ได้หุ้มทับลงไปด้วยพลาสติกและผิวด้านนอกสุดของแท่งพลาสติกจะทำให้เป็นร่องลึกจำนวน 6 ถึง 18 ร่อง ร่องเหล่านี้ออกแบบให้พันเป็นเกลียวไป-มา 2 ทิศทางล้อมรอบแกน (Helically oscillated) ที่ว่างภายในแต่ละร่องบรรจุด้วยเส้นใยแก้วนำแสงที่ระบุสีไว้แล้ว 1-12 เส้น หรือในบางครั้งที่ว่างภายในร่องดังกล่าวอาจบรรจุด้วยท่อพลาสติกอ่อนที่บรรจุด้วยเส้นใยนำแสงไว้จำนวนหนึ่งก็ได้ ส่วนเคเบิลชนิดผสมนั้นคือการนำคู่สายทองแดงวางลงไปแทนเส้นใยแก้วนำแสงในร่องใดร่องหนึ่ง เมื่อนำเส้นใยแก้วนำแสง ท่อพลาสติก หรือคู่สายทองแดงวางลงในร่องเหล่านี้แล้วขั้นตอนต่อไปคือนำเส้นด้าย (Yarn) พันทับลงไป หลังจากนั้นจึงนำสารประกอบ Gel type compound ใส่ลงไปและห่อหุ้มทับด้วยเหล็กกล้าหรืออลูมิเนียมและโพลีอีทลีนซึ่งจะเป็นเปลือกหุ้มเคเบิลชั้นนอกสุด ในรูปดังกล่าวเป็นการห่อหุ้มด้วยเหล็กกล้าชนิดบางเคลือบด้วยสารที่มีลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนียว ความหนารวมกัน 0.15 มม. และยึดให้แน่นอีกชั้นหนึ่งด้วยเปลือกหุ้มโพลีอีทลีนความหนา 1.6 มม.

2.1.1.4 Ribbon

ตัวอย่างเคเบิลชนิดนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแตกต่างไปจากเคเบิลที่กล่าวถึงข้างต้น โดยเส้นใยแก้วนำแสงที่ผ่านการกำหนดรหัสสีไว้แล้วจะนำมาวางเรียงตามสีขนานกันไปและยึดติดเข้าด้วยกันคล้ายเส้นริบบิ้น (Ribbon) ถึงแม้ว่าวิธียึดติดเข้าด้วยกันที่นิยมแพร่หลายมากคือยึดด้วยเทปโพลีเยสเตอร์ทั้งด้านบนและด้านล่างของเส้นใยแก้วนำแสงในลักษณะประกบเข้าด้วยกัน (Sandwich) แต่ยังมีวิธีอื่นๆ อีกเช่น การเชื่อมด้วยความร้อน (Heat welding) การยึดด้วยกาวอีพอกซี่ชนิดป้องกันแสงอุลตราไวโอเลต (Epoxy-UV) และการเชื่อมเข้าด้วยกันแบบหลอมละลาย (Hot-melt bonding) ตัวอย่างเคเบิลชนิด Ribbon ได้แก่ผลิตภัณฑ์ของบริษัท AT&T มีชื่อว่า Xpress-12 Accu Ribbon ประกอบด้วยเส้นเส้นใยแก้วนำแสงสูงสุด 18 เส้นวางซ้อนทับกันเพื่อให้ได้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงถึง 216 เส้น การวางซ้อนทับกันมักจะทำให้เป็นเกลียวคล้ายก้นหอย โดยปกติจะนำไปบรรจุไว้ภายในแกนกลางที่มีลักษณะเป็นท่อกลมอย่างหลวมๆ ท่อดังกล่าวนี้จะต้องมีขนาดใหญ่พอเพื่อให้สายริบบิ้นยืดหยุ่นได้บ้างเล็กน้อยอย่างอิสระและแน่นอนสายริบบิ้นจะยาวกว่าท่อเสมอ เพื่อป้องกันมิให้เส้นใยแก้วนำแสงต้องรับภาระน้ำหนักจากแรงดึงมากเกินไปในขณะติดตั้งหรือภายหลังจากการติดตั้งเคเบิล การออกแบบเคเบิลชนิดนี้วัสดุสำหรับรับแรงดึง (Strength number) จะมีตำแหน่งล้อมรอบเปลือกหุ้มดังรูปที่ 2.9 โดยมีเทปบางโพลีเยสเตอร์พันทับแกนท่อโพลีอีทลีนเพื่อเป็นฐานรองให้กับวัสดุรับแรงดึงซึ่งได้แก่เหล็กกล้า หรือแท่งไฟเบอร์กลาสที่พันรอบเป็นเกลียวทับเทปบางโพลีเยสเตอร์ดังกล่าวและยึดแน่นกับชั้นเปลือกหุ้มพลาสติกต่อไป โครงสร้างเคเบิลที่สมบูรณ์นั้นจะประกอบด้วยฐานรองหรือเทปโพลีเยสเตอร์ 2 ชั้นและวัสดุรับแรงดึงที่วางซ้อนกัน 2 ชั้นแต่มีทิศสวนทางกัน เพื่อป้องกันมิให้เคเบิลบิดเป็นเกลียวในขณะที่ออกแรงดึง

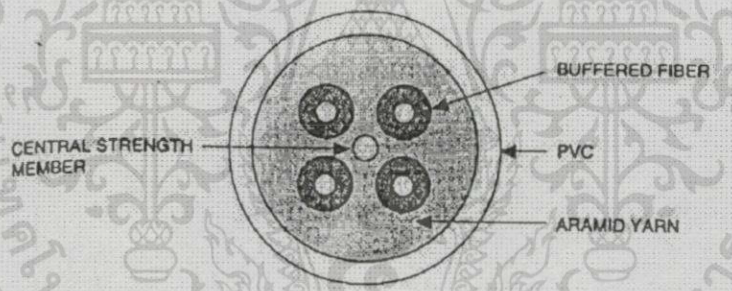


รูปที่ 2.9 ตัวอย่างเคเบิล 144 Fiber Ribbon, crossly sheath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 โครงสร้างแกนเคเบิลชนิดอัดแน่น (Tight construction)

เคเบิลชนิดนี้ส่วนมากจะนำมาใช้ภายในอาคารและงานบางอย่างสำหรับทางการทหารรวมทั้งเคเบิลสำหรับวางใต้น้ำ (Ocean cable) การออกแบบเคเบิลชนิดนี้ (พิจารณาจากรูปที่ 2.10) จะเห็นได้ว่าเส้นใยแก้วนำแสงสัมผัสและยึดติดกับวัสดุอื่นๆ ที่นำมาประกอบกันเป็นเคเบิล โดยปกติแล้วจะมีพลาสติกห่อหุ้มทับอีกชั้นหนึ่งซึ่งเรียกว่า Buffer jacket ซึ่งดูแล้วคล้ายกับพลาสติกที่ห่อหุ้มสายเคเบิลทองแดงนั่นเอง โครงสร้างเคเบิลใยแก้วนำแสงอีกชนิดหนึ่ง (ยกเว้นเคเบิลใต้น้ำ) ที่มีส่วนประกอบเพียงพลาสติกห่อหุ้ม (อาจมีมากกว่า 1 ชั้น) และวัสดุสำหรับรับแรงดึง (Strength member) เท่านั้น ซึ่งแตกต่างไปจากโครงสร้างชนิดยืดหยุ่นได้ กล่าวคือเส้นใยแก้วนำแสงของเคเบิลชนิดนี้ไม่สามารถยืดหยุ่นได้อย่างอิสระหากมีแรงดึงแต่จะยืดตัวออกไปพร้อมกับเคเบิลที่ห่อหุ้มเสมอ เป็นผลทำให้เคเบิลชนิดนี้เกิดค่าสูญเสียจากการโค้งงอมากกว่า ค่าสูญเสียดังกล่าวนี้ไม่ถือว่าเป็นผลเสียมากนักสำหรับความยาวเพียงสั้นๆ อย่างไรก็ตามเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายสำหรับการใช้งานภายในอาคารสำนักงานทั่วไป เนื่องจากการโค้งงอสามารถกระทำได้มากกว่านั่นเอง เช่นเคเบิลสำหรับร้อยท่อแนวตั้งและแนวนอนภายในอาคารหรือสำหรับทำเป็นสายจัมเปอร์ (Jumper) เชื่อมต่อในระยะสั้นๆ ระหว่างตู้อุปกรณ์ เนื่องจากความคล่องตัวในกรณีที่ต้องเคลื่อนย้ายบ่อยๆ โครงสร้างชนิดนี้ยังสามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่า จึงนำไปใช้เป็นเคเบิลเพื่อวางใต้ท้องทะเลและมหาสมุทร



รูปที่ 2.10 โครงสร้างเคเบิลชนิด Tight Construction

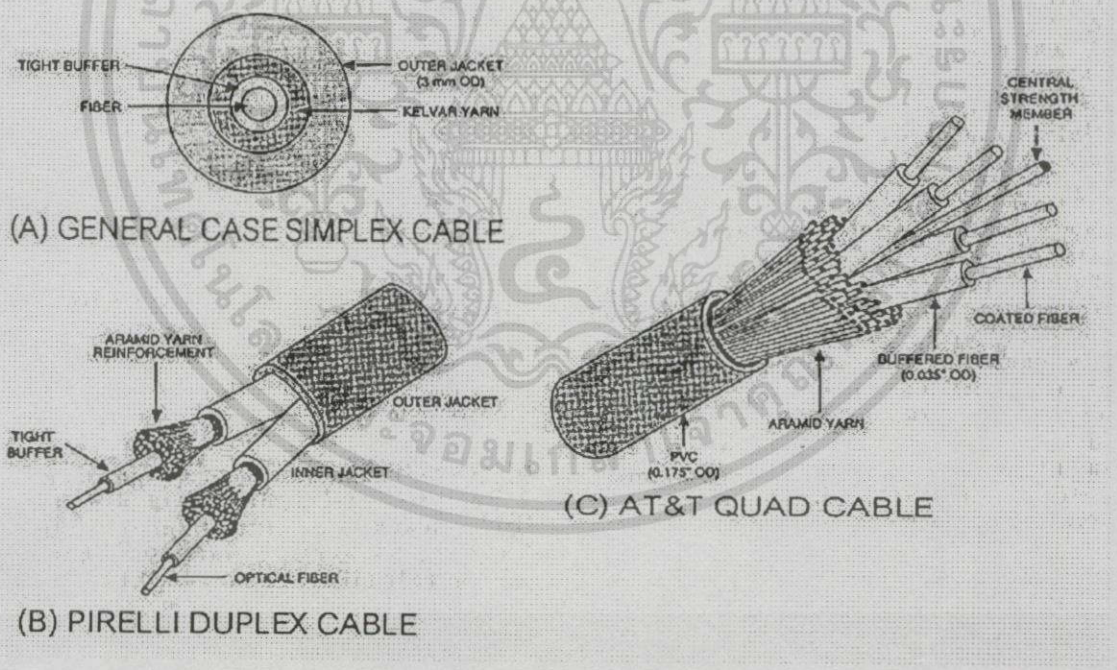
ลักษณะโครงสร้างของสายเคเบิลชนิดนี้ประกอบด้วยเปลือกหุ้มพลาสติกกันกระแทก (Plastic-buffer jacket) ที่ทำจากโพลีวินิลคลอไรด์ ไนลอนโพลีเมอร์ชนิด "Hytrel" หรือพลาสติกชนิดยืดด้วยความร้อน (Thermoplastic elastomer) จะนำไปห่อหุ้มโดยรอบเส้นใยแก้วนำแสงที่ผ่านการเคลือบผิวไว้แล้วซึ่งเรียกว่า buffer fiber เคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดเส้นเดียว (Single fiber cable) มักจะสร้างขึ้นโดยนำเส้นใยแก้วนำแสงที่เคลือบผิวแล้วห่อหุ้มด้วยวัสดุรับแรงดึงที่เรียกว่า Aramid yarn แล้วห่อทับด้วยเปลือกหุ้มพลาสติกชนิดติดไฟยาก ดังรูปที่ 2.11(A) เคเบิลชนิดนี้เรียกว่าเคเบิลติดต่อทางเดียว (Simplex cable) ซึ่งนิยมใช้อย่างแพร่หลายภายในอาคารสำนักงานเป็นสายจัมเปอร์สำหรับเชื่อมต่อกันระหว่างตู้อุปกรณ์ สีของเปลือกหุ้มภายนอกจะเป็นตัวกำหนดชนิดเส้นใยแก้วนำแสงที่บรรจุอยู่ภายในดังตารางที่ 2.1 บางครั้งอาจนำเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นเดียวมาพันเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเกลียวและห่อหุ้มด้วยพลาสติกเพื่อทำให้สามารถติดต่อกันได้ 2 ทิศทางด้วยเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้น (Two-fiber duplex) ดังรูปที่ 2.11(B) ส่วนเคเบิลกระจาย (Distribution cable) ที่ใช้ภายในอาคารจะมีเส้นใยแก้วนำแสงจำนวน 4 เส้นหรือมากกว่าดังรูปที่ 2.11(C) บางครั้งอาจพบว่าเคเบิลที่มีจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงมากๆ มักจะไม่มี Kevlar yarn เป็นส่วนประกอบทั้งนี้เพื่อประหยัดเนื้อที่ โดยการนำเส้นใยแก้วนำแสงพันตีเกลียวล้อมรอบแท่งไฟเบอร์กลาสซึ่งทำหน้าที่รับแรงดึงแล้วจึงห่อหุ้มเปลือกนอกด้วยพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง โครงสร้างเคเบิลทั้งชนิด Loose Construction และ Tight construction ต่างมีข้อได้เปรียบ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 รหัสสีของเปลือกหุ้มสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

Fiber Type	Jacket Color
Conventional single-mode	Yellow
Dispersion-shift single-mode	Red
50/125	Orange
62.5/125	Charcoal gray
85/125	Blue



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างเคเบิลสำหรับติดตั้งภายในอาคารที่มีโครงสร้างแบบ Tight construction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของสายเคเบิลชนิด Loose และ Tight Constructions

Comparison of Loose and Tight Constructions		
	Cable Construction	
Cable Characteristic	Loose	Tight
Bend Radius	Larger	Smaller
Tensile Strength	Higher	Lower
Impact Resistance	Lower	Higher
Crush Resistance	Lower	Higher
Loss Sensitivity to Temperature	Lower	Higher

2.2 เคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ

2.2.1 เคเบิลที่ปราศจากตัวนำไฟฟ้า (Dielectric Cable)

หากเปรียบเทียบเส้นใยแก้วนำแสงกับสายส่งที่เป็นทองแดงแล้ว เส้นใยแก้วนำแสงมีคุณสมบัติที่น่าสนใจก็คือตัวมันเองไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เมื่อพิจารณาคุณสมบัติพิเศษดังกล่าวจะเห็นว่ามีการออกแบบเคเบิลชนิดที่ปราศจากโลหะ ซึ่งมักจะนำไปใช้งานในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดฟ้าแลบฟ้าผ่าและพื้นที่ใกล้เคียงกับสถานีไฟฟ้าย่อยทั่วๆไป เพื่อหลีกเลี่ยงการไหลของกระแสไฟฟ้าจำนวนมากบนวัสดุโลหะใดๆ ที่เป็นส่วนประกอบของสายเคเบิล สายเคเบิลที่ปราศจากโลหะบางครั้งเรียกว่า Dielectric หรือ Nonmetallic

2.2.2 เคเบิลชนิดผสม (Hybrid cable หรือ composite cable)

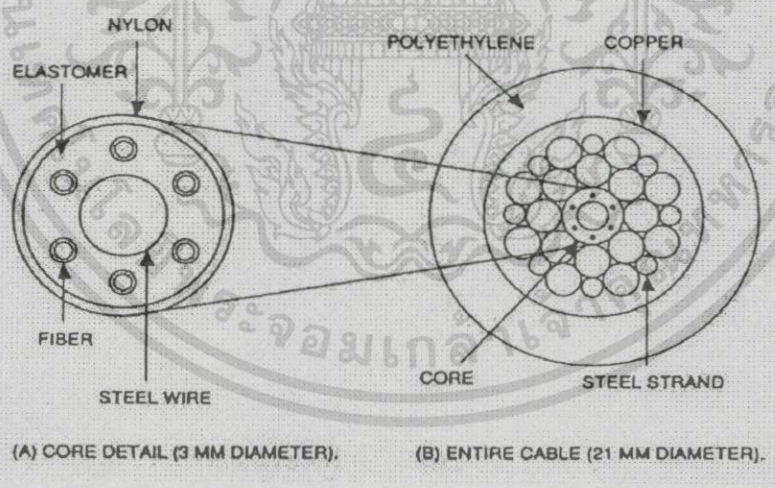
เคเบิลชนิดผสมหมายถึงเคเบิลที่ประกอบด้วยท่อพลาสติกสำหรับบรรจุเส้นใยแก้วนำแสงและคู่สายทองแดงตีเกลียว ไม่ว่าจะเป็นเคเบิลแบบผสมหรือเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงล้วนๆ ที่ว่างภายในท่อพลาสติกหรือระหว่างท่อพลาสติกส่วนมากมักเติมสารประกอบ (Gel) ลงไป นอกจากวัสดุสำหรับรับแรงดึงที่อยู่ตรงกลางแล้วยังมี Aramid yarn ซึ่งทำหน้าที่เดียวกันพันทับบนแกนเคเบิลอีกชั้นหนึ่ง หลังจากนั้นจึงห่อหุ้มทับด้วยโพลีอีทลีนหรือโพลียูรีเทนและชั้นของเหล็กกล้าหรืออลูมิเนียมที่มีลักษณะเป็นแผ่นยาวและโพลีอีทลีนเป็นเปลือกหุ้มนอกสุด เดิมทีเดียวเป็นการออกแบบให้มีเส้นใยแก้วนำแสงจำนวนหนึ่งร่วมกับสายทองแดงตีเกลียว 22 หรือ 24 คู่ ต่อมาจึงลดจำนวนสายทองแดงตีเกลียวเหลือเพียง 1 หรือ 2 คู่เท่านั้นสำหรับเคเบิลชนิด Loose tube หรือ Slotted core เพื่อใช้เป็นวงจรสำหรับควบคุมหรือแจ้งสัญญาณเตือนทางไกลเป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นวงจรโทรศัพท์ให้กับลูกค้าได้อีกทางหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2.3 เคเบิลใต้มหาสมุทร (Ocean cable)

เป็นเคเบิลที่ทนต่อแรงกระแทกได้สูงมากอย่างเช่นในมหาสมุทรที่มีความลึกมากๆ และจะต้องป้องกันน้ำทะเลได้หากเคเบิลมีรอยแตกร้าวเกิดขึ้น ในรูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างเคเบิลใต้น้ำที่มีเส้นใยแก้วนำแสง 6 เส้นแต่สามารถเพิ่มได้ถึง 12 เส้น เคเบิลดังกล่าวประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว (Single-mode fiber) และเคลือบสารอะคริเลทป้องกันแสงอัลตราไวโอเลต (UV-cured acrylate) โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางรวม 250 ไมครอนและผ่านการทดสอบที่ 200 kpsi (2% strain) โครงสร้างแกนเคเบิลในรูปที่ 2.12A เป็นการผลิตในขั้นตอนเดียว เริ่มต้นจากด้านในซึ่งเป็นสายโลหะเหล็กกล้าอยู่ตรงกลางทำหน้าที่เป็นฐานรองและพร้อมที่จะดึงให้เป็นแกนของเคเบิลในขบวนการผลิต สารละลายชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติยืดตัวออกเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะห่อหุ้มสายโลหะนี้และตามด้วยเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียวจำนวน 6 เส้นพันตีเกลียวทับสารละลายดังกล่าวโดยมีความยาวระยะเกลียว 1 รอบเป็น 23 ซม. หลังจากนั้นสารละลายชนิดเดียวกันนี้จะถูกนำมาหุ้มปิดทับเส้นใยนำแสงเหล่านั้นเข้าด้วยกัน สุดท้ายจะเป็นชั้นของไนลอนหุ้มล้อมรอบแกนเพื่อรักษาขนาดแกนให้คงที่ในขั้นตอนการผลิต เปลือกหุ้มแกนเคเบิลที่ได้กล่าวถึงนี้มีโครงสร้างตามรูปที่ 2.12B สายโลหะเหล็กกล้าจำนวน 24 เส้นพันรอบแกนโดยมีความยาวของระยะเกลียว 1 รอบเป็น 23 ซม. สายโลหะเหล่านี้จะทำให้เส้นใยนำแสงที่บรรจุอยู่ภายในเป็นอิสระจากแรงภายนอกที่มากระทบใต้ท้องทะเล และแรงดึงที่กระทำต่อสายเคเบิลในขณะทำการติดตั้งหรือซ่อมบำรุงบนเรือ ช่องว่างระหว่างสายโลหะมักจะบรรจุด้วยสารประกอบสำหรับป้องกันน้ำ



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างเคเบิลชนิด Undersea cable

ยังมีชั้นโลหะภายในรอบๆสายเหล็กกล้าอีกชั้นหนึ่งคือเทปทองแดงโดยเย็บตะเข็บเข้าด้วยกันด้วยวิธีหลอมละลาย สาเหตุที่นำทองแดงมาใช้เพื่อต้องการคุณสมบัติตัวนำไฟฟ้าที่ดีสำหรับจ่ายกำลังงานไฟฟ้าตรงให้กับอุปกรณ์ทวนสัญญาณใต้ท้องทะเล สุดท้ายเป็นการนำสารประกอบโพลีเมอร์ที่มีลักษณะเหนียวยึดติดไว้เหนือปลอกหุ้มทองแดงและตามด้วยชั้นของโพลีเอสเตอลีนชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

39329

หนา ความเหนียวของสารประกอบโพลีเมอร์ทำหน้าที่ยึดปลอกทองแดงกับโพลีเยสเตอร์ เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับเคเบิลและเปลือกหุ้มที่หนามากขึ้นจะทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถรั่วไหลจากตัวนำไฟฟ้า (ทองแดง) ไปยังส่วนที่เป็นพื้นกราวด์ (ในที่นี้คือ Ocean Ground) เปลือกหุ้มยังทำหน้าที่ป้องกันเคเบิลมิให้เกิดการสึกกร่อนหรือรอยขูดขีดในระหว่างการติดตั้งและตลอดอายุการใช้งานของสายเคเบิลเป็นระยะเวลา 25 ปี โดยประมาณ

2.3 เปลือกหุ้มเคเบิล (Sheath)

เปลือกหุ้มสายเคเบิลหากพิจารณาตามลักษณะการใช้งานแล้วมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดเช่น เคเบิลสำหรับร้อยท่อใต้ดิน ฝังดินโดยตรง พาดแขวนอากาศหรือสำหรับติดตั้งภายในอาคารสำนักงาน เคเบิลที่ผลิตจากโรงงานต่างๆ มักมีเปลือกหุ้มหลายชั้น โรงงานเกือบทุกแห่งจะผลิตเคเบิลหลายๆ ชนิดตามความต้องการของลูกค้าเช่น ป้องกันการกัดแทะจากสัตว์ (หนู) ป้องกันอันตรายจากฟ้าแลบฟ้าผ่า หรือชนิดที่เป็นฉนวนไฟฟ้า เปลือกหุ้มเคเบิลเหล่านี้อาจประกอบด้วยชั้นวัสดุชนิดต่างๆ ได้แก่พลาสติก เหล็กกล้า อลูมิเนียมและทองแดง และยังมีอีกหลายรูปแบบเพื่อความเหมาะสมต่อการใช้งาน เปลือกหุ้มแบบต่างๆ ตามที่ได้กล่าวถึงข้างต้นเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ตารางที่ 2.3 แสดงชนิดของเปลือกหุ้มเคเบิลที่เหมาะกับการใช้งานในสภาวะแวดล้อมต่างๆ กัน เคเบิลใต้น้ำเป็นเคเบิลที่ต้องออกแบบให้สามารถทนแรงดึง แรงกระแทกและการสึกกร่อนมากกว่าเคเบิลทั่วไป เคเบิลอาจฉีกขาดได้เนื่องจากการใช้สมอเรือสำหรับดึงเคเบิลขึ้นมาซ่อมแซม และยังต้องรับน้ำหนักจากตัวมันเองขณะทำการติดตั้งและภายหลังจากการติดตั้ง สายโลหะทำหน้าที่เสมือนเกราะป้องกันอันตรายจากแรงกระแทก (Armored) ทำด้วยสายเหล็กกล้าชนิดทนแรงดึงสูงพันเป็นเกลียวล้อมรอบเปลือกหุ้มเคเบิลอีกชั้นหนึ่ง

รูปที่ 2.13 เป็นตัวอย่างสายเคเบิลชนิดมีเกราะปกป้อง (Armored) เปลือกหุ้มโพลีเยสทีลีนถูกพันรอบด้วยเทปเหล็กกล้าและตามด้วยสายเหล็กกล้าสปริง 2 เส้นพันเป็นเกลียวล้อมรอบ หลังจากนั้นพันทับด้วยสายเหล็กที่มีขนาดเล็กกว่าจำนวน 41 เส้นตีเป็นเกลียวแต่มีทิศทางตรงกันข้าม สายโลหะเหล็กกล้าอาจแทนด้วยแผ่นเคลือบดีบุกหรือเหล็กกล้าชนิดสแตนเลสและมีเปลือกหุ้มเป็นพลาสติก ส่วนสายเหล็กกล้าที่ชุบด้วยสังกะสีนั้นควรหลีกเลี่ยง เนื่องจากเป็นตัวก่อให้เกิดไฮโดรเจนซึ่งส่งผลให้เกิดค่าสูญเสีย ในเส้นใยแก้วนำแสงเพิ่มสูงขึ้นได้

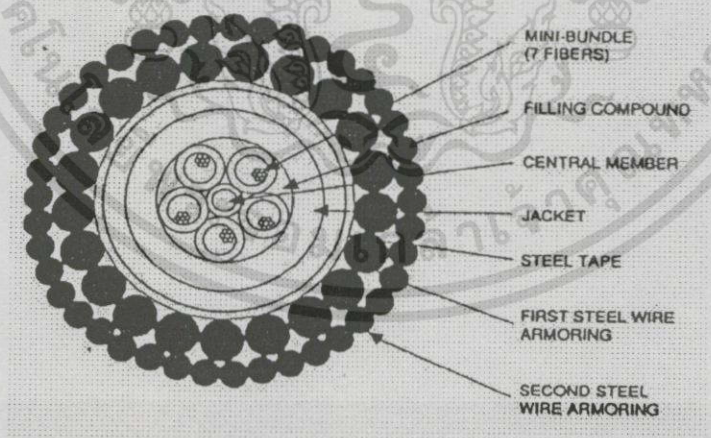
หากเป็นเคเบิลชนิดสายโลหะแผ่นเคลือบดีบุก ฐานรองที่บิดเป็นเกลียวนี้จะห่อหุ้มเปลือกเคเบิลสำเร็จรูปเอาไว้ ตามด้วยสายโลหะตีเกลียวและเชือกเกลียวพันทับลงไป ในแต่ละชั้นของสายโลหะและเชือกเกลียวจะนำแอสฟัลต์เทลงไปจนเต็ม ขบวนการดังกล่าวนี้จะทำซ้ำ 1, 2 หรือ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้จำนวนชั้นของเกราะหุ้มตามต้องการ โดยชั้นนอกสุดจะห่อหุ้มด้วยเชือกเกลียวและแอสฟัลต์ หลังจากนั้นจึงนำสารประกอบคล้ายแป้งฝุ่นหรือซอล์กใส่ลงไป ซึ่งจะช่วยลดการจับตัวของแอสฟัลต์เพื่อป้องกันมิให้เคเบิลเกาะติดกัน และม้วนเก็บไว้ในวงล้อได้อย่างสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เปลือกหุ้มเคเบิลชนิดต่างๆ

Generic Cable Sheaths by Application

Environment Hazard	Suitable Sheath
Within rigid conduit	
None	Standard metallic or dielectric
Rodents (gophers, squirrels)	Standard metallic or dielectric
Lightning	Dielectric or high conductivity (copper)
Prolonged petrochemical exposure	Lead
Aerial or direct buried in the ground	
None	Standard metallic or dielectric
Rodents (gophers, squirrels)	Steel (preferably stainless)
Lightning	Dielectric or high conductivity (copper)
Submarine (lake and river) crossings	
None	Any
Water currents, boat anchors	Amored over sheaths
Within Buildings	
Fire	Flame retardant plastics such as PVC, Fluoropolymers, etc.



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างเคเบิลใต้น้ำชนิด 35 fiber, armored cable

2.4 การกำหนดรหัสสีเส้นใยแก้วนำแสง (Color-coding)

รหัสสีถือว่าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการระบุคู่สายทองแดงตีเกลียวของเคเบิลชนิดตัวนำไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวนพลาสติกทั่วไป (Plastic Insulated Conductor; PIC) ความสำคัญดังกล่าวนี้ไม่ยิ่งหย่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปกว่าการระบุเส้นใยแก้วนำแสง วิธีการกำหนดรหัสสีเส้นใยแก้วนำแสงได้มาจากเคเบิลตัวนำไฟฟ้าชนิด PIC ที่มีรหัสจำนวน 18 สี ดังแสดงในตารางที่ 2.4 การเคลือบสีนั้นจะกระทำหลังจากเคลือบสารป้องกันชั้นแรก (Primary coated) บนเส้นใยแก้วนำแสงเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยกำหนดสีของพลาสติกสำหรับห่อหุ้ม (Buffer jacket) ให้แตกต่างกันไป สีต่างๆ เหล่านี้สามารถกำหนดกลุ่มยูนิตภายในเคเบิลและระบุลงไปถึงเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละเส้นภายในยูนิตนั้นๆ ได้ด้วย บางครั้งอาจจำแนกกลุ่มเส้นใยแก้วนำแสงด้วยการทำเครื่องหมายพิมพ์กำกับลงไป ซึ่งสามารถบ่งชี้เส้นใยแก้วนำแสงได้ทุกๆ เส้นภายในสายเคเบิล โรงงานผลิตบางแห่งอาจบรรจุเส้นใยแก้วนำแสงสำรองเพิ่มเข้าไปในเคเบิลเพื่อทดแทนหากเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้งานอยู่ชำรุด ในกรณีนี้เส้นใยแก้วนำแสงสำรองจะถูกทำเครื่องหมายหรือกำหนดรหัสสีให้แตกต่างออกไปจากรหัสสีดังที่กล่าวมา

ตารางที่ 2.4 รหัสสีของเส้นใยแก้วนำแสงและยูนิต

Fiber and Color-Codes		
Position	**Method A**	**Method B**
1	Blue	Blue
2	Orange	Orange
3	Green	Green
4	Brown	Brown
5	Slate	Slate
6	White	White
7	Red	Red
8	Black	Black
9	Yellow	Yellow
10	Violet	Violet
11	Blue dashed Black	Natural dashed Blue
12	Orange dashed Black	Natural dashed Orange
13	Green dashed Black	Natural dashed Green
14	Brown dashed Black	Natural dashed Brown
15	Slate dashed Black	Natural dashed Slate
16	White dashed Black	Natural dashed White
17	-	Natural dashed Red
18	-	Natural dashed Black

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การตรวจสอบคุณภาพเคเบิลใยแก้วนำแสง (Performance Criteria)

วิธีการต่างๆ สำหรับทดสอบเคเบิลใยแก้วนำแสงแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือการทดสอบด้วยเครื่องมือและทดสอบด้วยสภาพแวดล้อม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 การทดสอบด้วยเครื่องมือ ตารางที่ 2.5 แสดงวิธีการทดสอบชนิดต่างๆ ซึ่งกำหนดขึ้นโดยองค์กรอีเล็กโทรนิกส์อุตสาหกรรม (Electronic Industries Association "EIA")

2.5.1.1 การทดสอบโค้งงอและแรงดึง นำเคเบิลที่มีความยาว 15 เมตร (50 ฟุต) ม้วนเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของเคเบิลที่นำมาทดสอบ แล้วป้อนแรงดึงจำนวน 2700 N ให้กับเคเบิลดังกล่าว

2.5.1.2 การทดสอบด้วยแรงอัด โดยวางน้ำหนักขนาด 440 N บนเคเบิลยาว 1 ซม. หรือน้ำหนัก1000 ปอนด์บนความยาวเคเบิล 4 นิ้ว เป็นเวลา 10 นาที

2.5.1.3 การทดสอบด้วยแรงบิด ยึดปลายเคเบิลตัวอย่างที่มีความยาว 4 เมตร (13 ฟุต) ด้านใดด้านหนึ่งไว้ให้แน่นแล้วบิดปลายอีกด้านหนึ่งไปมาประมาณ 180 องศาจากแกนเคเบิลอย่างน้อยที่สุด 10 ครั้ง เป็นเวลานาน 10 นาที เคเบิลจะต้องอยู่ในสภาพเดิมโดยไม่เสียรูปทรง

2.5.1.4 การทดสอบโค้งงอสายเคเบิลไป-มา เคเบิลตัวอย่าง จะนำมาโค้งงอไป-มา อีกครั้งประมาณ 180 องศาจำนวน 25 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งใช้เวลา 2 วินาที

2.5.1.5 การทดสอบโค้งงอสายเคเบิลที่อุณหภูมิสูง โดยนำเคเบิลตัวอย่างพันรอบด้ามจับที่มีรัศมีเป็น 10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเป็นจำนวน 10 รอบที่อุณหภูมิ –30 ถึง 60 °C (–20 ถึง 140 °F)

2.5.1.6 การทดสอบแรงกระแทกบนผิวเคเบิล โดยทิ้งน้ำหนักเพื่อทำให้เกิดแรงขนาด 7.189 m-kgs หรือ 52 ff-lbs บนผิวเคเบิลจำนวน 25 ครั้ง ภายใน 50 วินาที

2.5.1.7 การทดสอบด้วยการแช่น้ำที่อุณหภูมิ –2 °C

ภายหลังการทดสอบด้วยวิธีการต่างๆ ดังกล่าวหากผลการวัดค่าลดทอนเฉลี่ยของเส้นใยแก้วนำแสง ณ.ความยาวคลื่นที่ต้องการทดสอบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นไม่เกินกว่าที่ระบุไว้ในข้อกำหนดจึงถือว่าผ่านการทดสอบ สำหรับเคเบิลภายนอกอาคารชนิดโหมดเดียวโดยปกติจะมีค่าลดทอน 0.10 dB/km –0.20 dB/km และเคเบิลชนิดหลายโหมดจะมีค่า 0.20 dB/km – 0.40 dB/km ส่วนเคเบิลภายในอาคารนั้นมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้แล้วเคเบิลใยแก้วนำแสงจะต้องผ่านการทดสอบเหมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับเคเบิลทองแดงอีกด้วยเช่นการซึมของน้ำสำหรับเคเบิลภายนอกอาคาร และทดสอบการหน่วงเวลาลุกไหม้โดยนำสารประกอบบางชนิดใส่ลงไปสำหรับเคเบิลชนิดติดตั้งภายในอาคาร เป็นต้น

ตารางที่ 2.5 การทดสอบเคเบิลใยแก้วนำแสงด้วยเครื่องมือ

Standardized Optical Cable Mechanical Tests (FOTP)	
Test	**Conditions**
Tensile loading and bending (FOTP 33)	Tensile load = 600 lb. Bend radius = 20x cable O.D
Compressive loading (FOTP 41)	Linear load = 1000 lb. 4 inch cable length
Cable twist (FOTP 85)	$\pm 180^{\circ}$ twist; 13 ft, cable length; 10 cycles
Low and high temperature bending (FOTP 37)	Bend radius = 10x cable O.D* Four wraps; -20°F and 140°F
Cyclic flex (FOTP 104)	Bend radius = 10x cable O.D* 180° arc; 25 cycles
Cyclic impact (FOTP 25)	Impact = 52 ft-ib;25 impacts
External freezing (FOTP 98)	1 hour minimum at -2°C
* 15x Cable outer diameter for rodent and lightning protected sheaths	

Standardized Optical Cable Mechanical Tests (EIA)		
Property	**Test Procedure**	**Specification**
Low and high temperature cable bend	EIA-RS-455-37	20x cable O.D @ -30°C and 60°C
Impact resistance	EIA-RS-455-25	25 impact cycles
Compressive strength	EIA-RS-455-41	440 N/cm (248 lbs/in)
Maximum installation tensile load	EIA-RS-455-33	2700 N (600 lbs)
Maximum recommended service load	EIA-RS-455-33	890 N (200 lbs)
Cable twist	EIA-RS-455-85	2 meter length 180°
Cable cyclic flexing	EIA-RS-455-104	20x cable O.D 25 cycles
Minimum bend radius: during Installation : After installation	EIA-RS-455-37	20x cable O.D 10x cable O.D
Gopher resistance	Bellcore TR-20	Index rating ≤ 3
Lightning damage susceptibility	EIA-RS-455-181	Exceeds category 1
Current carrying capacity	Bellcore TR-20	60 Amp, 60 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 การทดสอบเคเบิลใยแก้วนำแสงด้วยสภาพแวดล้อม

Environment		
Property	**Test Procedure**	**Specification**
Temperature: Operation Installation Storage/Shipping	EIA-RS-455-3	-40 to +65 °C (-40 to +149 °F) -30 to +60 °C (-22 to +140 °F) -40 to +75 °C (-40 to +176 °F)
Cable Aging	EIA-RS-455-3	168 hours @ 85 °C
Cable Freezing	EIA-RS-455-98	Frozen in Ice
Water Penetration	EIA-RS-455-82	1 meter for 24 hours
Compound Drip Temperature	EIA-RS-455-81	80 °C (176 °F)
Wasp Spray Exposure	Bellcore TR-20	No deterioration

2.5.2 การทดสอบด้วยสภาวะแวดล้อม การทดสอบด้วยวิธีการต่างๆ ข้างต้นนั้นยังไม่เพียงพอ เนื่องจากเคเบิลใยแก้วนำแสงจะต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามฤดูกาล หรือในแต่ละวัน แม้แต่เคเบิลชนิดฝังใต้ดินโดยตรงหรือร้อยท่อใต้ดินที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบๆ (-5 ถึง 32 °C) สำหรับข่ายสายเคเบิลชนิดพาดแขวนอากาศนั้น อุณหภูมิอาจเปลี่ยนจาก –25 ไปจนถึง 65 °C และในบางฤดูกาลที่มีอากาศเลวร้ายอุณหภูมิอาจอยู่ในช่วง -40 ถึง 48 °C วิธีการหาค่าสูญเสียจากสภาวะแวดล้อมที่ดีที่สุดคือการกำหนดช่วงอุณหภูมิขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบเคเบิลใยแก้วนำแสง การทดสอบที่นิยมใช้เป็นประจำประกอบด้วยจอมอนิเตอร์สำหรับอ่านค่าสูญเสียและห้องควบคุมอุณหภูมิสำหรับสายเคเบิลที่ต้องการทดสอบ โดยที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -40 °C ถึง 85 °C (ดังตารางที่ 2.6)

2.6 สรุป

การนำคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้วยความมั่นใจในขณะที่สายเคเบิลต้องเผชิญกับสภาวะแวดล้อมต่างๆ นั้นจำเป็นต้องห่อหุ้มเส้นใยแก้วนำแสงอย่างมิดชิดอยู่ภายในโครงสร้างของเคเบิลรูปแบบต่างๆ เพื่อป้องกันมิให้เส้นใยนำแสงได้รับความเสียหายในขณะติดตั้งและในระหว่างการใช้งานภายหลังจากการติดตั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับเคเบิลชนิดสายทองแดงตีเกลียวแล้ว เคเบิลใยแก้วนำแสงจำเป็นต้องมีวัสดุสำหรับรับแรงดึง (Strength member) เพื่อรับน้ำหนักในขณะดึงสายเคเบิลและต้องมีเปลือกหุ้มแต่ละชั้นที่แข็งแรงเพื่อป้องกันแรงกระแทกจากภายนอกและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงนิยมออกแบบวัสดุสำหรับรับแรงดึงเป็นเหล็กกล้าหรือฉนวนไฟฟ้า ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ตรงแกนกลาง หรือบริเวณเปลือกหุ้มเคเบิล หรือทั้งสองแห่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้ว โครงสร้างของเคเบิลใยแก้วนำแสงสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิดคือ ชนิดกระชับแน่น (Tight) และชนิดยืดหยุ่นได้ (Loose) โครงสร้างแบบยืดหยุ่นได้หมายถึงเส้นใยแก้วนำแสงสามารถเคลื่อนตัวได้บ้างเล็กน้อยอย่างอิสระภายในที่ว่างแคบๆ โครงสร้างลักษณะนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายมีอยู่ด้วยกัน 4 ชนิดคือ Loose Tube, Loose Fiber Bundle, Slotted Core และ Ribbon ส่วนโครงสร้างชนิดอัดแน่นนั้น เส้นใยแก้วนำแสงจะยึดแน่นกับส่วนประกอบอื่นๆ ของเคเบิลและยึดตัวไปด้วยกันตลอดเวลา ส่วนมากนิยมใช้ในอาคารสำนักงาน เคเบิลใต้น้ำและหน่วยงานของทหาร เคเบิลใยแก้วนำแสงที่เป็นฉนวนไฟฟ้าล้วนๆ เป็นการปรับปรุงเพื่อใช้งานในพื้นที่ที่มีปัญหาอันเกิดจากฟ้าแลบหรือฟ้าผ่าและพื้นที่ใกล้เคียงกับสถานีไฟฟ้าย่อยทั่วไป การหลีกเลี่ยงวัสดุที่เป็นโลหะจะช่วยลดอันตรายจากฟ้าผ่าได้เป็นอย่างดีและคุณสมบัติที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้าจึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานปลอดภัยจากกระแสไฟฟ้าแรงสูงอีกด้วย อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงผลเสียที่อาจเกิดขึ้นตามมาคืออาจได้รับความเสียหายจากสัตว์จำพวกหนูหรือกระรอกกัดแทะ การใช้งานเคเบิลชนิดผสมสายทองแดงคู่ตีเกลียวนั้น เนื่องจากในระยะแรกๆ สายคู่ตีเกลียวถูกนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์โทรศัพท์ แต่ในปัจจุบันสามารถทดแทนอุปกรณ์ดังกล่าวด้วยสัญญาณแสง (Optical Talk set) ถึงกระนั้นก็ตามเคเบิลชนิดผสมยังคงมีใช้อยู่บางท้องถิ่น

ความแข็งแรงทนทานของเคเบิลใยแก้วนำแสงทั้งในระยะสั้นและระยะยาวสามารถประเมินได้จากการทดสอบด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งวัดออกมาเป็นค่าลดทอนเฉลี่ยของเส้นใยแก้วนำแสง จะต้องไม่มากเกินกว่าที่ระบุไว้ในข้อกำหนด ในปัจจุบันมีการผลิตเคเบิลใยแก้วนำแสงจำนวน 420 Fiber และยังมีขนาดอื่นๆ อีกมากมาย โดยเฉพาะวัสดุที่ใช้ห่อหุ้มและเกราะป้องกันชนิดต่างๆ ควรเลือกใช้ให้เหมาะกับลักษณะงานเพื่อความประหยัดค่าใช้จ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การติดตั้งข่ายสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

สายส่งสัญญาณชนิดเส้นใยแก้วนำแสงเริ่มมีการพัฒนาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 เป็นต้นมา ถึงแม้ว่าสายส่งชนิดนี้สามารถเพิ่มความจุของช่องสัญญาณได้สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับสายส่งตัวนำแบบแกนร่วม (Coaxial cable) ก็ตาม แต่อุปสรรคที่สำคัญคือความแข็งเปราะของมัน และการติดตั้งที่ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษคือแรงดึงและรัศมีการโค้งงอสายที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ แต่ถึงกระนั้น ข้อได้เปรียบของเคเบิลใยแก้วนำแสงที่เห็นได้ชัดคือการติดตั้งสามารถทำได้โดยง่าย ซึ่งมีวิธีการต่างๆ คล้ายกับการติดตั้งเคเบิลทองแดงทั่วไป

หากพิจารณาสายส่งสัญญาณที่มีอยู่ในขณะนี้ ถือได้ว่าเคเบิลใยแก้วนำแสงมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่าเคเบิลชนิดอื่นๆ ทั่วไป ตัวอย่างเคเบิลใยแก้วนำแสงขนาด 204 Fiber เส้นหนึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 15.24 มม. และมีน้ำหนักประมาณ 0.20 Kgs/m หากเปรียบเทียบกับเคเบิลทองแดงตีเกลียวจำนวน 200 คู่ ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 28 มม. และมีน้ำหนักถึง 1.04 Kgs/m การขนส่งโดยม้วนสายเคเบิลรอบวงล้อสามารถเพิ่มความยาวได้มากขึ้นเพราะมีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้การติดตั้งโดยร้อยผ่านท่อสามารถกระทำได้ในเวลาอันรวดเร็วและระยะทางไกลมากขึ้นเนื่องจากน้ำหนักที่เบากว่านั่นเอง นอกจากนี้ยังช่วยลดจำนวนจุดเชื่อมต่อสายเคเบิลอีกทางหนึ่ง ส่งผลให้เกิดความเชื่อมั่นสูงในระยะยาว กล่าวคือจุดเชื่อมต่อต่างๆ ย่อมเกิดข้อยุ่งยากตามมาในอนาคต หากลดจำนวนหัวต่อลงปัญหาและข้อยุ่งยากต่างๆ ที่อาจตามมาก็ลดน้อยลงด้วย

วิธีการและเครื่องมือต่างๆ สำหรับติดตั้งสายเคเบิลทองแดงทั่วไปสามารถนำมาใช้เพื่อติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงได้ สิ่งที่ต้องระมัดระวังก็คือ อัตราแรงดึงที่มีมากเกินไปจนทำให้เส้นใยแก้วนำแสงขาด และรัศมีโค้งงอต่ำสุดของสายเคเบิล ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสูญเสียของสัญญาณแสงเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งอายุการใช้งานสั้นลง เคเบิลทั่วไปสามารถทนแรงดึงได้สูงสุด 2700 N และมีรัศมีโค้งงอต่ำสุดค่าหนึ่งขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของสายเคเบิลนั้นๆ ตัวอย่างเพื่อป้องกันมิให้สายเคเบิลยืดตัวในขณะทำการติดตั้ง จะต้องไม่โค้งงอสายจนมีรัศมีต่ำกว่า 20 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก

ถึงแม้การติดตั้งเสร็จสิ้นลงแล้ว สายเคเบิลยังสามารถรับภาระน้ำหนักเพิ่มได้อีกไม่เกิน 25% ของจำนวนภาระสูงสุดขณะทำการติดตั้ง และรัศมีโค้งงอที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ไม่เกิน 10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกภายหลังจากการติดตั้ง สำหรับเคเบิล 204 Fiber ที่กล่าวถึงข้างต้นมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 15.24 มม. รัศมีต่ำสุดที่โค้งงอได้ขณะทำการติดตั้งคือ 304.80 มม. และภายหลังการติดตั้งสามารถรองรับได้ถึง 152.40 มม. เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 เทคนิคการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber optic jointing technique)

โดยปกติแล้ว สายเคเบิลที่ผลิตขึ้นจะมีความยาวหลายๆ ขนาดและเมื่อนำมาติดตั้งเป็นเครือข่ายจำเป็นต้องเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน นอกจากนี้การออกแบบวางเครือข่ายไม่เพียงแต่คำนวณเฉพาะสัมประสิทธิ์ค่าลดทอนของเส้นใยแก้วนำแสงเท่านั้น แต่จะต้องคำนึงถึงค่าสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อตามจุดต่างๆ อีกด้วย หากต้องการลดค่าสูญเสียจากการเชื่อมต่อก็จะต้องเพิ่มความยาวของสายเคเบิลแต่ละช่วงให้มากขึ้น จุดเชื่อมต่อสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือการเชื่อมต่อทางกล (Mechanical joint) และการเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion joint) การเชื่อมต่อทางกล ได้แก่ หัวต่อสาย (Connectors) และอุปกรณ์เชื่อมต่อสาย (Mechanical splices)

การใช้หัวต่อสาย (Connectors) คือการเชื่อมต่อแบบชั่วคราวซึ่งประกอบด้วยหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง 2 อัน นำมาประกบเข้าด้วยกันด้วยตัวกลางชนิดหนึ่ง (Adapter) เพื่อทำให้ปลายของหัวต่อสามารถสัมผัสกันโดยตรง การเชื่อมต่อในลักษณะนี้จะเกิดค่าสูญเสีย 2 ชนิดคือค่าสูญเสียจากการส่งผ่านสัญญาณ (Insertion loss) และค่าสูญเสียจากการสะท้อนกลับของสัญญาณ (Return loss) ค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของหัวต่อแต่ละแบบ การเชื่อมต่อด้วยอุปกรณ์เชื่อมต่อสาย (Mechanical splices) นิยมใช้กับเครือข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด (Multi mode) ทั่วไป หรือใช้สำหรับข่ายสายเคเบิลที่มีระยะทางสั้นๆ โดยปกตินิยมใช้เพื่อซ่อมแซมเคเบิลในลักษณะชั่วคราวหรือใช้สำหรับวัดค่าสัญญาณต่างๆ เครือข่ายโทรคมนาคมที่มีประสิทธิภาพสูงนั้นไม่นิยมเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว (Single mode) ซึ่งจะใช้วิธีหลอมละลายแทนเพื่อให้การเชื่อมต่อเป็นแบบถาวร

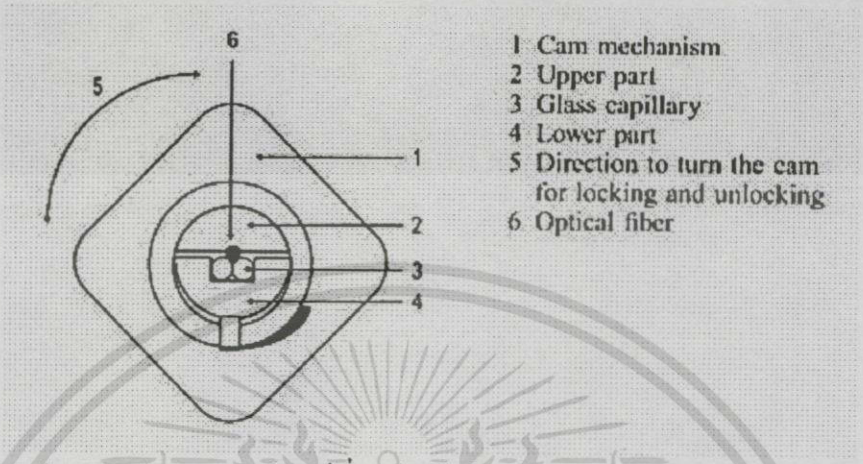
3.1.1 อุปกรณ์เชื่อมต่อสายทางกล (Mechanical splices)

การเชื่อมต่อทางกลหมายถึงการนำปลายทั้งสองของเส้นใยแก้วนำแสงสัมผัสกันโดยตรง โดยทั่วไปนิยมใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นร่องคล้ายรูปตัวอักษร "V" เป็นฐานรองให้กับเส้นใยแก้วนำแสง บริเวณจุดกึ่งกลางหรือตำแหน่งปลายเส้นใยแก้วนำแสงสัมผัสกันนั้น ผู้ผลิตมักจะเติมของเหลวชนิดหนึ่งที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงใกล้เคียงแก้วมากที่สุด ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมบริเวณช่องว่างแคบๆ ระหว่างปลายทั้งสองของเส้นใยแก้วนำแสง

ความสูญเสียจากการเชื่อมต่อ (Splice loss) มีค่าต่ำใกล้เคียงกับวิธีเชื่อมต่อด้วยการหลอมละลาย อย่างไรก็ตาม การเชื่อมต่อทางกลนี้จะเกิดค่าสูญเสียอีกชนิดหนึ่งคือค่าสูญเสียจากการสะท้อนกลับ (Return loss) โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สำหรับการใช้งานทั่วไปนั้นค่าสูญเสียจากการส่งผ่านสัญญาณ (Insertion loss) มีค่า 0.2 dB. และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหของแสงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำ (-40 °C) จะทำให้เกิดค่าสูญเสียชนิดสะท้อนกลับประมาณ –50 dB จะเห็นว่าประสิทธิภาพโดยรวมยังไม่ส่งผลกระทบต่อระบบมากนัก ดังนั้นการเชื่อมต่อทางกลจึงเป็นที่นิยมมากสำหรับจุดเชื่อมต่อแบบชั่วคราวทั่วไปหรือในกรณีต้องการความรวดเร็ว ซึ่งเป็นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

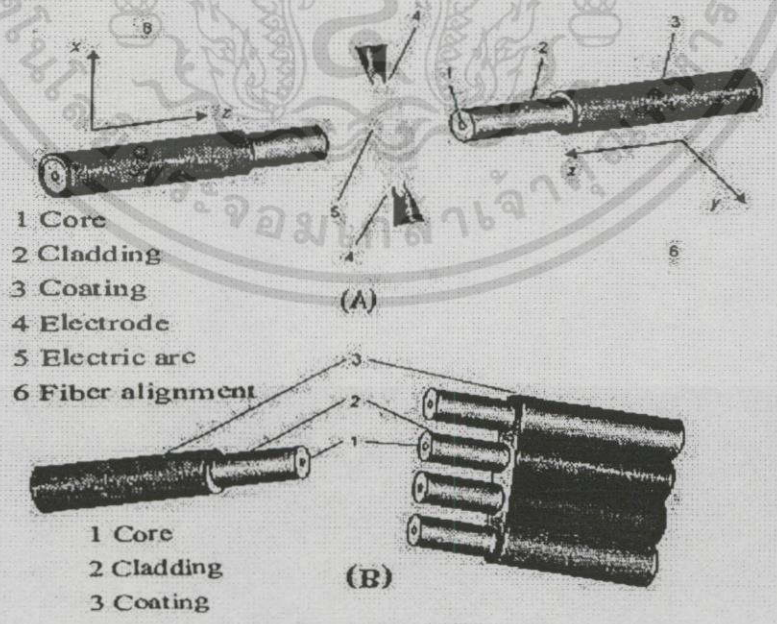
เลือกหนึ่ง นอกเหนือจากการเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เป็นตัวอย่างของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางกลชนิดหนึ่งโดยใช้ฐานรองที่มีความเที่ยงตรงสูงทำด้วยเส้นใยแก้วขนาดเล็ก 2 เส้นประกบกัน ค่าสูญเสียจากการเชื่อมต่อโดยเฉลี่ย 0.15 dB.



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์เชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Mechanical splices

3.1.2 การเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion splice)

จุดมุ่งหมายของการเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลายคือต้องการเชื่อมเส้นใยแก้วนำแสงให้เกิดความแข็งแรง ค่าสูญเสียและการสะท้อนกลับอยู่ในระดับต่ำคงที่ตลอดระยะเวลาการใช้งาน เครื่องมือสำหรับทำหน้าที่หลอมละลายนี้ต้องสามารถปรับแกนทั้งสองของเส้นใยแก้วนำแสงได้อย่างเที่ยงตรงก่อนที่จะหลอมละลายด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้าสลับความถี่สูงระหว่างแท่งตัวนำไฟฟ้า (Electrode) 2 แท่ง ดังรูปที่ 3.2 (A)



รูปที่ 3.2 (A) หลักการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีหลอมละลาย

(B) ลักษณะเส้นใยแก้วนำแสงชนิดเส้นเดียวและแบบ Ribbon

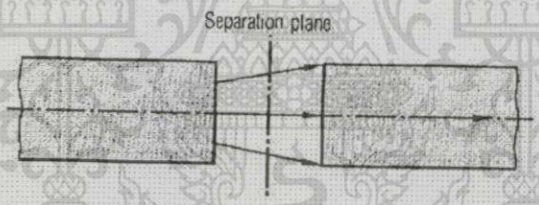
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากพิจารณาตามโครงสร้างของการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดเส้นใยแก้วนำแสงเดียว (Single-fiber) และชนิดเส้นใยแก้วนำแสงหลายเส้น (Ribbon fiber) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีขนาดโครงสร้างและจำนวนเส้นใยนำแสงแตกต่างกัน ดังรูปที่ 3.2 (B) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้เครื่องมือสำหรับเชื่อมต่อให้ถูกต้อง

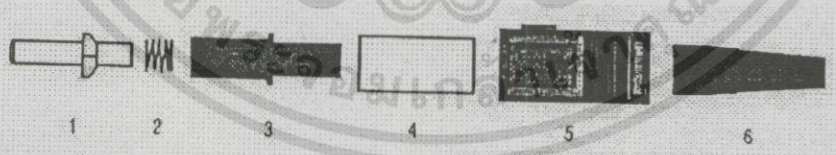
3.2 หัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Connector)

การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงแบบชั่วคราวที่นิยมแพร่หลายคือการใช้หัวต่อ (Connector) จะเห็นได้ว่าปลายสายเคเบิลเกือบทุกแห่งจะถูกเชื่อมต่อด้วยหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงดังกล่าวนี้ เพื่อเชื่อมโยงต่อไปยังอุปกรณ์อีเล็กทรอนิกส์อื่นๆ นอกจากนี้ยังนำมาใช้เพื่ออำนวยความสะดวกต่อการย้ายวงจรหรือเปลี่ยนแปลงระบบเชื่อมโยงใหม่ด้วยเคเบิลเส้นทางอื่นได้อย่างรวดเร็ว ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากต่อเครือข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสง

โดยปกติแล้วหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงมักจะประกอบด้วยหัวต่อ (Connector) 2 อัน นำมาสอดลงในท่อเล็กๆ (Sleeve) โดยให้ปลายทั้งสองของหัวต่อสัมผัสกันและขนานกัน (ดังรูปที่ 3.3) ซึ่งเป็นวิธีเดียวที่จะทำให้ค่าสูญเสียบริเวณจุดเชื่อมต่อลดน้อยลงทั้งความยาวคลื่น 850, 1310 และ 1550 ไมโครเมตร



รูปที่ 3.3 หลักการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วย Connector



1 Ferrule
2 Spring
3 Crimping ring
4 Inner housing
5 Outer housing
6 Boot

รูปที่ 3.4 ชิ้นส่วนต่างๆของหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Connector)

ชิ้นส่วนต่างๆ ที่สำคัญของหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง (พิจารณาได้จากรูปที่ 3.4) ได้แก่ Ferule (หัวหุ้มด้านหน้า) Housing (ตัวเรือนหัวต่อ) Crimping ring (วงแหวนลักษณะลูกฟูก) และ Boot (หัวหุ้มปลาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยแก้วนำแสงจะถูกเชื่อมติดอยู่ภายในท่อทรงกระบอกที่เจาะทะลุตรงจุดศูนย์กลาง (หัวหุ้มด้านหน้า) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเล็กมาก ตั้งแต่ 126 – 127 ไมโครเมตร สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว (Single – mode) และ 127 – 128 ไมโครเมตร สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด (Multi mode) โดยที่เส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 ชนิดต่างมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 125 ไมโครเมตร บริเวณปลายของหัวหุ้มด้านหน้ามีลักษณะแบนเรียบ

ตัวเรือนหัวต่อซึ่งล้อมรอบหัวหุ้มด้านหน้านั้นมี 2 ชั้นเพื่อทำหน้าที่ยึดติดกับท่อ (Sleeve) การเชื่อมหัวต่อเข้าด้วยกันนี้อาจใช้เกลียวหมุน (Screw) แบบเขี้ยว (Bayonet) หรือวิธีกดเข้า – ดึงออก (Push – Pull) อย่างใดอย่างหนึ่ง ส่วนภายในวงแหวนลูกฟูกนั้นเป็นตำแหน่งปลายสุดของเส้นใยแก้วนำแสงและทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากแรงดึง

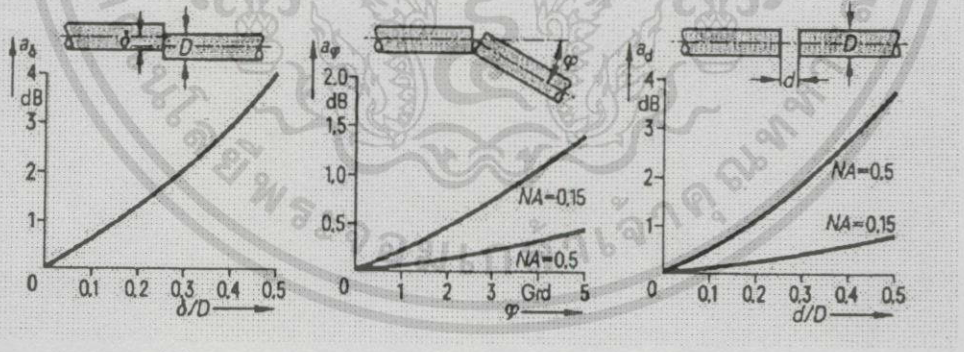
คุณภาพของหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง คุณภาพของหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียวพิจารณาได้จากค่าสูญเสียของการส่งผ่านและค่าสูญเสียจากการสะท้อนกลับของสัญญาณ แต่สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดนั้น โดยปกติแล้วจะวัดเฉพาะค่าสูญเสียของการส่งผ่านสัญญาณเท่านั้น ซึ่งพิจารณาจากจำนวนค่าลดทอนที่เพิ่มสูงขึ้นในระบบ สาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดค่าสูญเสียดังกล่าวสามารถพิจารณาได้จากรูปที่แสดงดังนี้

1) แกนทั้งสองของเส้นใยแก้วนำแสงอยู่ในตำแหน่งเยื้องศูนย์ (รูปที่ 3.5A)

2) เกิดมุมเอียงระหว่างปลายเส้นใยแก้วนำแสง (รูปที่ 3.5B)

3) ปลายทั้งสองของเส้นใยแก้วนำแสงแยกออกจากกัน (รูปที่ 3.5C)

4) เกิดช่องว่างระหว่างปลายทั้งสองของเส้นใยแก้วนำแสง เนื่องมาจากการขัดผิวหน้าตัดมากเกินไป (รูปที่ 3.6)

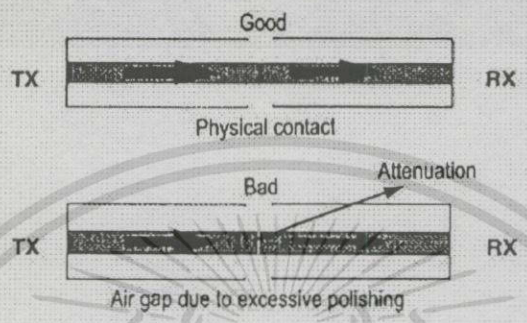


รูปที่ 3.5 ค่าสูญเสียชนิดต่างๆ ของ Connector (A) ค่าสูญเสียจากการเยื้องศูนย์ (B) ค่าสูญเสียจากการเกิดมุมเอียง (C) ค่าสูญเสียจากการเกิดช่องว่าง

นอกเหนือจากนี้ ค่าสูญเสียจากการส่งผ่านสัญญาณบริเวณหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงยังขึ้นอยู่กับ ความคงทนของชิ้นส่วนต่างๆ ของหัวต่ออีกด้วย หัวต่อที่มีอยู่ในปัจจุบันเช่น ชนิด FC หรือแบบ ST โดยทั่วไปจะแสดงค่าสูญเสียประมาณ 0.2 dB ในทางปฏิบัติจุดเชื่อมต่อด้วยหัวต่อเส้นใย

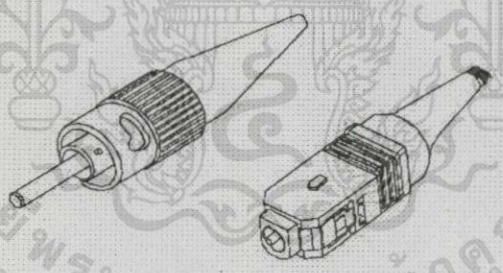
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้วนำแสง ที่ประกอบด้วยหัวต่อ 2 อันและท่อกลาง (Sleeve) 1 ชุด ควรมีค่าสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่านสัญญาณไม่เกิน 0.5 dB หัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียวทั่วไปควรมีค่าสูญเสียจากการสะท้อนกลับไม่เกิน –45 dB หรือ –55 dB อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณแสงชนิดเลเซอร์ที่ใช้ในระบบส่งสัญญาณนั้น มีความไวต่อการสะท้อนกลับของสัญญาณสูงมาก สำหรับการส่งสัญญาณอะนาลอก เช่น เครือข่าย CATV ค่าสูญเสียจากการสะท้อนกลับจะต้องน้อยกว่า –55 dB ในทางปฏิบัติสามารถกระทำได้ด้วยการขัดผิวหน้าตัดให้มีมุมเอียงประมาณ 8 หรือ 9 องศา (ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต)



รูปที่ 3.6 ค่าสูญเสียจากการขัดผิวหน้าสัมผัสของ Connector มากเกินไป

หัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงในปัจจุบันมีมากมายหลายรูปแบบ ได้แก่ SC, FC, ST, FDDI, E2000, DIN, SMA, D4, EC, BICONIC, ESCON, MT ส่วนหัวต่อที่นิยมมากที่สุด คือ SC, ST (ดังรูปที่ 3.7) และ FDDE สำหรับระบบ LAN นอกจากนี้ยังมีแบบ SC, FC, E2000 และ DIN สำหรับระบบโทรคมนาคมและเครือข่าย CATV



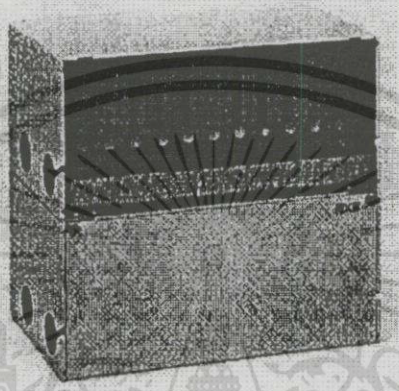
รูปที่ 3.7 ตัวอย่าง Connector ชนิด ST และ SC

3.3 ตู้พักสายเคเบิลใยแก้วนำแสง (Fiber optic distribution)

เคเบิลใยแก้วนำแสงที่เชื่อมโยงเป็นเครือข่ายนั้นจำเป็นต้องอาศัยชิ้นส่วนต่างๆ ประกอบกันเพื่อทำหน้าที่พักสายปลายทาง (Terminate) กระจายสายเคเบิลออกเป็นสาขาย่อยๆ (Branch) หรือเชื่อมต่อสายเคเบิลเข้าด้วยกัน การเลือกใช้อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนต่างๆ ให้เหมาะสมกับเครือข่ายนั้นสามารถพิจารณาได้จากตำแหน่งที่ติดตั้งเช่น ติดตั้งภายในอาคารได้แก่ ตู้พักเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber optic distribution components) ส่วนที่ติดตั้งภายนอกอาคารได้แก่ หัวต่อเคเบิลใยแก้วนำแสง (Fiber optic closure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตู้พักเส้นใยแก้วนำแสงรวมทั้งชิ้นส่วนต่างๆ ทำหน้าที่เป็นที่พักปลายสายเคเบิล เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงระบบเครือข่ายที่อาจมีขึ้นในอนาคตสามารถกระทำได้โดยง่ายและสะดวก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดเชื่อมต่อและหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงของเคเบิลแต่ละเส้น และเนื่องจากชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ของตู้พักเส้นใยแก้วนำแสง จะเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณอีเล็กทรอนิกส์โดยตรง ดังนั้นจึงมีความสำคัญมากสำหรับการถ่ายโอนวงจร (Cut cover) และการวัดค่าต่างๆ ด้วยเครื่องมือทดสอบ การออกแบบตู้พักสายเคเบิลเพื่อติดตั้งในเครือข่ายยังต้องคำนึงถึงผลรวมของค่าลดทอนที่เกิดขึ้นอีกด้วย ดังนั้น จึงควรพิจารณาจำนวนตู้พักให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ (ดังตัวอย่างรูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 ชิ้นส่วนต่างๆของตู้พักสายเคเบิล

ตู้พักสายเคเบิลใยแก้วนำแสงประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ที่สำคัญ 4 ชนิด ได้แก่

1) กล่องหรือแผงรูปทรงสี่เหลี่ยม สำหรับเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเข้าด้วยกัน (Splice-modules, Splice boxes, Wall panels)

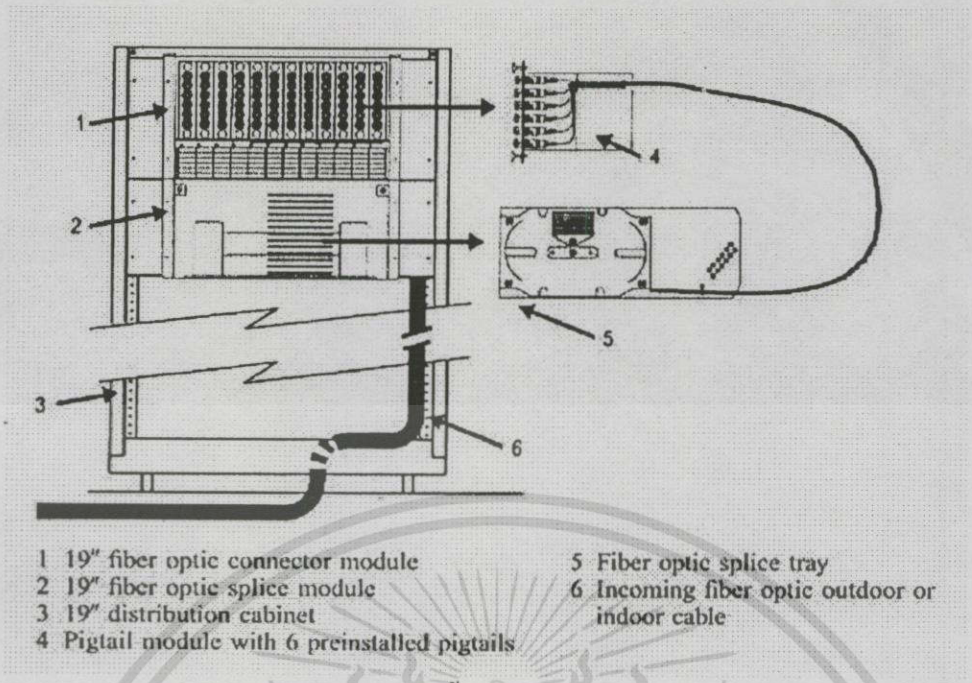
2) กล่องหรือแผงรูปทรงสี่เหลี่ยม สำหรับยึดหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Connector-modules, Patch panels, Wall distribution panels)

3) กล่องหรือแผงรูปทรงสี่เหลี่ยม สำหรับเป็นที่พักสายเคเบิลใยแก้วนำแสงส่วนเกินที่เผื่อไว้ (Modules, Wall panels)

4) ตู้พักหัวต่อหรือตู้พักจุดเชื่อมต่อ หมายถึงตู้สำหรับบรรจุส่วนประกอบทั้ง 3 ชนิดข้างต้นเข้าไว้ด้วยกัน (Combined splice, Connector housings)

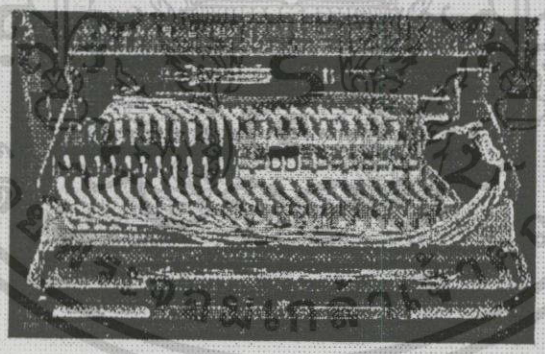
การออกแบบตู้พักสายเคเบิลนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน เครือข่ายเฉพาะกลุ่มและเครือข่ายส่วนท้องถิ่น (LAN) ส่วนใหญ่นิยมใช้ร่วมกับตู้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์อีเล็กทรอนิกส์เดิม ซึ่งเรียกว่าตู้ขนาดมาตรฐาน 19 นิ้ว หรือ 482.6 มม. (ดังรูปที่ 3.9) และเป็นที่นิยมใช้กันมาก สำหรับเครือข่ายที่ให้บริการด้านโทรคมนาคมและระบบ CATV ในสหรัฐอเมริกา ตลอดจนหลายๆ ประเทศในเอเชีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ลักษณะของตู้พักสายเคเบิลชนิด 19 นิ้ว

ในยุโรปนั้นส่วนใหญ่อ้างอิงกับมาตรฐาน ETSI (ETS300 119-3) โดยยึดถือขนาดโครงสร้าง 19 นิ้วด้วยขนาดรูปทรงความกว้าง x ความสูง x ความลึก เป็น 600 X 2200 X 300 มม. (ดังรูปที่ 3.10) ส่วนเครือข่ายเฉพาะกลุ่มขนาดเล็ก หรือการเชื่อมโยงไปยังลูกค้าโดยตรงนั้นส่วนใหญ่นิยมใช้แผงรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ยึดติดไว้กับผนังห้องของอาคารแทน (Fiber optic wall- mounted panels)



รูปที่ 3.10 ตู้พักสายเคเบิลขนาดมาตรฐาน ETSI

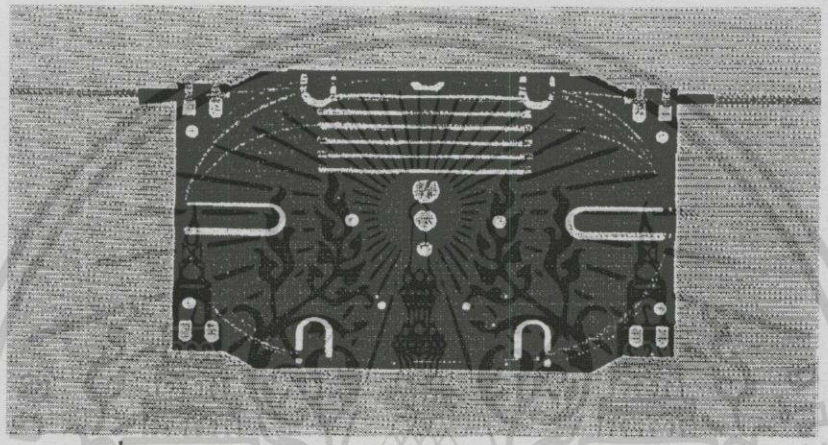
3.4 หัวต่อเคเบิลใยแก้วนำแสง (Fiber optic closure)

จุดประสงค์ของหัวต่อเคเบิลใยแก้วนำแสงคือป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับจุดเชื่อมต่อสายเคเบิล เช่นจุดเชื่อมต่อสายเคเบิลในกรณีต้องการเพิ่มระยะทาง (Trunk cable) หรือจุดแยกเคเบิลออกเป็นสาขาย่อยๆ (Branching cable หรือ Distribution cable) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าให้กับสายเคเบิลบางชนิดที่มีส่วนประกอบเป็นโลหะ หัวต่อเคเบิลใยแก้วนำแสงสามารถ

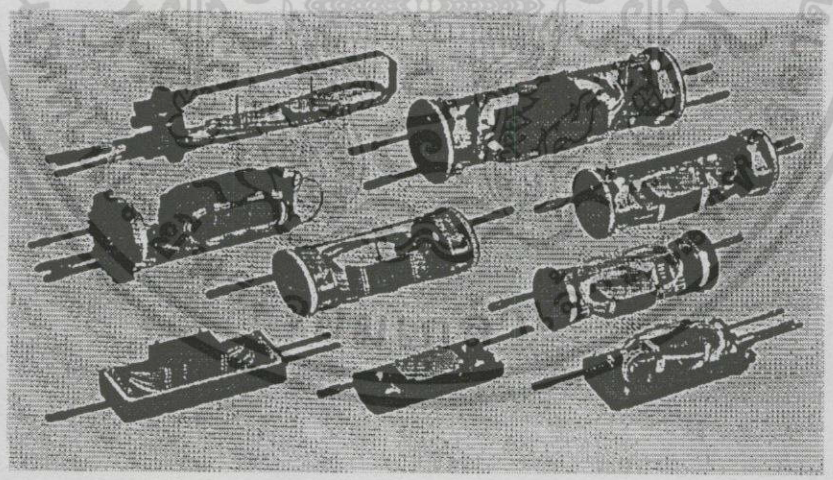
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งได้ง่ายร่วมกับข่ายสายเคเบิลทั้งชนิดฝังไว้ใต้ดินโดยตรง ผ่านท่อร้อยสายเคเบิลหรือพาดแขวนอากาศ

หัวต่อเคเบิลใยแก้วนำแสงประกอบด้วยถาดรองเส้นใยแก้วนำแสงภายหลังจากการเชื่อมต่อ (Splice Trays) จำนวนหนึ่งวางซ้อนทับกันและที่ว่างภายในหัวต่อสำหรับม้วนเก็บท่อพลาสติกที่บรรจุเส้นใยแก้วนำแสง (Buffer tubes) ส่วนที่เหลือ พิจารณาได้จากรูปที่ 3.11 และ 3.12 ข้อควรระวังคือค่าลดทอนของเส้นใยแก้วนำแสงที่อาจเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการโค้งงอมากเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดวางท่อพลาสติกส่วนเกินหรือขณะจัดเก็บเส้นใยนำแสงที่เชื่อมต่อเรียบร้อยแล้วลงบนถาดรอง



รูปที่ 3.11 ถาดรองจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Splice Tray) และ heat-shrink



รูปที่ 3.12 หัวต่อเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นการจัดเก็บข้อมูลด้านเอกสารชนิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับข่ายสายเคเบิลใยแก้วนำแสง เพื่อให้เกิดความสะดวกในการค้นหาและการแก้ไขข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นได้ในภายหลัง การได้มาซึ่งข้อมูลดังกล่าว เหล่านี้จำเป็นต้องออกสำรวจข่ายสายการเชื่อมโยงตลอดทั้งเส้นทาง วิธีการและรายละเอียดต่างๆ จะได้กล่าวถึงต่อไปดังนี้

4.1 การจัดทำเอกสาร

รายละเอียดการติดตั้งข่ายสายเคเบิลมักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทั้งแผนผังการเชื่อมต่อสายเคเบิลและอุปกรณ์สำหรับสื่อสัญญาณ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดทำเอกสารควบคุมการติดตั้งให้ถูกต้องและสามารถปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันได้โดยง่าย เมื่อการติดตั้งข่ายสายเคเบิลเสร็จสิ้นลงและชำระค่าใช้จ่ายเป็นที่เรียบร้อยแล้ว เอกสารด้านธุระการทั่วไปจะลดความสำคัญลงและมักจะนำเก็บเข้าแฟ้ม ส่วนเอกสารที่เหลือจะเป็นเอกสารเกี่ยวกับข่ายสายเคเบิลที่ติดตั้งแล้วซึ่งเรียกว่า "เอกสารเป็น" หรือเอกสารที่ยังต้องใช้งานอยู่และอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ได้แก่ ข้อกำหนดในการปฏิบัติ ผลการตรวจรับเคเบิลที่ติดตั้งแล้ว (ก่อนการตัดต่อเคเบิล) ผลการตรวจรับเคเบิลครั้งสุดท้าย (หลังจากการตัดต่อเคเบิล) เอกสารเกี่ยวกับระบบขั้นสุดท้าย (รายละเอียดการเชื่อมโยงทั้งหมด) และรายละเอียดข้อกำหนดทางเทคนิคขั้นสุดท้าย (สำหรับใช้เป็นแนวทางเพื่อปรับปรุงเปลี่ยนแปลงระบบในอนาคต) เอกสารดังกล่าวเหล่านี้ถือว่าเป็นเอกสารด้านเทคนิค ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้างระบบโดยตรง และสามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้ เอกสารบางข้อข้างต้นอาจครอบคลุมเฉพาะการติดตั้งในครั้งแรกเท่านั้น การติดตั้งเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงในอนาคตจะต้องอาศัยแนวทางของเอกสารด้านเทคนิคเหล่านี้

4.1.1 เอกสารด้านเทคนิค (Technical Documentation)

วัตถุประสงค์ของเอกสารด้านเทคนิคคือกำหนดรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับลักษณะโครงสร้างเคเบิลใยแก้วนำแสง แนวสายเคเบิล หัวต่อเคเบิลปลายทาง ตลอดจนมาตรฐานการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ นอกจากนี้เอกสารดังกล่าวยังอำนวยความสะดวกต่อการซ่อมแซมและบำรุงรักษาอีกด้วย โดยปกติแล้วผู้ดำเนินการติดตั้งจะต้องจัดทำเอกสารนี้ขึ้นและส่งมอบให้กับผู้ว่าจ้างหรือลูกค้า เอกสารด้านเทคนิคประกอบด้วยรายละเอียดต่างๆ ที่เรียกว่า เอกสารเกี่ยวกับระบบขั้นสุดท้าย (Final System Documentation) ซึ่งในระหว่างการออกแบบนั้นเอกสารจำนวนมากจะถูกจัดทำขึ้นได้แก่ แบบแผนทั่วไป (Block schematic) แผนภูมิการเชื่อมโยงเคเบิลและแผนภูมิการเชื่อมต่อสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ นอกจากนี้ยังมีเอกสารเกี่ยวกับหัวต่อปลายทาง (Enclosure–matrix) และการจัดการควบคุมหัวต่อดังกล่าว เอกสารเกี่ยวกับระบบขั้นสุดท้ายจะประกอบด้วยเอกสารต่างๆเหล่านี้รวมถึงผลการทดสอบครั้งสุดท้ายด้วย โครงสร้างของเอกสารควรออกแบบให้สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการติดตั้งข่ายสายเคเบิล รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างแผนภูมิชนิดต้นไม้และกิ่ง (A tree and branch Structure) สำหรับทำหน้าที่จัดเก็บเอกสารดังกล่าวข้างต้น

อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้อาจมีข้อเสียอยู่บ้างหากไม่ได้รับการควบคุมที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในกรณีแถวใดแถวหนึ่งที่อยู่ด้านล่างมีการเปลี่ยนแปลงจะต้องไม่ส่งผลกระทบไปยังด้านบน เพื่อป้องกันมิให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้นจึงควรจัดทำเอกสารการติดตั้งให้สมบูรณ์ด้วยการแยกประเภทส่วนที่สำคัญๆ ออกเป็น 3 ระดับชั้น โดยคำนึงถึงการเชื่อมโยงของเอกสารจะต้องกระทำได้ง่ายและรวดเร็ว ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.1.1.1 เอกสารระดับที่หนึ่ง (Top-Level Documentation)

เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานเฉพาะรายละเอียดแนวสายเคเบิลหลัก ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงด้วยการเพิ่มหรือลดจำนวนเท่านั้น

4.1.1.2 เอกสารระดับที่สอง (Intermediate-Level Documentation)

เป็นการออกแบบวางสายเคเบิลโดยกำหนดองค์ประกอบของแต่ละเส้นทางซึ่งจะประกอบไปด้วยรายละเอียดเกี่ยวกับแนวสายเคเบิลในแต่ละเส้นทาง รหัสหัวต่อสายเคเบิลกลางทาง รหัสของหัวต่อสายเคเบิลปลายทางทั้ง 2 ด้านและตัวเคเบิล

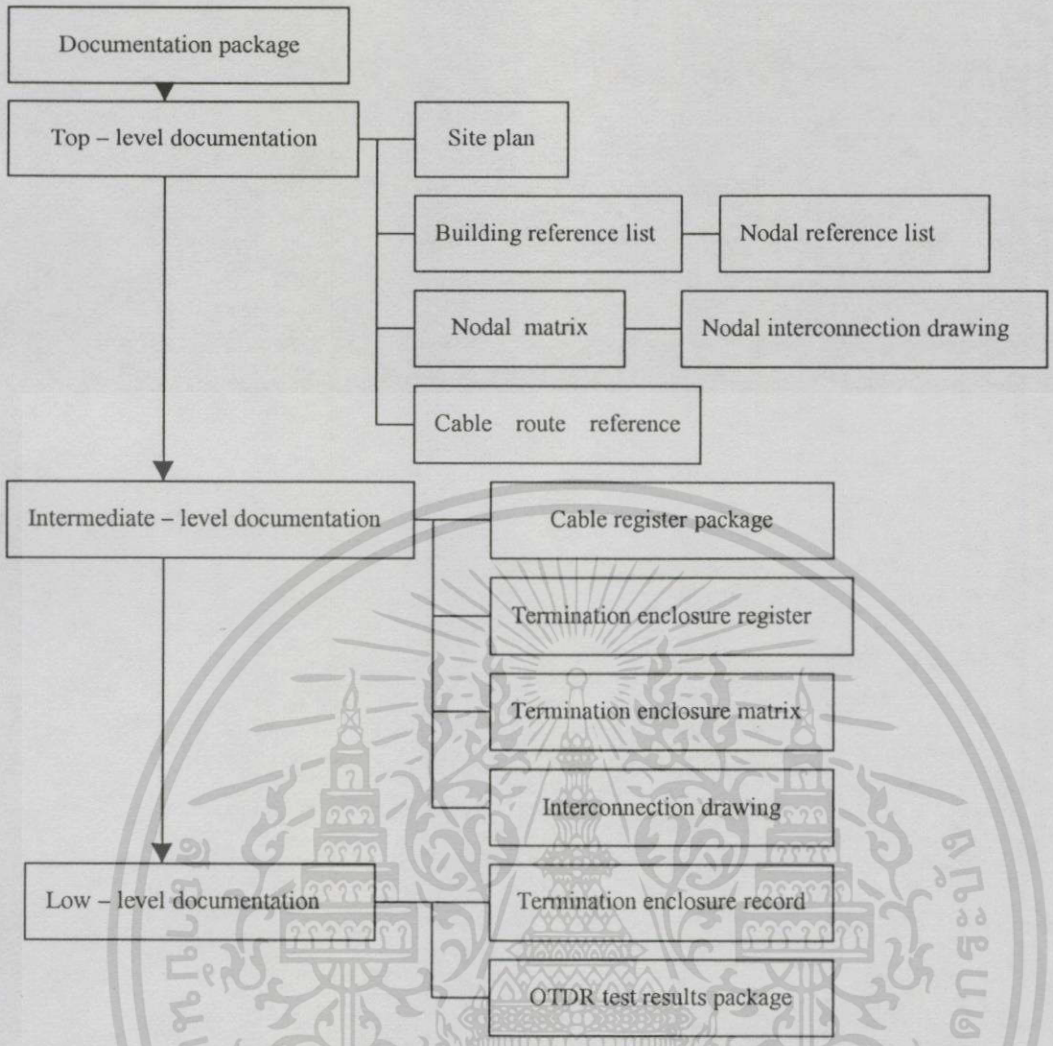
4.1.1.3 เอกสารระดับที่สาม (Low - Level Documentation)

เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อทางกายภาพ (Physical connectivity layer) โดยระบุรายละเอียดลึกลงไปมากขึ้นเช่นแนวเคเบิลในแต่ละเส้นทางนั้นถูกควบคุมหรือจัดการด้วยหัวต่อปลายทางชุดใดเป็นต้น เอกสารในส่วนนี้จะได้รับการแก้ไขเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแม้เพียงเล็กน้อยเกิดขึ้น กล่าวคือหากมีการเพิ่มสายจัมเปอร์ (Pigtails) เพียง 1 คู่ทั้ง 2 ด้านของสายเคเบิลจะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อเอกสารในระดับที่หนึ่งและที่สอง และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยดังกล่าวนี้มักเกิดขึ้นเป็นประจำ ดังนั้นการแก้ไขเปลี่ยนแปลงเอกสารในแต่ละครั้งจึงสามารถกระทำได้อย่างรวดเร็ว

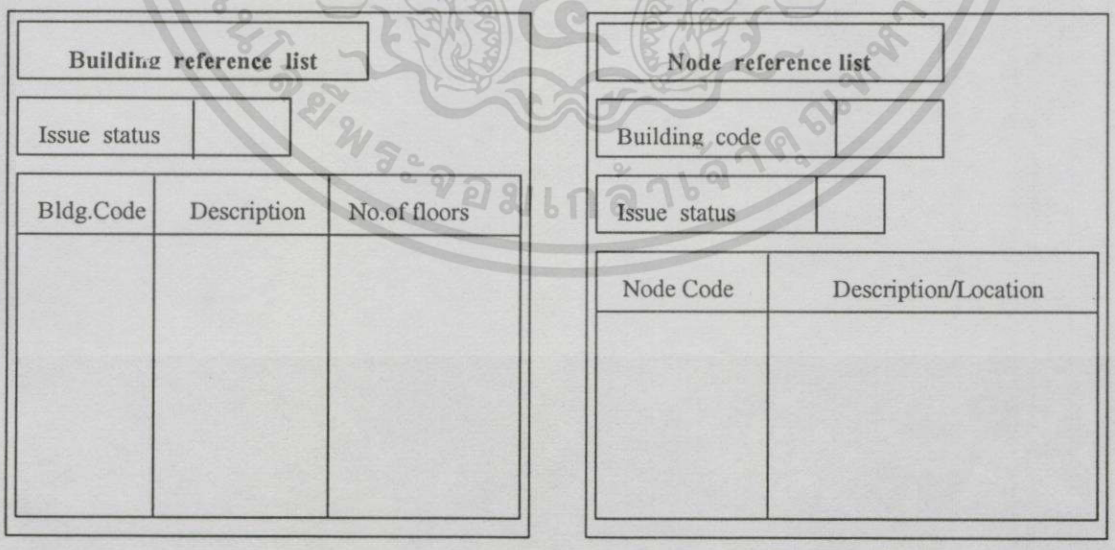
4.1.2 เนื้อหาและรูปแบบของเอกสาร (Contents and layout)

สิ่งสำคัญของการจัดเก็บเอกสารคือความเป็นมาตรฐานและเป็นทางการ พยายามหลีกเลี่ยงการรวบรวมเอกสารที่ไม่เป็นระเบียบ เอกสารอาจแตกต่างกันไปแต่จะต้องออกแบบเพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขที่อาจเกิดขึ้นได้ในภายหลัง สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ระดับคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของเอกสาร (Tree and Branch Structure)



รูปที่ 4.2 รายละเอียดอาคารและ Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1 รายละเอียดเกี่ยวกับ Node ระดับบน (Top-level nodal information)

1) แผนผังของบริเวณที่จะทำการติดตั้ง (Site Plan) แผนผังบริเวณที่จะทำการติดตั้ง คือ ภาพรวมของสถานที่ที่จะทำการติดตั้งระบบโดยอาจเป็นแบบพิมพ์เขียวโครงสร้างของอาคาร เป็นต้น

2) การกำหนดรหัสอาคาร และรหัส Node (Building and Nodal reference list) แต่ละอาคารจะกำหนดรหัสให้เป็นตัวเลข แต่ละชั้นของอาคารจะกำหนดรหัสให้เป็นตัวอักษรและรหัส Node จะกำหนดขึ้นเป็นตัวเลขตามชั้นของแต่ละอาคารต่อไปเป็นลำดับ ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งทำให้สามารถเชื่อมโยง Node ต่างๆ ได้ด้วยรหัสเหล่านี้ และควรออกแบบให้ง่ายต่อการขยายระบบหรือการติดตั้งเคเบิลเพิ่มเติมในอนาคต รูปที่ 4.3 แสดงรหัส Node และการเชื่อมโยง ในบางครั้งรหัสอาคาร รหัสชั้นของอาคารและรหัส Node อาจกำหนดขึ้นพร้อมๆ กัน วิธีการดังกล่าวหากเพิ่ม Node ขึ้นตามชั้นของอาคารเราสามารถปรับปรุงแก้ไขเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับ Node ใหม่เท่านั้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระดับที่อยู่เหนือขึ้นไปแต่อย่างใด

3) รหัสแนวสายเคเบิล (Cable route reference) รหัสแนวสายเคเบิลหมายถึงการกำหนดแนวเชื่อมโยง Node แต่ละแห่งเข้าด้วยกันอาจมีได้มากกว่า 1 เส้นทาง (พิจารณาจากรูปที่ 4.4)

4.1.2.2 รายละเอียดเกี่ยวกับ Node ระดับกลาง (Intermediate level documentation)

รายละเอียดเกี่ยวกับ Node ระดับกลางคือรายละเอียดข้อมูลเพิ่มเติมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยง ดังต่อไปนี้

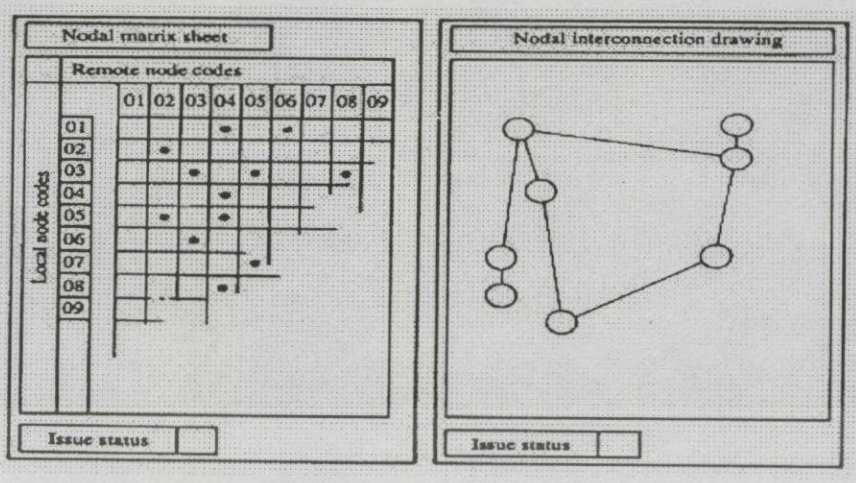
1) การกำหนดรหัสเคเบิล (Cable register packet) รายละเอียดโครงสร้างของสายเคเบิลและจำนวนสายเคเบิลที่เชื่อมโยง Node ต่างๆ ควรบันทึกไว้อย่างละเอียดในรายการรหัสเคเบิลนี้ ดังรูปที่ 4.4

2) การกำหนดรหัสหัวต่อสายเคเบิลปลายทาง (Termination enclosure register) จุดประสงค์ของการกำหนดรหัสหัวต่อสายเคเบิลปลายทางเพื่อความสะดวกต่อการอ้างอิงกับแผนผังสถานที่ติดตั้งและแนวสายเชื่อมโยงเคเบิล ดังรูปที่ 4.5

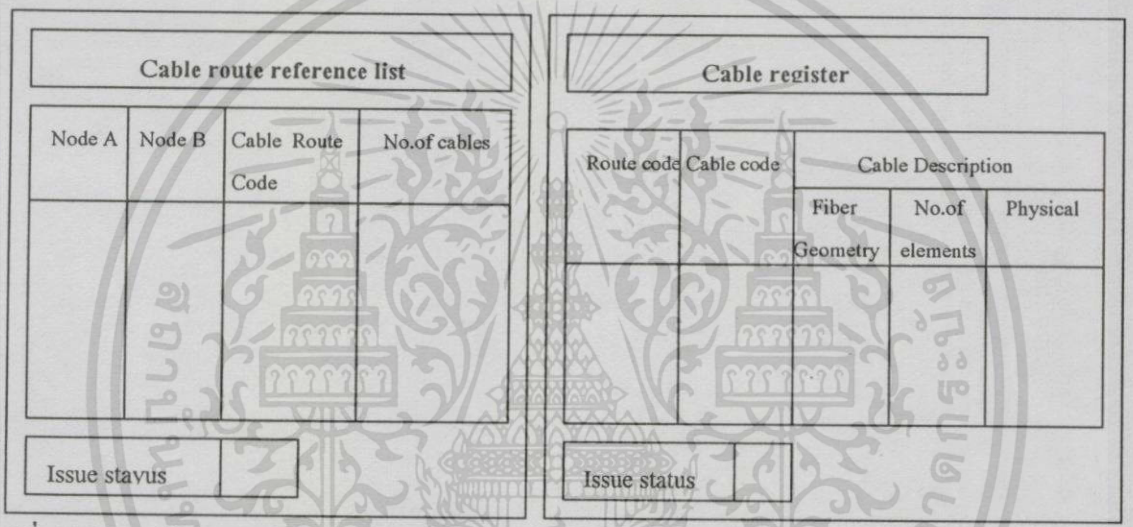
4.1.2.3 รายละเอียดเกี่ยวกับการเชื่อมโยงระดับล่าง (Low level documentation)

รายละเอียดการเชื่อมโยงระดับล่างหรือ Physical Layer ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับเคเบิลในแต่ละเส้นทางและการเชื่อมโยงเข้ากับ Node ที่หัวต่อปลายทาง ซึ่งจะต้องรวบรวมรายละเอียดดังกล่าวไว้ให้มากที่สุดรวมถึงข้อมูลจากเครื่องมือทดสอบอื่นๆ ด้วย โดยมีรายละเอียดดังนี้

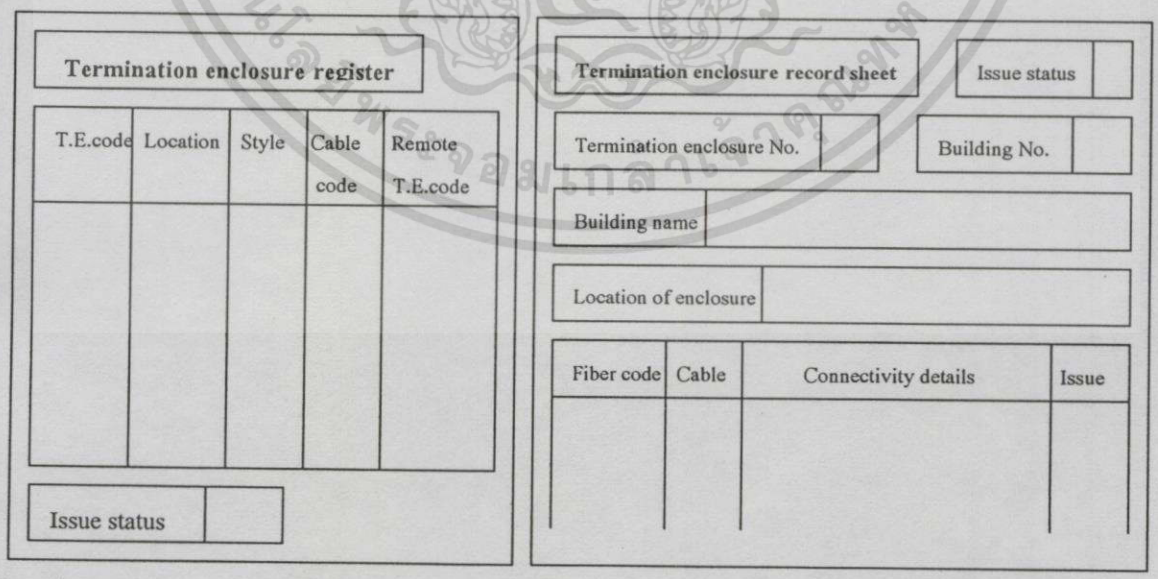
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รายละเอียดตาราง Node และการเชื่อมโยงเครือข่าย



รูปที่ 4.4 รหัสเส้นทางแนวสายเคเบิลและรายละเอียดของสายเคเบิล



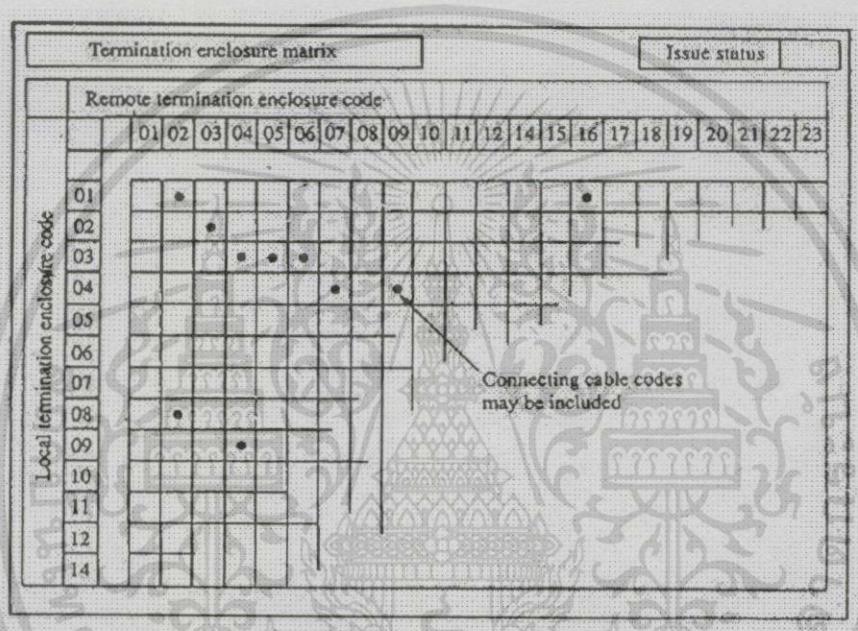
รูปที่ 4.5 รายละเอียดตู้พักสายและการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

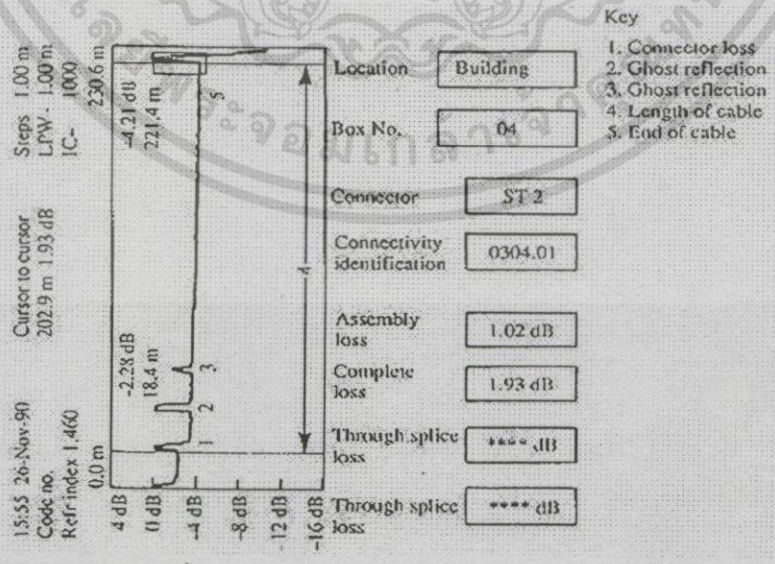
1) ใบบันทึกข้อมูลหัวต่อปลายทาง (Termination enclosure record) แสดงการเชื่อมต่อบริเวณปลายสายเคเบิลแต่ละเส้น สามารถแยกแยะเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละเส้นที่บรรจุอยู่ภายในเคเบิลได้ดังรูปที่ 4.6 โดยพิจารณาที่รหัสของตู้พักสายจัมเปอร์ (Patch panel)

2) ใบบันทึกจากเครื่องมือทดสอบ OTDR (OTDR test results packet) ใบบันทึกจากเครื่องมือทดสอบ OTDR แสดงคุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสงที่มีอยู่ทั้งหมด ดังตัวอย่างรูปที่ 4.7

3) รายละเอียดจากเครื่องมือทดสอบอื่นๆ รายละเอียดจากเครื่องมือทดสอบอื่นๆ ได้แก่ผลการทดสอบด้วยเครื่องวัดกำลังงานแสง (Power meter) เป็นต้น



รูปที่ 4.6 ตารางการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 4.7 บันทึกผลการวัดด้วยเครื่องมือทดสอบ OTDR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารการเชื่อมโยงระดับกลางและล่างเป็นเอกสารอ้างอิงข้อกำหนดทางเทคนิคของเคเบิลหัวต่อปลายทางและวิธีการเข้าหัวต่อ (Termination methods) รายละเอียดดังกล่าวเหล่านี้ จะนำมารวบรวมไว้ในทะเบียนรายละเอียดด้านเทคนิค (Specification register) ต่อไป เอกสารแต่ละชุดจะต้องกำหนดชื่อและจำแนกออกเป็นหมวดหมู่ เพื่อความสะดวกหากข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในภายหลังและไม่เกิดข้อยุ่งยากตามมา การติดตั้งเครือข่ายเคเบิลขนาดใหญ่นั้นเอกสารดังที่ได้กล่าวมาถือว่าสำคัญมาก ซึ่งจะอธิบายถึงวิธีการเชื่อมโยงและเป็นเครื่องยืนยันว่ารายละเอียดข้อกำหนดทางเทคนิคนั้นยอมรับได้หรือไม่และยังเป็นข้อมูลที่สำคัญในกรณีฉุกเฉินสำหรับซ่อมบำรุงเมื่อเคเบิลได้รับความเสียหาย นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้เพื่อการวัดคุณภาพการทำงานของระบบในอนาคตได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม เอกสารที่ดีและมีคุณประโยชน์สูงสุดก็ต่อเมื่อได้รับการปรับปรุงให้เป็นปัจจุบันอยู่เสมอ ดังนั้นจึงควรจัดเตรียมเอกสารที่เกี่ยวข้องและที่จำเป็นไว้สำหรับการปรับปรุงข้อมูลให้สอดคล้องและเกิดความต่อเนื่องเป็นระยะๆ

4.1.3 ตัวอย่างการจัดเก็บเอกสาร

ขอนำเสนอเครือข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงของการสื่อสารแห่งประเทศไทยในเขตกรุงเทพและปริมณฑลเพื่อเป็นตัวอย่างสำหรับการจัดเก็บเอกสารดังที่กล่าวถึงข้างต้น โดยมีแผนที่โดยสังเขปดังรูปที่ 4.8 เริ่มต้นด้วยการเชื่อมโยงอาคารต่างๆ เข้าด้วยกันตามรูปที่ 4.9 มีสถานีหลักทั้งหมด 7 แห่งคือ ศท.นนทบุรี ปณ.รามอินทรา ปณ.จระเข้บัว ปณ.คลองจั่น ปณ.ลาดพร้าว ปณ.สามเสนใน และปณ.บางเขน สถานีย่อยที่แยกออกจากสถานีหลัก (ปณ.คลองจั่น) ได้แก่ บริษัท เลนโซ่

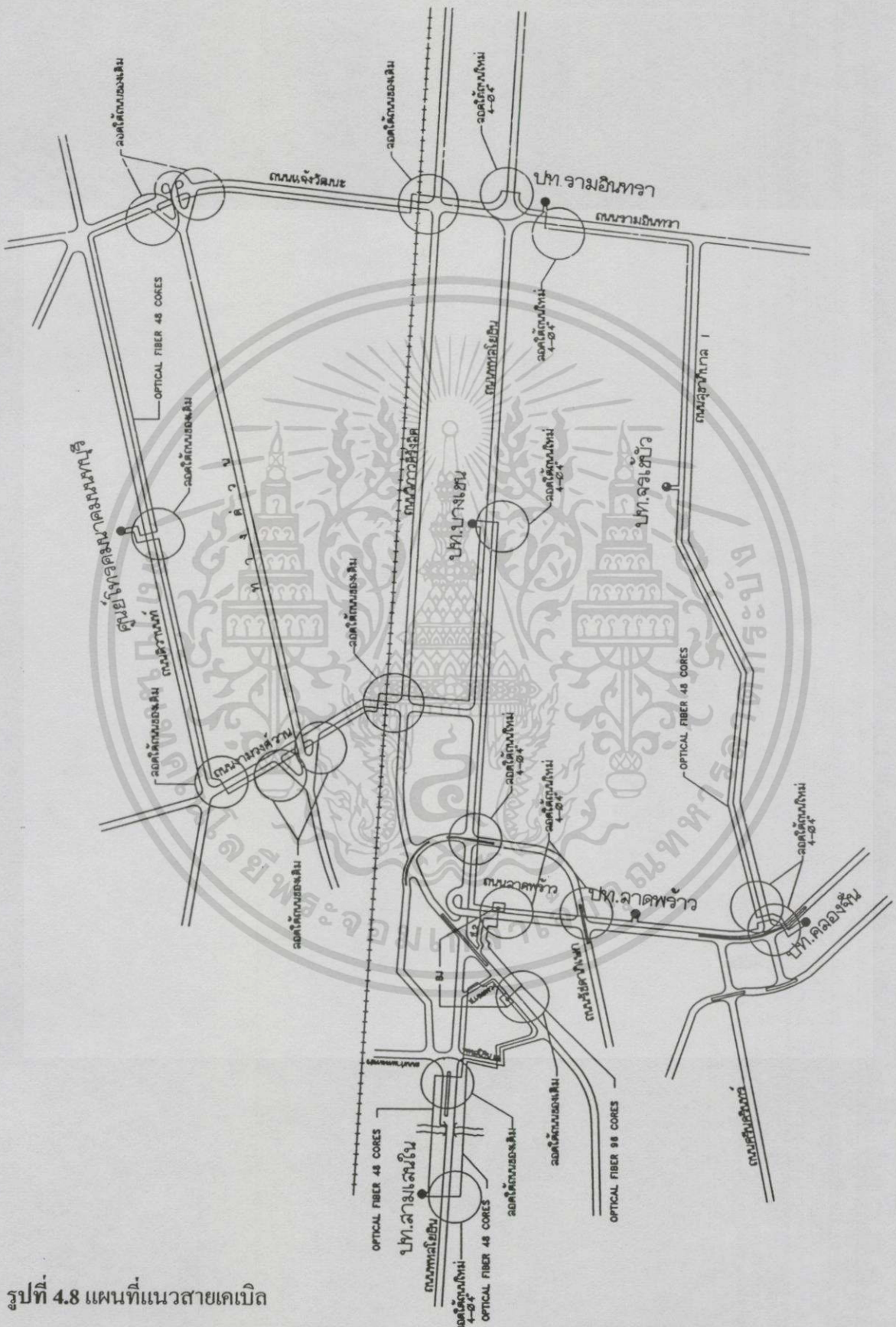
4.1.3.1 การกำหนดรหัสอาคาร ชั้นของอาคารและอุปกรณ์ปลายทาง

อาคารแต่ละแห่งจะกำหนดรหัสเป็นเลข 2 หลัก (00-99) จำนวนชั้นภายในอาคารดังกล่าวกำหนดรหัสเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ (A-Z) และ Node ที่ติดตั้งในแต่ละชั้นจะกำหนดรหัสเป็นเลข 2 หลักเช่นเดียวกัน ซึ่งเพียงพอสำหรับระบุตำแหน่งอุปกรณ์และสถานที่ภายในเครือข่ายได้ในระดับหนึ่ง ตารางที่ 4.1 แสดงการกำหนดรหัสอาคาร ชั้นของอาคารและ Node ยกตัวอย่างเช่นรหัส Node ของสถานี ปณ. ลาดพร้าว สามารถกำหนดได้เป็น 05B01 เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 การกำหนดรหัส

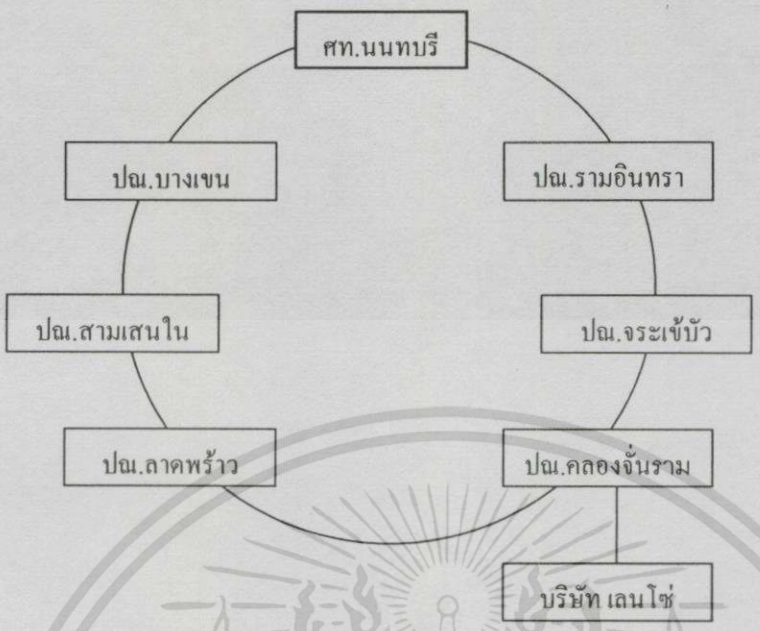
รหัสอาคาร	ชื่ออาคาร	ชั้นของอาคาร	รหัสชั้นของอาคาร	รหัส Node
01	ศท.นนทบุรี	2	B	01
02	ปณ.รามอินทรา	2	B	01
03	ปณ.จระเข้บัว	2	B	01
04	ปณ.คลองจั่น	2	B	01
05	ปณ.ลาดพร้าว	2	B	01
06	ปณ.สามเสนใน	2	B	01
07	ปณ.บางเขน	2	B	01
08	บริษัท เลนโซ่	4	D	01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



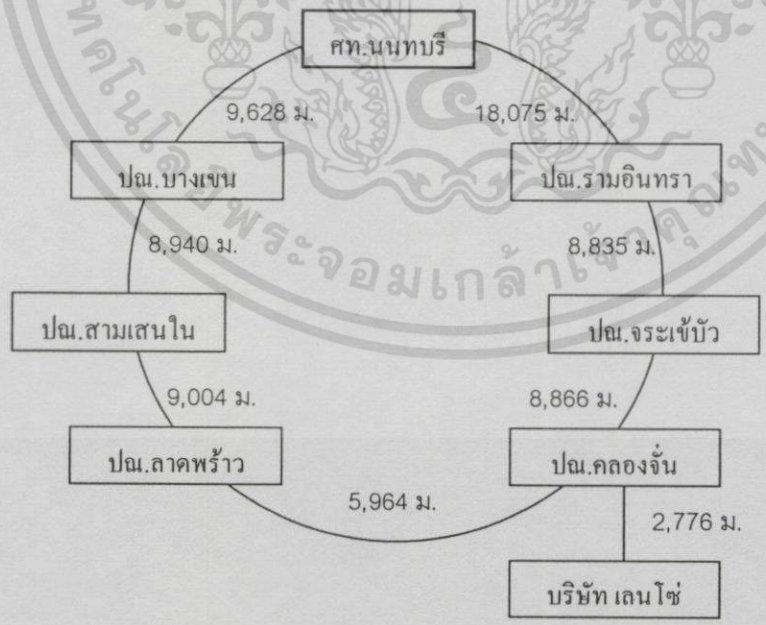
รูปที่ 4.8 แผนที่แนวสายเคเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แผนผังการเชื่อมโยง

รูปที่ 4.9 แสดงการเชื่อมโยงระหว่างสถานีหลักเข้าด้วยกัน รูปแบบโครงสร้างมีลักษณะเป็นวงแหวนซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการป้องกันมิให้ระบบหยุดชะงักเมื่อข่ายสายเคเบิลได้รับความเสียหาย ความยาวของสายเคเบิลในแต่ละเส้นทาง แสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ความยาวของสายเคเบิลในแต่ละเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 การกำหนดรหัสแนวสายเคเบิล (Cable route coding)

การเชื่อมโยงเคเบิลภายนอกอาคารในแต่ละเส้นทางสามารถกำหนดรหัสได้ด้วยตัวเลข 4 หลัก 1 ชุด โดยที่ 2 หลักแรกเป็นรหัสของสถานีต้นทางและ 2 หลักสุดท้ายคือรหัสของสถานีปลายทาง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รหัสเคเบิลในแต่ละเส้นทาง

รหัสเส้นทาง	รายละเอียด
0102	แนวเคเบิลเชื่อมโยงระหว่าง ศท.นนทบุรี –ปณ.รามอินทรา
0203	แนวเคเบิลเชื่อมโยงระหว่าง ปณ.รามอินทรา - ปณ.จระเข้บัว
0304	แนวเคเบิลเชื่อมโยงระหว่าง ปณ.จระเข้บัว - ปณ.คลองจั่น
0405	แนวเคเบิลเชื่อมโยงระหว่าง ปณ.คลองจั่น - ปณ.ลาดพร้าว
0506	แนวเคเบิลเชื่อมโยงระหว่าง ปณ.ลาดพร้าว - ปณ.สามเสนใน
0607	แนวเคเบิลเชื่อมโยงระหว่าง ปณ.สามเสนใน - ปณ.บางเขน
0701	แนวเคเบิลเชื่อมโยงระหว่าง ปณ.บางเขน - ศท.นนทบุรี
0408	แนวเคเบิลเชื่อมโยงระหว่าง ปณ.คลองจั่น – บริษัท เลนโซ่

แนวเคเบิลที่สมบูรณ์นั้นจะต้องประกอบด้วยความยาวของสายเคเบิล ตำแหน่งของ Node ปลายทางทั้ง 2 ด้านและหัวต่อสายเคเบิล (Closure) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และแผนผังการเชื่อมโยง Node ต่างๆ เข้าด้วยกัน ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 รหัสแนวสายเคเบิลและหัวต่อเคเบิล

รหัสเส้นทางเคเบิล	รหัส Node	รหัสตู้พักสายเคเบิล (Termination)	รหัสหัวต่อเคเบิล กลางทาง (Closure)	ความยาวเคเบิล (ม.)
0102	01B01, 02B01	01B01/1, 02B01/1	0102/01, 0102/02, 0102/03 0102/04, 0102/05	18,075
0203	02B01, 03B01	02B01/1, 03B01/1	0203/01, 0203/02	8,835
0304	03B01, 04B01	03B01/1, 04B01/1	0304/01, 0304/02	8,866
0405	04B01, 05B01	04B01/1, 05B01/1	0405/01	5,964
0506	05B01, 06B01	05B01/1, 06B01/1	0506/01, 050607/bjc01 050607/bjc02	9,004
0607	06B01, 07B01	06B01/1, 07B01/1	050607/bjc02, 050607/bjc01 0607/01	8,940
0701	07B01, 01B01	07B01/1, 08B01/1	0701/01, 0701/02, 0701/03	9,628
0408	04B01, 08D01	04B01/2, 08D01/1	-	2,776

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แผนผังการเชื่อมโยงระหว่าง Node ต่างๆ

NODE	01B01	02B01	03B01	04B01	05B01	06B01	07B01	08D01
01B01		⊕					⊕	
02B01	⊕		⊕					
03B01		⊕		⊕				
04B01			⊕		⊕			⊕
05B01				⊕		⊕		
06B01					⊕		⊕	
07B01	⊕					⊕		
08D01				⊕				

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างรายละเอียดตู้พักสายเคเบิล สถานี ปณ.จรเข้บัว

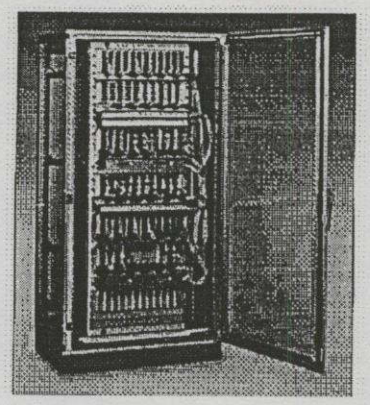
ใบบันทึกรายละเอียด ตู้พักสายเคเบิล (Termination Enclosure record sheet)			
หมายเลขตู้พักสายเคเบิล	03B01/1	ตำแหน่งตู้พัก	ชั้น 2 ห้องสื่อสัญญาณในประเทศ
หมายเลขอาคาร	03	ชื่ออาคาร	ปณ. จรเข้บัว

Fiber No.	รหัสเคเบิล	รายละเอียดการเชื่อมต่อ	Circuit Application
01	0304	Splice to ST Pigtail	0304 SDH (Tx)
02	0304	Splice to ST Pigtail	0304 SDH (Rx)
03	0304	Splice to ST Pigtail	0304 SDH (Tx) Standby
04	0304	Splice to ST Pigtail	0304 SDH (Rx) Standby
05	0304	Splice to ST Pigtail	Spare
:			
:			
48	0304	Splice to ST Pigtail	Spare

Node ต่างๆ ที่กำหนดขึ้นข้างต้นคือจุดแรกสุดของการเชื่อมต่อเพื่อใช้งานภายในอาคาร หรือเป็นจุดสิ้นสุดของแนวสายเคเบิลจากภายนอก (Cable termination point) เราเรียกว่า Primary node ในบางแห่งอาจมี Node ลำดับย่อยลงไปสำหรับเชื่อมโยงอาคารใกล้เคียงหรืออาคารที่อยู่ไกลออกไป

รูปที่ 4.11 แสดงตัวอย่างของตู้พักสายเคเบิลปลายทางและการบันทึกรายละเอียดต่างๆ รวมทั้งจุดเชื่อมต่อภายในหัวต่อปลายทางซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และ 4.6 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสงด้วยเครื่องมือทดสอบ OTDR แสดงดังรูปที่ 4.12 ซึ่งเป็นเคเบิลเชื่อมโยงระหว่างสถานี ปณ.จระเข้บัว กับสถานี ปณ.รามอินทรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างตู้พักสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

ตารางที่ 4.6 รายละเอียดเคเบิลที่เชื่อมต่อภายในตู้พักตามสถานีต่างๆ

รหัส NODE	รหัส ตู้พักเคเบิล	รหัส เคเบิล	รายละเอียดการเชื่อมต่อ (fiber)	
			จำนวน	หมายเลข
01B01	01B01/1	0102	48	01,02,03,.....48
	01B01/1	0701	48	01,02,03,.....48
02B01	02B01/1	0102	48	01,02,03,.....48
	02B01/1	0203	48	01,02,03,.....48
03B01	03B01/1	0203	48	01,02,03,.....48
	03B01/1	0304	48	01,02,03,.....48
04B01	04B01/1	0304	48	01,02,03,.....48
	04B01/1	0405	48	01,02,03,.....48
	04B01/2	0408	12	01,02,03,.....12
05B01	05B01/1	0405	48	01,02,03,.....48
	05B01/1	0506	48	01,02,03,.....48
06B01	06B01/1	0506	48	01,02,03,.....48
	06B01/1	0607	48	01,02,03,.....48
07B01	07B01/1	0607	48	01,02,03,.....48
	07B01/1	0701	48	01,02,03,.....48
08D01	08D01/1	0408	12	01,02,03,.....12

การกำหนดรหัสต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาอย่างต่อเนื่องจะทำให้การจัดเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างมีระเบียบและการอ้างอิงสามารถกระทำได้ง่ายและรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถนำรหัสดังกล่าวเก็บบันทึกไว้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทันที เพื่อความสะดวกต่อการค้นหาและเปลี่ยนแปลงแก้ไขที่อาจเกิดขึ้นได้ในภายหลัง ซึ่งการแสดงผลตำแหน่งข่ายสายเคเบิลที่ชำรุดบนหน้าจอคอมพิวเตอร์นั้นจะขอกล่าวถึงในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Start Pos.	Refr. Indx	Samp.Dist	Scatter Coeff
0.0 m	1.465	1.136 m	48.400 dB

Event Table

No.	Type	Location [Km]	Refl. [dB]	InsLoss [dB]	Atten. [dB/Km]	CumLoss [dB]
1	REFLECT	0.000	-29.550	0.000	0.309	0.000
2	GAINER	4.1280		0.254	0.217	0.863
3	SPLICE	8.2321		-0.175	0.222	1.555
4	REFLECT	9.1029	-16.970	0.000	0.000	2.028

รูปที่ 4.12 ผลการวัดสายเคเบิลด้วย OTDR ระหว่างสถานี ปณ.จระเข้บัว-ปณ.รามอินทรา

4.2 ลักษณะข้อมูลและการรวบรวมข้อมูล

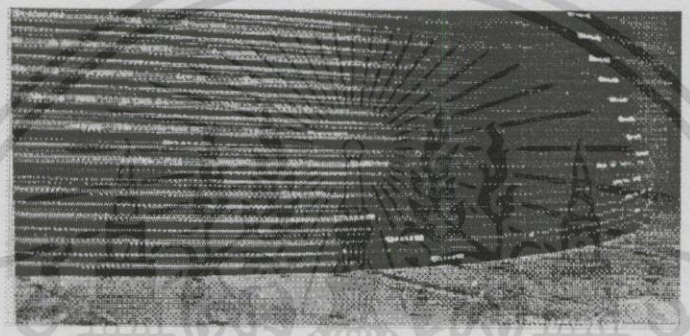
4.2.1 เครื่องหมายบอกความยาวสายเคเบิล (Mark Length)

หากพิจารณาผิวด้านนอกของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดติดตั้งภายนอกอาคารแบบมาตรฐานทั่วไปแล้วจะเห็นได้ว่าประกอบด้วยรายละเอียดสำคัญๆ พิมพ์กำกับไว้อย่างชัดเจนทุกๆ ความยาว 1 เมตรเสมอได้แก่ ชื่อโรงงานผู้ผลิต ชนิด (Single mode หรือ Multi mode) จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง เดือน-ปีที่ผลิตและเครื่องหมายแสดงความยาวของสายเคเบิล (Mark length) ยกตัวอย่างเช่น "Pirelli 1999 SM 48-9/125 xxxx" ("xxxx" หมายถึง mark length ซึ่งพิมพ์เป็นตัวเลข สมมุติสายเคเบิลเส้นหนึ่งมีความยาว 4000 เมตร จุดเริ่มต้นของสายเคเบิลคือ "0000" และจุดปลายสายคือ "4000") ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ดังนั้นจึงสามารถคำนาณหาความยาวเส้นใยแก้วนำแสงที่บรรจุอยู่ภายในได้ตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 และในทางกลับกันหากทราบความยาวเส้นใยแก้วนำแสงที่รายงานจากเครื่องมือทดสอบ OTDR ก็สามารถคำนวณหาความยาวสายเคเบิลได้เช่นเดียวกัน

เมื่อนำสายเคเบิลชนิดดังกล่าวมาติดตั้งเชื่อมโยงเป็นเครือข่าย เครื่องหมาย (Mark length) ซึ่งพิมพ์ไว้ตลอดความยาวบนสายเคเบิลเหล่านี้เสมือนเป็นหมายเลขกำกับหรือหมายเลขที่อยู่ (Address) ให้กับสายเคเบิลตลอดทั้งเส้นทาง สำหรับบ่งบอกสถานที่ใกล้เคียงต่อไป โดยในขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรกควรตรวจสอบแนวสายเคเบิลเพื่อปรับปรุงแบบหรือแผนที่ให้เป็นปัจจุบันเสียก่อนพร้อมกับตรวจเครื่องหมาย Mark Length ตามแนวเคเบิลตลอดทั้งเส้นทางทุกๆ 80-300 เมตรหรือทุกๆ 2 ช่วงเสาหรือ 1 ช่วงสะพานลอยสำหรับเคเบิลพาดแขวนอากาศ และทุกๆ 250-300 เมตรหรือทุกๆบ่อพักสายเคเบิลสำหรับเคเบิลร้อยท่อใต้ดินที่ติดตั้งในเขตเมืองใหญ่ๆ ทั่วไป ในกรณีที่เคเบิลพาดไปตามทางหลวงแผ่นดินซึ่งมีระยะทางไกลอาจตรวจสอบเครื่องหมายดังกล่าวบริเวณหลักกิโลเมตรของกรมทางหลวง แล้วจดบันทึกสถานที่บริเวณใกล้เคียงกับ Mark Length เหล่านั้น เช่น หมายเลขเสาหรือบ่อพัก ชื่อถนน ซอย ทางแยก อาคารสำนักงาน สถานีบริการหรือสถานที่ราชการต่างๆ เพื่อนำมาบันทึกเป็นข้อมูลสำหรับการอ้างอิงดังตัวอย่างในตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงเครื่องหมาย (Mark length) และชื่อสถานที่ที่แนวเคเบิลพาดผ่านระหว่างสถานี ปณ.คลองจั่น-สถานี ปณ.จระเข้บัว



รูปที่ 4.13 รายละเอียดที่พิมพ์ไว้บนสายเคเบิล

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างรายละเอียดแนวสายเคเบิล สถานี ปณ. คลองจั่น- ปณ. จระเข้บัว

ลำดับที่	Mark length	ตำแหน่งเคเบิล	บริเวณตำแหน่งเคเบิล
1	4018	ปณ.คลองจั่น	ห้องโทรคมนาคม ชั้น 2 ถ.สุขาภิบาล2
2	3748	P.1372	ร้านแว่น ท็อปเจริญ ถ.สุขาภิบาล2
3	3674	P.1409	ร้านบางกะปิ การแว่น ถ.สุขาภิบาล2
;	;	;	;
;	;	;	;
54	406	CR.7/043	ห้างสรรพสินค้า โลตัส ถ.สุขาภิบาล1
55	150	CR.7/300	ซอย สวัสดี ถ.สุขาภิบาล1
56	8, 1355	P.2021	คลองจั่นวิลล่า 2 ถ.สุขาภิบาล1
57	1250	CR.7/530	ซอย สิงหเสนี ถ.สุขาภิบาล1
58	1009	CR.7/810	ซอย สิงหเสนี 2 ถ.สุขาภิบาล1
59	710	P.220	พี.เอ็ม.อพาร์ตเมนต์ ถ.สุขาภิบาล1
60	446	ปณ.จระเข้บัว	ห้องโทรคมนาคม ชั้น 2 ถ.สุขาภิบาล1
P=หมายเลขเสาไฟฟ้า, CR=หมายเลขสะพานลอยคนข้าม ลำดับที่37, 56 คือตำแหน่งเชื่อมต่อสายเคเบิล			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นใยแก้วนำแสงและสายเคเบิลที่ห่อหุ้ม

ตรวจสอบโครงสร้างของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยการวัดระยะค่าต่างๆด้วย Vernier Caliper ได้แก่ค่า S (ความสูงของระยะเกลียว 1 รอบ) และ R (รัศมีเกลียว) เพื่อคำนวณหา %Z (ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการตีเกลียว) ตามรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 จากการตรวจสอบวัดขนาดสายเคเบิลตัวอย่างในหัวข้อที่ 4.2.1 ได้ค่า S = 118 mm. และ R = 3.55 mm. เมื่อนำไปแทนค่าในสมการที่ 2.3 ได้ค่า %Z = 1.77

4.3 เครื่องมือและวิธีดำเนินการวิจัย

4.3.1 เครื่องมือสำหรับศึกษาวิจัย

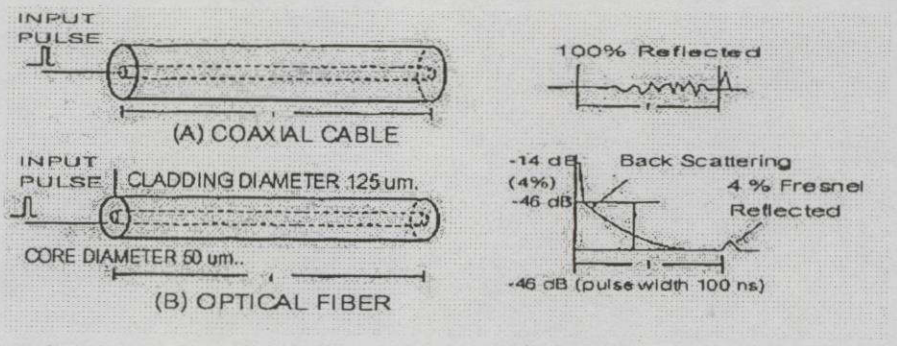
เครื่องมือที่จำเป็นได้แก่ เครื่องตรวจสอบคุณสมบัติเส้นใยแก้วนำแสงสำหรับค้นหาตำแหน่งบกพร่องของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงในเบื้องต้นหรือ Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือ Personal Computer (PC) รวมถึงระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows และโปรแกรมประยุกต์ Microsoft Visual Basic

4.3.2 การทำงานของ OTDR

โดยทั่วไป เทคนิคที่ใช้ตรวจสอบเพื่อค้นหาจุดบกพร่องหรือรอยตำหนิสายเคเบิลชนิดแกนร่วม (Coaxial cable) สามารถกระทำได้โดยการส่งสัญญาณในรูปพัลส์ (Pulse) ที่ปลายด้านหนึ่งของสายเคเบิล และทำการตรวจจับสัญญาณที่สะท้อนกลับจากจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น (การสะท้อนกลับของสัญญาณดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของตัวกลางที่บริเวณจุดบกพร่อง ซึ่งสัญญาณที่สะท้อนกลับจะมีลักษณะค่อนข้างเด่นชัด) โดยการตรวจวัดจะพิจารณาช่วงเวลาที่นับจากเริ่มส่งสัญญาณไปจนกระทั่งสัญญาณสะท้อนกลับมาที่ด้านอินพุทเดิม นอกจากนี้ถ้าทราบความเร็วของสัญญาณที่วิ่งในสายเคเบิล ก็สามารถคำนวณหาตำแหน่งของจุดบกพร่องได้

เทคนิคดังกล่าวมีชื่อเฉพาะว่า Time domain Reflectometry (TDR) ซึ่งหมายถึงวิธีการป้อนสัญญาณเข้าทางด้านอินพุตของตัวนำสัญญาณและทำการวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับพร้อมจับเวลา (Time delay) ระหว่างการส่งและรับสัญญาณ ซึ่งสามารถนำค่า Time delay พร้อมกับความเร็วของสัญญาณที่วิ่งในตัวกลางมาคำนวณหาระยะทาง ณ. ตำแหน่งที่สัญญาณสะท้อนกลับมา ดังนั้นถ้าสัญญาณสะท้อนกลับมาจากปลายของสายตัวนำสัญญาณ ระยะทางที่คำนวณได้ก็คือความยาวของตัวนำสัญญาณนั่นเอง ดังแสดงหลักการของ TDR ในรูปที่ 4.14 (A) เทคนิคดังกล่าวนี้ถูกนำมาใช้กับเส้นใยแก้วนำแสง และด้วยเหตุที่การตรวจสอบเป็นสัญญาณแสง โดยอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบจะทำการส่งสัญญาณแสงในลักษณะของพัลส์เข้าไปยังเส้นใยแก้วนำแสง เทคนิคนี้จึงมีชื่อเรียกว่า Optical Time domain Reflectometry (OTDR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



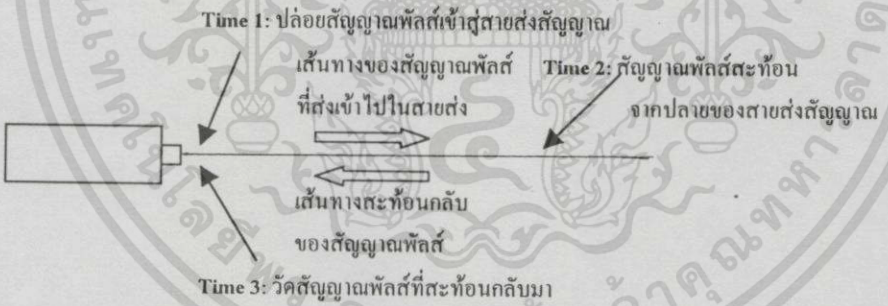
รูปที่ 4.14 หลักการ TDR และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสะท้อนกลับ (แกนแนวตั้ง) และระยะทาง (แกนแนวนอน) (A) สำหรับ coaxial cable (B) สำหรับ optical fiber

เนื่องจากค่าของ Time delay จาก OTDR เป็นช่วงเวลาของสัญญาณเคลื่อนที่ไปและกลับ (โดยประมาณ) ดังนั้นช่วงเวลาของสัญญาณแสงใช้เคลื่อนที่ไปก็จะเป็นครึ่งหนึ่งของเวลาทั้งหมดซึ่งก็คือ (Time 3 – Time 1)/2 พิจารณาได้จากรูปที่ 4.15 ดังนั้นความยาวของตัวนำสัญญาณสามารถหาได้จากสมการ

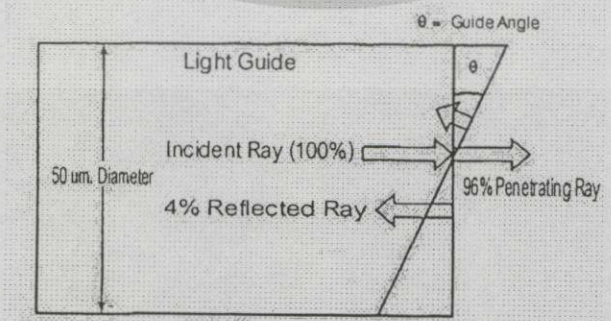
ระยะทาง = [ความเร็ว x (Time 3 - Time 1)]/2 (4.1)

โดยในที่นี้ความเร็วของสัญญาณแสงจะขึ้นอยู่กับค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่แสงเดินทางผ่าน ซึ่งหาได้จาก

ความเร็วของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง = (ความเร็วของแสงในสูญญากาศ)/(ดัชนีหักเหของแกนกลางเส้นใยแก้วนำแสง (4.2)



รูปที่ 4.15 คาบเวลาต่างๆ ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของสัญญาณพัลส์



รูปที่ 4.16 การสะท้อนกลับของแสงบริเวณรอยต่อระหว่างตัวกลางแก้วกับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OTDR จะอาศัยการวัดกำลังงานแสงที่กระจัดกระจาย (Scattering) ในทิศทางย้อนกลับภายในเส้นใยแก้วนำแสง โดยการกระจัดกระจายของแสงนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นที่ไม่สม่ำเสมอของเนื้อสารที่ใช้ทำเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนการผลิต ขณะดึงเส้นใยแก้วนำแสงจากแท่ง Preform จำเป็นจะต้องให้ความร้อน บริเวณที่ได้รับความร้อนนั้นโมเลกุลของเนื้อสารมีการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นระเบียบ (Random) หลังจากดึงบริเวณปลาย Preform จนเป็นเส้นใยแก้วนำแสงแล้วอุณหภูมิจะลดลงทันที ทำให้โมเลกุลของเนื้อสารเคลื่อนที่ช้าลงจนกระทั่งหยุดในที่สุด ตำแหน่งของโมเลกุลที่หยุดจะไม่เป็นระเบียบเช่นกัน จึงส่งผลให้เนื้อสารมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอกันตลอดทั้งเส้น หรืออาจกล่าวได้ว่าทำให้มีค่าดัชนีหักเหแตกต่างกัน คล้ายกับมีสารเจือปนกระจายอยู่ตลอดความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อมีแสงเดินทางผ่านบริเวณดังกล่าวจึงเกิดการกระจัดกระจาย เราเรียกการกระจัดกระจายแบบนี้ว่า Rayleigh (Rayleigh scattering) ทิศทางของแสงจากการกระจัดกระจายแบบ Rayleigh นี้มีโอกาสเกิดขึ้นได้ทุกทิศทางแต่จะมีแสงบางส่วนที่กระจัดกระจายกลับไปยัง OTDR แสงที่สะท้อนกลับไปในลักษณะดังกล่าวเรียกว่า Back scattering light โดยมีขนาดของกำลังงานแสงลดลงเป็นฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียล เมื่อเทียบกับระยะทางที่สัญญาณแสงใช้ในการเดินทางไปและกลับ โดยทั่วไปขนาดของสัญญาณที่สะท้อนกลับเทียบกับขนาดของสัญญาณที่ OTDR ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงจะอยู่ในช่วง 45 – 60 เดซิเบล

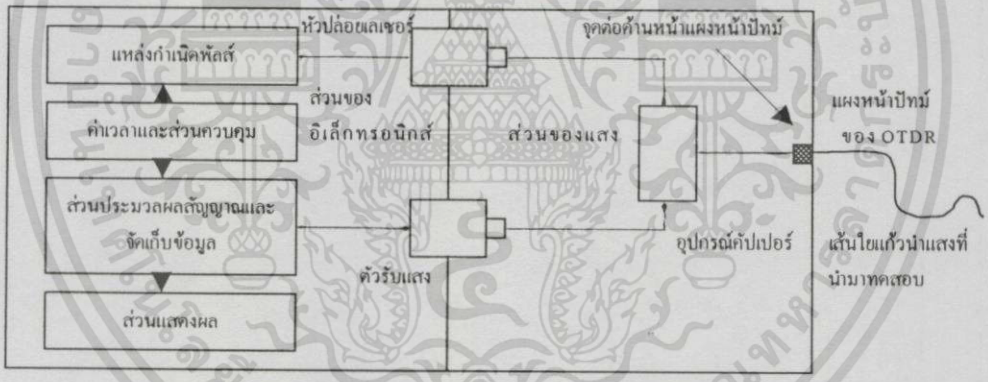
Rayleigh scattering เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ย่านความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร สาเหตุของ Rayleigh scattering เนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง (Refractive index fluctuation) ขณะที่เส้นใยแก้วนำแสงเย็นลงตัวลงนั้น โดยที่ค่าลดทอนจากสาเหตุดังกล่าวยังไม่สามารถกำจัดออกไปได้ด้วยเทคนิคการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงในปัจจุบัน ทิศทางการกระจัดกระจายของแสงที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปได้ทุกทิศทาง จากการศึกษาพบว่าค่าลดทอนของแสงเนื่องจาก Rayleigh scattering แปรผกผันกับกำลังสี่ของความยาวคลื่นแสง (α $1/\lambda^4$) ดังนั้นถ้ายิ่งใช้แสงที่มีความยาวคลื่นมากการลดทอนของสัญญาณก็จะลดลง การสะท้อนกลับของสัญญาณแสงอีกลักษณะหนึ่งเกิดขึ้นได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของตัวกลาง เช่น การสะท้อน ณ.บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อสารกับอากาศ ดังรูปที่ 4.16 ถ้าหน้าตัดของเส้นใยแก้วนำแสงตั้งฉากกับทางเดินของแสง (หรือแกนของเส้นใยแก้วนำแสง) ค่าสัมประสิทธิ์ของแสงสะท้อนจะไม่เกิน 4% (13.98 dB) การสะท้อนในลักษณะนี้เรียกว่า การสะท้อนแบบเฟรสเนล (Fresnel reflection) ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้นเชื่อมต่อกันด้วยหัวต่อ (Connector) รวมทั้งจุดต่อระหว่าง OTDR กับเส้นใยแก้วนำแสงและบริเวณปลายสายของเส้นใยแก้วนำแสงด้วยเช่นกัน

4.3.2.1 บล็อกไดอะแกรม ของ OTDR

รูปที่ 4.17 แสดงส่วนประกอบหลักของ OTDR สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และส่วนอุปกรณ์ทางแสง ซึ่งทั้งสองส่วนจะทำงานอย่างสัมพันธ์กัน เริ่มจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกำเนิดพัลส์ (Pulse generator) ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณพัลส์ไปขับเลเซอร์ไดโอด (Laser diode) ให้ปล่อยสัญญาณแสงออกมาในลักษณะของพัลส์ จากนั้นสัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งไปยังปลายข้างหนึ่งของคับเปลอร์ ซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณแสงไปยังเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการทดสอบและรับสัญญาณแสงที่สะท้อนกลับมายังหัววัดแสง (Detector) สัญญาณแสงสะท้อนกลับมานี้เกิดจากการสะท้อนแบบเฟรสเนล (ณ. จุดต่อระหว่าง OTDR กับเส้นใยแก้วนำแสงรวมถึงปลายเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อสารกับอากาศและบริเวณจุดต่อต่างๆ) และการกระจัดกระจายในทิศทางย้อนกลับ (Back scattering) ที่เกิดจากการกระจัดกระจายแบบ Reayleigh ตลอดเส้นใยแก้วนำแสงขณะที่แสงเดินทาง ดังรูปที่ 4.18 สัญญาณแสงที่วัดได้นี้จะถูกนำมาประมวลผลในส่วนที่เรียกว่า Signal Acquisition & Processing โดยอาศัยข้อมูลจาก Timing & Control จากนั้นผลลัพธ์ที่ได้จะนำมาแสดงในรูปของค่าลดทอนสัญญาณตามความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง โดยปกติแล้วสัญญาณแสงจาก OTDR จะส่งผ่านไปยังปลายของเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการทดสอบ ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้ทำให้เกิดการสะท้อนของแสงในลักษณะเฟรสเนล ส่งผลให้กำลังงานแสงสะท้อนกลับเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากจนทำให้หัววัดแสง (โดยส่วนใหญ่ใช้ Avalanche Photo Diode : APD) เกิดอาการอิ่มตัวชั่วขณะ ดังนั้น APD จึงไม่สามารถรับรู้สัญญาณที่เกิดขึ้นตามมาหลังจากอิ่มตัวชั่วขณะหนึ่ง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Dead zone



รูปที่ 4.17 โครงสร้างของ OTDR

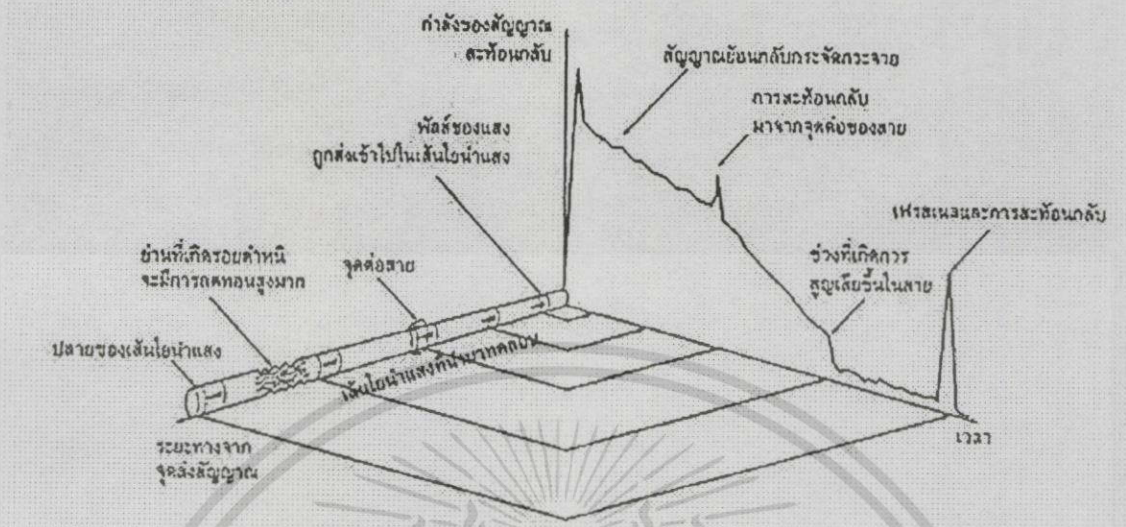
4.3.2.2 การวิเคราะห์ผลการวัด OTDR

รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณสะท้อนภายในเส้นใยแก้วนำแสงเทียบกับเวลา (หรือระยะทาง) ซึ่งบ่งบอกลักษณะทางกายภาพของเส้นใยแก้วนำแสงได้เป็นอย่างดี โดยที่การตรวจวัดเส้นใยแก้วนำแสงแต่ละครั้งจะปรากฏลักษณะของสัญญาณสะท้อนกลับที่แตกต่างกันไป สัญญาณดังกล่าวเรียกว่า Fiber signature

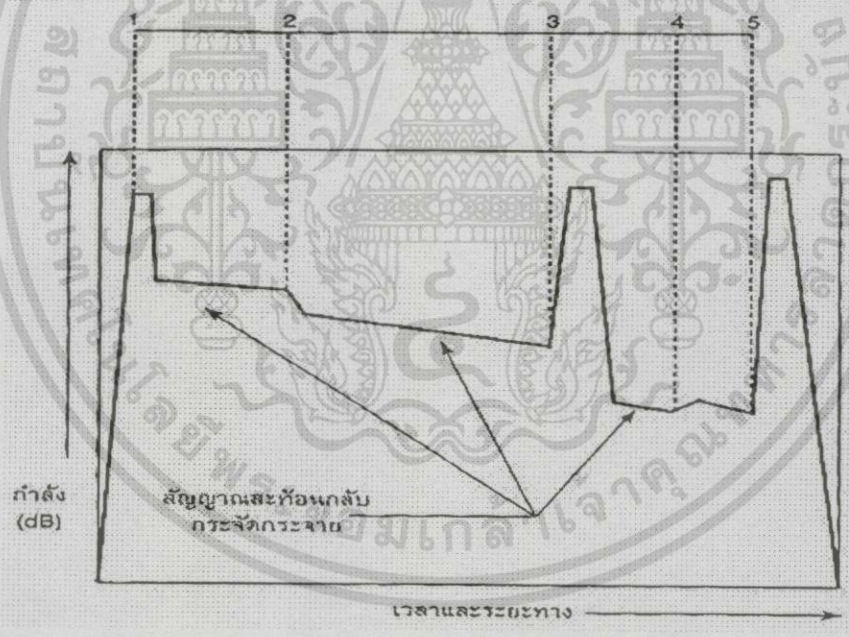
เส้นตรงที่มีความชันคงที่ลากจากซ้ายไปขวา แสดงถึงปริมาณการสะท้อนกลับของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงดังแสดงในรูปที่ 4.19 สิ่งที่น่าสังเกตคือค่ากำลังงานแสงที่แสดงในแนวแกนตั้งเป็นกำลังงานที่สะท้อนกลับจากจุดต่างๆ ตามความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทางไกลออกไปจาก OTDR กำลังงานแสงที่สะท้อนกลับจะมีขนาดลดน้อยลง โดยปริมาณที่ลดลงต่อช่วงความยาวบ่งบอกถึงค่าลดทอนสัญญาณแสงของเส้นใยแก้วนำแสงที่กำลังทดสอบ



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับปริมาณแสงสะท้อนกลับ และสาเหตุของการสะท้อน



รูปที่ 4.19 fiber signature แสดงคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง

สำหรับบริเวณจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของสัญญาณนั้น มีการสะท้อนของแสงเช่นกัน แต่กลไกการสะท้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตัวกลาง หรืออาจกล่าวได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง ทำให้ปริมาณของแสงสะท้อนเกิดขึ้นมากกว่าการสะท้อนกลับในลักษณะที่กล่าวถึงข้างต้น ในรูปที่ 4.19 เป็นตัวอย่างของ Fiber signature แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยแก้วนำแสงกับเวลาหรือระยะทาง โดยมีลักษณะต่างๆ 5 ตำแหน่ง ประกอบด้วย

1) จุดเชื่อมของหัวต่อระหว่าง OTDR กับเส้นใยแก้วนำแสง
2) จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเข้าด้วยกัน โดยใช้ความร้อน (Fusion splicing)
3) จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเข้าด้วยกัน โดยใช้หัวต่อ (Mechanical splice)
4) จุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเข้าด้วยกัน โดยใช้ความร้อน (Fusion splicing)
5) จุดปลายของเส้นใยแก้วนำแสง

ลักษณะเหล่านี้มีผลทำให้กำลังงานแสงที่สะท้อนกลับมายังหัววัดแสงเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปลักษณะการลดลงของกำลังงานแสงที่สะท้อนกลับมายัง OTDR สามารถแสดงเป็นเส้นตรงเพราะการสะท้อนกลับในลักษณะดังกล่าวเกิดจากการกระจัดกระจายแบบ Rayleigh เป็นการกระจัดกระจายของแสงอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง แต่เมื่อใดก็ตามที่ความชันของสัญญาณสะท้อนกลับมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าพัลส์แสงจะต้องเคลื่อนที่ผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำให้ปริมาณของแสงสะท้อนกลับเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก บริเวณดังกล่าวอาจเป็นจุดเชื่อมต่อของเส้นใยแก้วนำแสงกับ OTDR หรือจุดเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้น หรือบริเวณปลายสายของเส้นใยแก้วนำแสง

จากรูปที่ 4.19 ตำแหน่งที่ 1, 3 และ 5 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณล้วนมีสาเหตุที่คล้ายคลึงกันนั่นคือเป็นการเปลี่ยนแปลงตัวกลางของแสง (ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน) บริเวณดังกล่าวจะมีช่องว่างอากาศเกิดขึ้นเล็กน้อยทำให้ปริมาณแสงที่สะท้อนกลับไปยังหัววัดแสงใน OTDR มีค่ามากเมื่อเทียบกับปริมาณของแสงที่เกิดขึ้นแบบกระจัดกระจาย เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นการเชื่อมต่อโดยใช้อุปกรณ์เช่นหัวต่อจึงเรียกว่าการเชื่อมต่อแบบ Mechanical บางครั้งเรียกว่า Reflective splice เพราะมีการสะท้อนของแสงเกิดขึ้นที่รอยต่อนั่นเอง

สำหรับการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ ณ. จุดที่ 2 และ 4 จะเห็นว่าไม่เกิดสัญญาณสะท้อนกลับในรูปของพัลส์ เนื่องจากเป็นการเชื่อมต่อด้วยวิธี Fusion splicing โดยใช้ความร้อนทำให้เส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมติดกันเสมือนเป็นเนื้อเดียว แต่ในทางปฏิบัติจุดเชื่อมต่อดังกล่าวค่าดัชนีหักเหบริเวณรอยต่ออาจเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากดัชนีหักเหของตัวกลางมีค่าแตกต่างกันอยู่บ้าง รวมทั้งคุณสมบัติบางอย่างของตัวกลางที่นำมาเชื่อมต่อมีความแตกต่างกัน จึงทำให้สัญญาณที่สังเกตได้อาจมีทั้งลดลง (Loss) และเพิ่มขึ้น (Gainer) จุดเชื่อมต่อในลักษณะนี้นอกจากจะเรียกว่า Fusion splice แล้วอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Non-reflective splice

4.3.2.3 สมการของกำลังงานแสงแบบกระจัดกระจายในทิศทางย้อนกลับ

เมื่อพัลส์ของแสงถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง พัลส์ดังกล่าวจะมีขนาดลดลงตามขนาดความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง ถ้ากำลังงานของสัญญาณที่ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงมีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P(0) ดังนั้นกำลังงานแสงที่ระยะทาง L (วัดจากปลายเส้นใยแก้วนำแสงที่เชื่อมต่อกับ OTDR) สามารถเขียนได้เป็น

$$P(0) = P(0)\exp(-\alpha_t L) \quad (4.3)$$

โดยที่ $-\alpha_t$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนต่อหน่วยความยาว

เมื่อพิจารณากำลังงานแสง P(L) ที่กระจัดกระจายย้อนกลับมายังหัววัดแสงของ OTDR กำลังงานแสงที่ตรวจวัดได้จะเป็นไปตามสมการ

$$P_B(L) = (1/2)\ P(0)\ S\ \alpha_S\ V_g\ W\ \exp(-2\alpha_t L) \quad (4.4)$$

โดยที่ $P_B(L)$ คือ กำลังงานแสงที่กระจัดกระจายในทิศทางย้อนกลับ

P(0) คือ กำลังงานแสงที่ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง

S คือ แฟกเตอร์ของการกระจัดกระจายย้อนกลับ (ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง)

α_S คือ สัมประสิทธิ์ของการกระจัดกระจายแบบ Rayleigh

V_g คือ ความเร็วของคลื่นแสง (Group velocity)

W คือ ความกว้างของพัลส์แสง (Pulse width)

α_t คือ สัมประสิทธิ์ของการลดทอนต่อหน่วยความยาว

L คือ ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง

ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจัดกระจายแบบย้อนกลับในเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Step index multimode สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S = [\pi(NA)^2]/[4\pi n_1^2] = (NA)^2/[4n_1^2] \quad (4.5)$$

โดยที่ NA คือ อะเพอร์เจอร์เชิงตัวเลขของเส้นใยแก้วนำแสง

n_1 คือ ค่าดัชนีหักเหของแกนกลางเส้นใยแก้วนำแสง

ความหมายของสมการ 4.4 คือ ณ ตำแหน่งใด ๆ เช่นตำแหน่งจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่ห่างจาก OTDR เป็นระยะทาง L จะเกิดการกระจัดกระจายของแสงแบบ Rayleigh โดยปกติแสงที่กระจัดกระจายย้อนกลับจากจุดนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ Rayleigh (α_S) และกำลังงานแสงที่กระจัดกระจายย้อนกลับมานั้นมีปริมาณเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแฟกเตอร์การกระจัดกระจายย้อนกลับ (S) กำลังงานแสงมีการลดทอนทั้งขาไปและขากลับ ทำให้มีค่าลดลงด้วย $\exp(-2\alpha_t L)$

ตัวอย่างเช่น ถ้าเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการตรวจสอบเป็นชนิด step index multimode มีคุณสมบัติดังนี้

1) NA = 0.2

2) ค่าดัชนีหักเหของแกนกลางเส้นใยแก้วนำแสง = 1.5

3) สัมประสิทธิ์ของการกระจัดกระจายแบบ Rayleigh = 0.7 km^{-1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ความกว้างของพัลส์แสง = 50 ns

5) ความเร็วของแสง = 2.998×10^8 m/s

สามารถหากำลังงานแสงที่กระจัดกระจายย้อนกลับได้เป็น

$$P_B(L) = (1/2)\ P(0)\ S\ \alpha_S\ V_g\ W\ \exp(-2\alpha_t L)$$

เนื่องจากตำแหน่งที่ต้องการหา P_B คือที่ด้านอินพุทของเส้นใยแก้วนำแสงดังนั้น $L = 0$

$$P_B(0) = (1/2)\ P(0)\ S\ \alpha_S\ V_g\ W \qquad (4.6)$$

เส้นใยแก้วนำแสงที่พิจารณา คือ Step index multimode จึงสามารถนำสมการที่ 4.5 ซึ่งเป็นค่า S แทนลงในสมการ 4.6 ได้เป็น

$$P_B(0) = (1/2)\ \{[(NA)^2\ \alpha_S\ W\ V_g]/[4n_1^2]\}\ P(0) \qquad (4.7)$$

เมื่อ $V_g \approx C/n_1$ ดังนั้น

$$P_B(0)/P(0) = (1/2)\ \{[(NA)^2\ \alpha_S\ W\ C]/[4n_1^2]\}$$

$$= (1/2)\ \{[(0.2)^2 \times 0.7 \times 10^3 \times 50 \times 10^{-9} \times 2.998 \times 10^8]/[4(1.5)^3]\}$$

$$= 1.55 \times 10^{-5}$$

หรือหากคิดเป็นหน่วยของเดซิเบล จะได้

$$P_B(0)/P(0) = 101 \log_{10}(1.55 \times 10^{-5}) = -48.1\ \text{dB}$$

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นว่าที่อินพุทของเส้นใยแก้วนำแสงจะมีกำลังงานแสงที่กระจัดกระจายย้อนกลับมาน้อยมากเมื่อเทียบกับกำลังงานที่ป้อนเข้าไป ซึ่งยังไม่รวมถึงปริมาณแสงที่เกิดจากการสะท้อนกลับแบบเฟรสเนลอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง

ตัวอย่างเช่น หากพิจารณาทางด้านอินพุทของเส้นใยแก้วนำแสง กำลังงานแสงที่สะท้อนกลับ (ในแนวตั้งฉากกับผิวรอยต่อ) เทียบกับกำลังงานที่ป้อนเข้าไปจะได้เป็น

$$P(0) = [(n_1 - n_2)/(n_1 + n_2)]^2 \qquad (4.8)$$

โดยที่ P_r คือ กำลังงานแสง

n_1 คือ ค่าดัชนีหักเหของอากาศ = 1.00

n_2 คือ ค่าดัชนีหักเหของแกนกลางเส้นใยแก้วนำแสง = 1.50

$$P_r(0)/P(0) = [(1 - 1.5)/(1 + 1.5)]^2 = 0.04 \text{ หรือ } 4\ \%$$

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ถ้ามีแสงตกกระทบที่ผิวรอยต่อจำนวนหนึ่งจะมีปริมาณแสงประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์สะท้อนกลับหรือเท่ากับ -13.97 เดซิเบล ซึ่งจากค่าเดซิเบลที่ได้จะเห็นว่ากำลังงานแสงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดจากการสะท้อนกลับแบบเฟรสเนลมีค่ามากกว่ากำลังงานที่เกิดจากการกระจัดกระจายในทิศทางย้อนกลับแบบ Rayleigh

4.3.2.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับเครื่อง OTDR

การตรวจสอบเส้นใยแก้วนำแสงด้วย OTDR ในแต่ละครั้ง ผู้ใช้จะต้องตั้งค่าพารามิเตอร์บางอย่างให้เหมาะสมกับระบบที่กำลังทำการวัด ค่าดังกล่าวประกอบด้วย Wavelength (ความยาวคลื่นแสงที่ใช้) Refractive index (ค่าดัชนีหักเหของเส้นใยแก้วนำแสง) Pulse width (ความกว้างของพัลส์แสงที่ใช้) Fiber range (ช่วงความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่กำลังตรวจสอบ) Averaging (จำนวนครั้งของการหาค่าเฉลี่ยที่วัดได้) Back scatter coefficient (สัมประสิทธิ์ของการกระจัดกระจายย้อนกลับ) Unit (หน่วยความยาวที่ต้องการวัด) และ Scale (สเกลการวัด)

อย่างไรก็ตาม ค่าต่าง ๆ ที่ผู้ใช้ต้องป้อนก่อนทำการวัดอาจแตกต่างไปบ้างทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเครื่อง OTDR ที่ใช้งาน ดังรูปที่ 4.20 เป็นตัวอย่างแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และมีความหมายดังนี้

1) **Wavelength** เนื่องจากระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง อาจมีการใช้ความยาวคลื่นแสงที่ 1,310 หรือ 1,550 นาโนเมตร ดังนั้นการตรวจสอบเส้นใยแก้วนำแสงด้วย OTDR จึงจำเป็นต้องเลือกความยาวคลื่นให้เหมาะสมด้วย

2) **Refractive index** โดยทั่วไปค่าดัชนีหักเหนั้นผู้ผลิตเส้นใยแก้วนำแสงจะเป็นผู้กำหนดให้ ซึ่งค่าดังกล่าวส่งผลถึงความแม่นยำต่อการวัดความยาวสายเคเบิลใยแก้วนำแสงด้วย OTDR เป็นอย่างมาก

3) **Pulse width** ค่า Pulse width ผู้ใช้สามารถเลือกได้จากเครื่อง OTDR หลักการเลือกขึ้นอยู่กับ Resolution และความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำการตรวจวัด ในกรณีที่เลือก Pulse width กว้างจะส่งผลทำให้กำลังงานของพัลส์แสงมีค่ามาก จึงเป็นการเพิ่มความสามารถของ OTDR ให้สามารถวัดเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความยาวมาก ๆ ได้แต่ผลเสียก็คือทำให้ขนาดของ Dead zone กว้างขึ้นและยากที่จะแยกแยะความแตกต่างระหว่างรอยตำหนิ (Faults) บนเส้นใยแก้วนำแสงที่อยู่ใกล้ ๆ กันได้ ในกรณีที่เลือก Pulse width แคบจะทำให้ OTDR วัดเส้นใยแก้วนำแสงได้สั้นลง แต่ Dead zone มีระยะสั้นกว่าและสามารถแยกความแตกต่างบริเวณจุดบกพร่องที่ใกล้ ๆ กันได้ดี

4) **Fiber range** การเลือกค่า Fiber range ควรเลือกให้ยาวกว่าเส้นใยแก้วนำแสงที่กำลังตรวจสอบเพียงเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น ถ้าเส้นใยแก้วนำแสงที่กำลังทดสอบมีความยาว 80 กิโลเมตร ผู้ใช้ควรตั้งค่า Fiber range ไว้ที่ 100 กิโลเมตร เนื่องจากว่าถ้าป้อน Fiber range ที่สั้นเกินไป จะทำให้สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากปลายของเส้นใยแก้วนำแสงปรากฏขึ้นในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง เพราะโดยหลักการของ OTDR นั้นช่วงเวลาที่สัญญาณแสงสะท้อนกลับมายังหัววัดแสงจะสัมพันธ์กับ Fiber range ที่ตั้งไว้ ดังนั้นถ้าตั้งค่า Fiber range สั้นกว่าความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่แท้จริง ช่วงเวลาที่หัววัดแสงเปิดรับสัญญาณสะท้อนกลับมาก็จะสั้นลงด้วย จึงเป็นเหตุให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

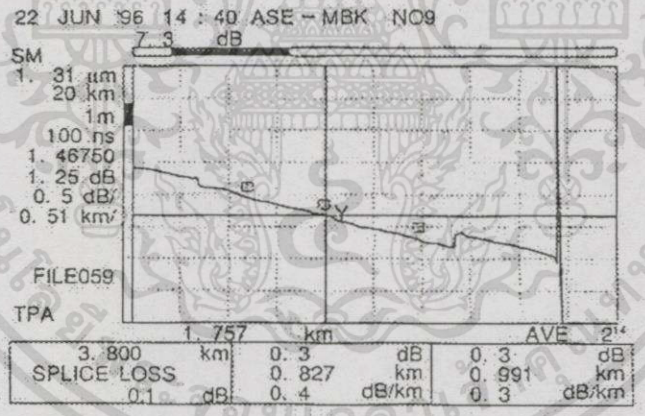
สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากปลายเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งใช้เวลาในการเดินทางมากกว่าช่วงเวลาดังกล่าวไม่อาจถูกตรวจจับได้ในกรอบเวลาที่ถูกต้อง ในทางตรงข้าม ถ้าหากเลือก Fiber range ให้ยาวเกินไปจะทำให้ช่วงเวลาที่หัววัดเปิดรับแสงที่สะท้อนกลับมีเวลานาน เป็นผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ Ghosting และผลเสียอีกประการหนึ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือ การวัดในแต่ละครั้งจะใช้เวลานานมากขึ้น

5) Averaging เนื่องจากการวัดแต่ละครั้ง ค่าความเข้มของสัญญาณที่สะท้อนกลับอาจเกิดขึ้นได้หลายค่ากระจายอยู่รอบๆ ค่าใดค่าหนึ่ง ดังนั้นเครื่อง OTDR จึงมีฟังก์ชันหาค่าเฉลี่ยดังกล่าวเพื่อให้สัญญาณที่ปรากฏมีความคมชัดขึ้น OTDR บางเครื่องสามารถเลือกค่าเฉลี่ยที่วัดได้ภายในช่วงเวลา (Time period) หรือตามจำนวนครั้งของการวัด (Sweeping number)

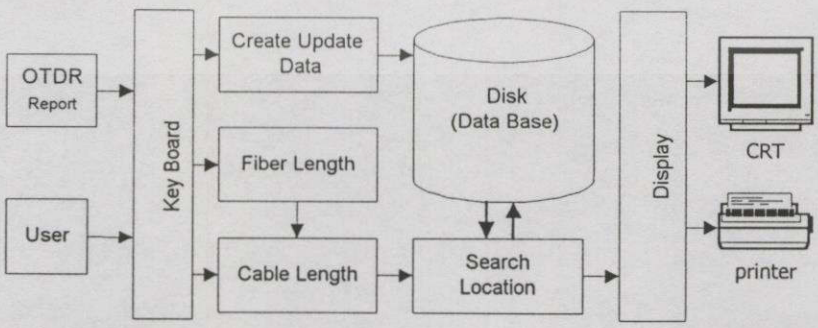
6) Back scatter coefficient ค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับเป็นอีกค่าหนึ่งที่ผู้ผลิตเส้นใยแก้วนำแสงกำหนดมาให้ ค่าดังกล่าวนี้จะนำมาใช้เพื่อการคำนวณกำลังงานแสงที่กระจัดกระจายย้อนกลับ (ตามสมการ 4.4)

7) Unit สำหรับ OTDR บางเครื่องการแสดงหน่วยความยาว สามารถเลือกได้ตามความต้องการ เช่น เมตร กิโลเมตรหรือไมล์เป็นต้น

8) Scale ผู้ใช้สามารถเลือก Scale สำหรับแสดง Fiber signature ที่เหมาะสมได้ โดยทั่วไปแกนแนวตั้งจะแสดงกำลังงานแสงที่หัววัดเทียบกับกำลังงานแสงอินพุทมีหน่วยเป็น dB/div ส่วนแกนแนวนอนแสดงความยาวเส้นใยแก้วนำแสงมีหน่วยเป็นกิโลเมตรและมี Scale เป็น km/div



รูปที่ 4.20 ตัวอย่างกราฟและรายละเอียดพารามิเตอร์ต่างๆ ของ OTDR

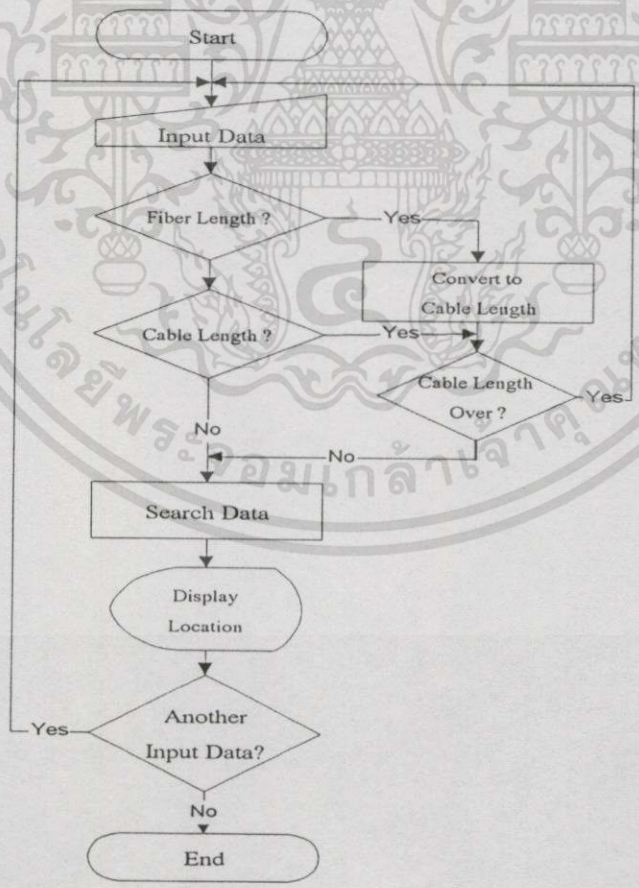


รูปที่ 4.21 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การออกแบบโปรแกรม

จากรูปที่ 4.21 เป็นภาพรวมของเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3.1 การทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือการสร้างและแก้ไขฐานข้อมูลซึ่งรวบรวมรายละเอียดไว้จากหัวข้อที่ 4.1.3 และ 4.2 อีกส่วนหนึ่งคือการค้นหาตำแหน่งข่ายสายที่บกพร่องหรือชำรุดจากฐานข้อมูล โดยปกติเมื่อข่ายสายเคเบิลได้รับความเสียหายจากสาเหตุใดๆ ก็ตามจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือทดสอบที่เรียกว่า OTDR ตรวจสอบเพื่อค้นหาระยะจุดบกพร่องในเบื้องต้น ความเที่ยงตรงนั้นขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นสำหรับตั้งค่าหรือ Set up ให้กับ OTDR โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า n จะต้องสอดคล้องกับค่าดัชนีหักเหของเส้นใยแก้วนำแสงที่กำลังทดสอบเสมอ ผลที่อ่านได้จาก OTDR คือระยะเส้นใยแก้วนำแสงที่ชำรุดหรือบกพร่องซึ่งยังไม่สามารถนำมาใช้อ้างอิงกับฐานข้อมูลได้ จำเป็นต้องแปลงค่าดังกล่าวให้เป็นความยาวสายเคเบิลที่เกิดจากผลรวมของ Mark length เสียก่อน หลังจากนั้นจึงนำไปเปรียบเทียบเพื่อค้นหาจากฐานข้อมูลต่อไป ในขณะเดียวกันผู้ใช้งานสามารถป้อนตัวเลขใดๆ ตามที่ต้องการผ่านทางแป้นพิมพ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้เช่นเดียวกัน แต่จะต้องอยู่ในพิกัดความยาวของสายเคเบิลในเส้นทางนั้นๆ ด้วย รูปที่ 4.22 แสดงโฟล์วชาร์ตการทำงานของโปรแกรมซึ่งได้พัฒนาชุดคำสั่งบนโปรแกรมประยุกต์ของ Microsoft Visual Basic 6.0



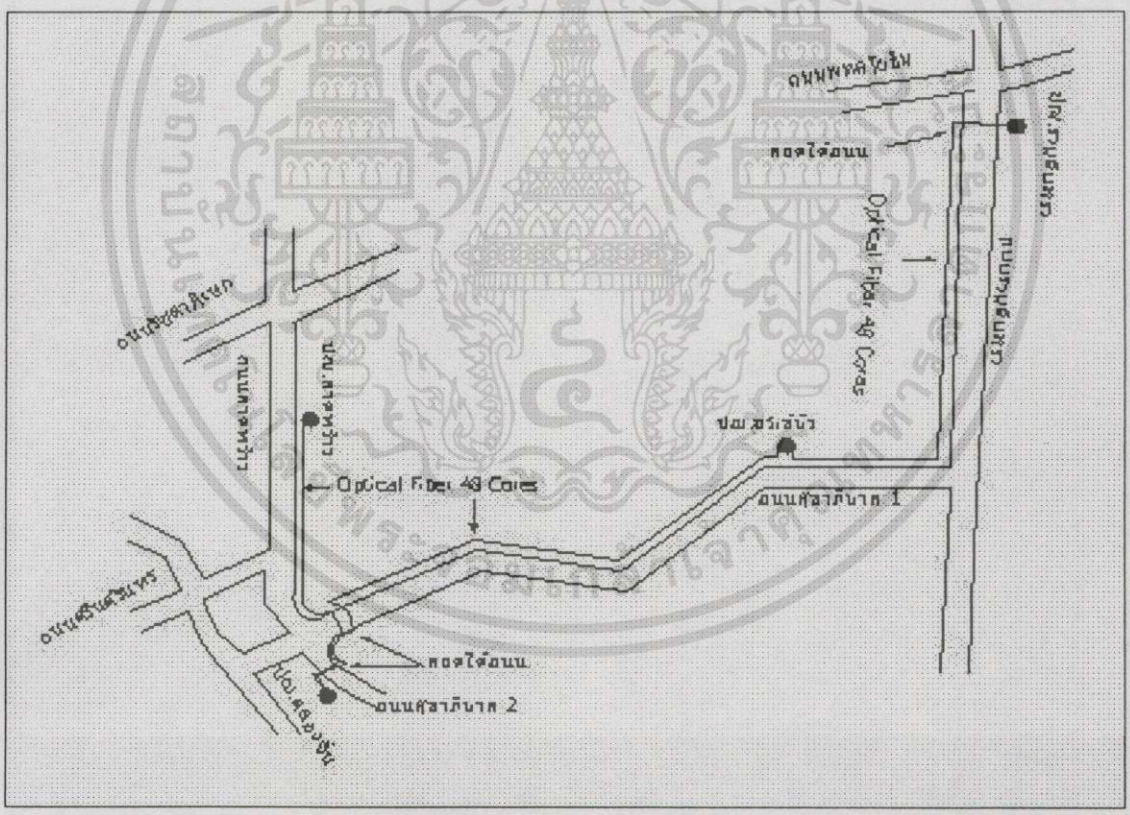
รูปที่ 4.22 โฟล์วชาร์ตการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

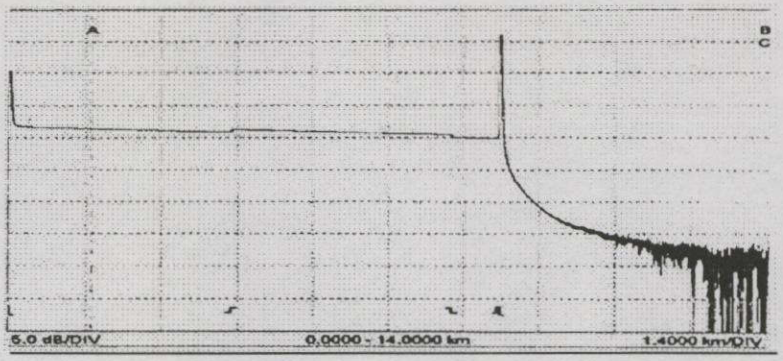
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

โปรแกรมตรวจสอบความเสียหายหรือระบบแสดงผลจุดชำรุดในโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงนี้ได้ทดลองกับโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงของการสื่อสารแห่งประเทศไทย ระหว่างสถานีคลองจั่นกับสถานีจระเข้บัว ดังรูปที่ 5.1 ซึ่งมีระยะทาง 8.6 กม. ติดตั้งเมื่อปี พ.ศ. 2542 ด้วยเคเบิล Pirelli 1999 SM 48-9/125 (S = 118 mm., R = 3.55 mm. คำนวณหาค่า Z = 1.77%) และจากการสำรวจแนวสายเคเบิลตลอดทั้งเส้นทางมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.1 หลังจากนั้นตรวจสอบสายเคเบิลดังกล่าวด้วย OTDR รุ่น HP - 8147 ที่ PW=10 ns, λ=1310 nm. และ n=1.465 (ระบุไว้ในรายละเอียดด้านเทคนิคของผู้ผลิตสายเคเบิล) เพื่อต้องการหาจุดชำรุดหรือข้อบกพร่องต่างๆ ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งปรากฏตำแหน่งบกพร่อง (จุดเชื่อมต่อเคเบิล) 2 จุดคือที่ระยะ 4.0702 Km. และ 8.1193 Km. ดังตาราง Event Table หมายเลข 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 แผนที่แนวสายเคเบิลที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Start Pos.	Refr. Indx	Samp.Dist	Scatter Coeff
0.0 m	1.465	1.136 m	48.400 dB

Event Table

No.	Type	Location [Km]	Refl. [dB]	InsLoss [dB]	Atten. [dB/Km]	CumLoss [dB]
1	REFLECT	0.000	-27.460	0.000	0.347	0.000
2	GAINER	4.0702		0.254	0.217	0.941
3	SPLICE	8.1193		-0.175	0.215	1.402
4	REFLECT	9.0427	-20.840	0.000	0.000	2.008

รูปที่ 5.2 ผลการวัดสายเคเบิลด้วย OTDR ระหว่างสถานี ปณ.คลองจั่น-ปณ.จระเข้บัว

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดแนวสายเคเบิลระหว่างสถานีปณ.คลองจั่น-ปณ.จระเข้บัว

ลำดับที่	Mark length	ตำแหน่งเคเบิล	บริเวณตำแหน่งเคเบิล
1	4018	ปณ.คลองจั่น	ห้องโทรคมนาคม ชั้น 2 ถ.สุขาภิบาล2
2	3748	P.1372	ร้านแว่น ท็อปเจริญ ถ.สุขาภิบาล2
3	3674	P.1409	ร้านบางกะปี การแว่น ถ.สุขาภิบาล2
4	3522	P.12 MC	ร้านไพบูลย์ ผ้าม่าน ถ.สุขาภิบาล1
5	3495	P.4 (กฟน)	ฝ่ายรักษาความสะอาด กทม. ถ.สุขาภิบาล1
6	3447	P.5 (กฟน)	สถานีตำรวจ ถาดพร้าว ถ.สุขาภิบาล1
7	3365	P.7	สำนักงานภาษี พื้นที่ 10 ถ.สุขาภิบาล1
8	3247	CR.0/380	หมวดการทาง บางกะปี ถ.สุขาภิบาล1
9	2976	CR.0/640	โรงเรียน บ้านบางกะปี ถ.สุขาภิบาล1
10	2856	P.20	โรงเรียน บ้านบางกะปี ถ.สุขาภิบาล1
11	2741	P.22	ซอย การเคหะ 2 ถ.สุขาภิบาล1
12	2655	P.24	ซอย การเคหะ 5 ถ.สุขาภิบาล1
13	2588	P.26	ซอย การเคหะ 7 ถ.สุขาภิบาล1
14	2518	P.28	ซอย การเคหะ 8 ถ.สุขาภิบาล1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

15	2484	CR.1/117	ซอย การเคหะ 9 ถ.สุขาภิบาล1
16	2445	P.31	ซอย การเคหะ 11 ถ.สุขาภิบาล1
17	2365	P.33	ซอย การเคหะ 13 ถ.สุขาภิบาล1
18	2286	P.35	ซอย การเคหะ15 ถ.สุขาภิบาล1
19	2207	P.37	ซอย การเคหะ 17 ถ.สุขาภิบาล1
20	2136	P.39	ซอย การเคหะ18 ถ.สุขาภิบาล1
21	2029	P.42	ซอย การเคหะ 20 ถ.สุขาภิบาล1
22	1948	P.44	ธ.ทหารไทย (คลองจั่น) ถ.สุขาภิบาล1
23	1858	CR.1/750	ตลาดสด แฮปปีแลนด์ ถ.สุขาภิบาล1
24	1735	P.50	สำนักงาน ประชาสงเคราะห์ 2 ถ.สุขาภิบาล1
25	1532	CR.2/073	สำนักงานที่ดิน บางกะปิ ถ.สุขาภิบาล1
26	1428	P.58	แยก ซอยนวลจันทร์ ถ.สุขาภิบาล1
27	1348	P.61	คลองพังพวย ถ.สุขาภิบาล1
28	1280	P.62	ร้าน ศิริชัย ถ.สุขาภิบาล1
29	1164	CR.2/428	ธ.กรุงศรีอยุธยา (คลองจั่น) ถ.สุขาภิบาล1
30	945	CR.2/627	ปั๊มน้ำมัน คาลเท็กซ์ ถ.สุขาภิบาล1
31	684	CR.2/900	ซอย ทานตะวัน ถ.สุขาภิบาล1
32	608	P.80	พิศาลแลนด์ ถ.สุขาภิบาล1
33	535	P.82	ซอย ม.ปรีชา ถ.สุขาภิบาล1
34	383	P.7783	ร้าน ทรงศิลป์ ถ.สุขาภิบาล1
35	317	CR.3/280	ธ.กสิกรไทย (คลองจั่น) ถ.สุขาภิบาล1
36	97	P.95	ซอย อินทราลักษณ์ ถ.สุขาภิบาล1
37	7, 3995	P.1972	ซอย ปัญจมิตร 3 ถ.สุขาภิบาล1
38	3763	CR.3/720	ซอย ธรณ์นิคม ถ.สุขาภิบาล1
39	3459	P.110	ซอย โอพาร 1 ถ.สุขาภิบาล1
40	3394	CR.4/160	ซอย ม.สินธานี 1 ถ.สุขาภิบาล1
41	3101	CR.4/443	ซอย โพธิ์แก้ว ถ.สุขาภิบาล1
42	3006	P.126	ซอย โชคชัย ถ.สุขาภิบาล1
43	2813	P.134	ซอย สันติสุข ถ.สุขาภิบาล1
44	2718	CR.4/800	ซอย ถาวร ถ.สุขาภิบาล1
45	2576	P.141	ซอย สมาคมแพทย์ ถ.สุขาภิบาล1
46	2280	CR.5/245	สวนอาหาร บ้านแก้ว ถ.สุขาภิบาล1
47	1870	P.12 MC	ซอย ม.ปัฐวิกรณ์ ถ.สุขาภิบาล1
48	1810	CR.5/640	คลองกุ่มวิลล่า ถ.สุขาภิบาล1
49	1556	P.161	ซอย มิตรประพันธ์ ถ.สุขาภิบาล1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

50	1458	P.ค 8961	ซอย ม.นพรัตน์ ถ.สุขาภิบาล1
51	1174	CR.6/275	โรงเรียน เบญจมินทร์ ถ.สุขาภิบาล1
52	858	P.180	ซอย ทันเจริญ ถ.สุขาภิบาล1
53	684	CR.6/760	ซอย เคหะยุทธ ถ.สุขาภิบาล1
54	406	CR.7/043	ห้างสรรพสินค้า โลตัส ถ.สุขาภิบาล1
55	150	CR.7/300	ซอย สวัสดี ถ.สุขาภิบาล1
56	8, 1355	P.2021	คลองจั่นวิลล่า 2 ถ.สุขาภิบาล1
57	1250	CR.7/530	ซอย สิงหเสนี ถ.สุขาภิบาล1
58	1009	CR.7/810	ซอย สิงหเสนี 2 ถ.สุขาภิบาล1
59	710	P.220	พี.เอ็ม.อพาร์ตเมนต์ ถ.สุขาภิบาล1
60	446	ปณ.จระเข้บัว	ห้องโทรคมนาคม ชั้น 2 ถ.สุขาภิบาล1
P = หมายเลขเสาไฟฟ้า, CR = หมายเลขสะพานลอยคนข้าม, ลำดับที่ 37, 56 คือจุดเชื่อมต่อเคเบิล			
ลำดับที่ 37 ปลายสายเคเบิลมี Mark Length (7), (3995); ลำดับที่ 56 มี Mark Length (8), (1335)			
รวมความยาวเคเบิลทั้งสิ้น 8,907 เมตร			

5.1 ผลการทดลอง

โปรแกรมแสดงผลจุดชำรุดโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่นำเสนอนี้ประกอบด้วยหัวข้อรายการหลัก (Menu) 2 ส่วนคือ ส่วนบันทึกและแก้ไขรายการและส่วนแสดงผลทางหน้าจอหรือเครื่องพิมพ์ โดยมีภาพแสดงหน้าจอเริ่มต้นดังรูปที่ 5.3

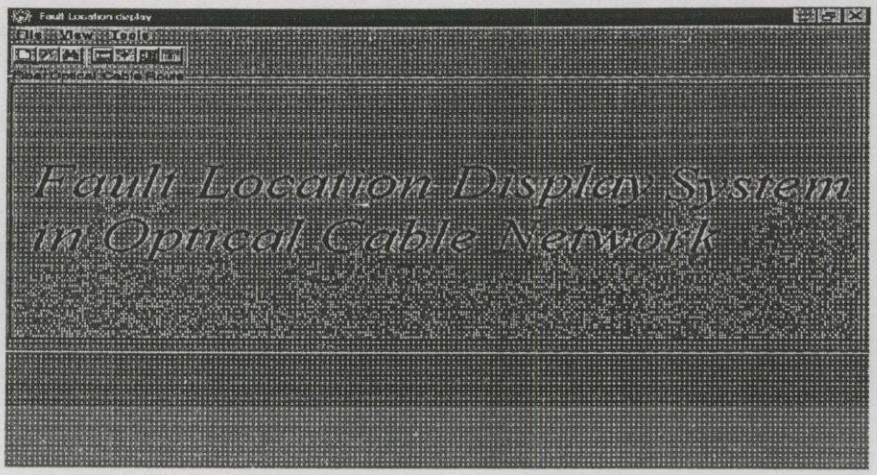
5.1.1 การบันทึกและแก้ไขรายการ

โดยปกติขั้นตอนแรกสุดของระบบแสดงผลทั่วไปคือการสร้างฐานข้อมูล ซึ่งรายละเอียดข้อมูลที่สำคัญสำหรับโปรแกรมที่นำเสนอได้เก็บรวบรวมไว้แล้วในบทที่ 4 ได้แก่ ลักษณะโครงสร้างสายเคเบิล อุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งข่ายสายเคเบิล ชื่ออาคารและสถานที่ติดตั้ง และลักษณะภูมิประเทศตลอดแนวสายเคเบิล เป็นต้น โดยสามารถบันทึกรายการต่างๆเหล่านี้ผ่านแป้นพิมพ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

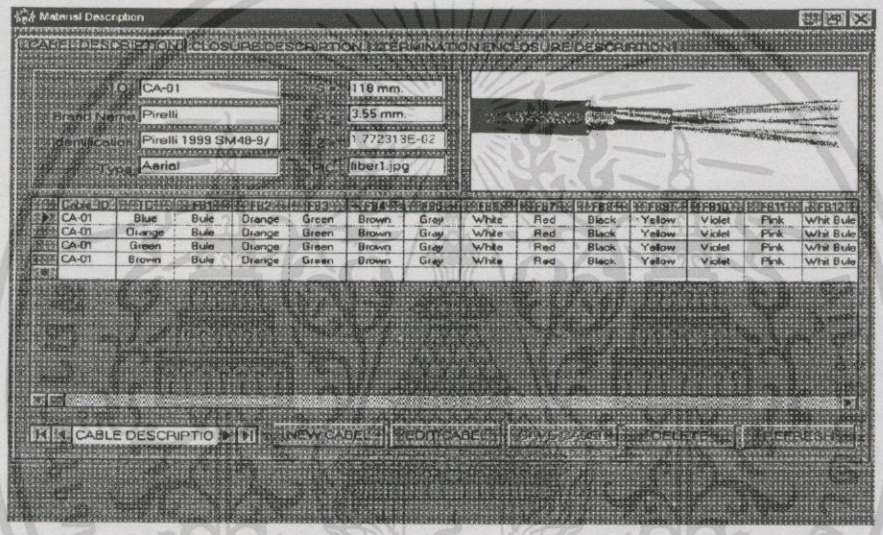
5.1.1.1 ขั้นตอนบันทึกรายละเอียดทั่วไป (Material Description)

รายละเอียดทั่วไปหมายถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสายเคเบิลใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable) หัวต่อสายเคเบิลกลางทาง (Optical Cable Closure) และตู้พักสายเคเบิลปลายทาง (Fiber Distribution Frame "FDF") ซึ่งประกอบด้วยภาพดังแสดงในรูป 5.4, 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ

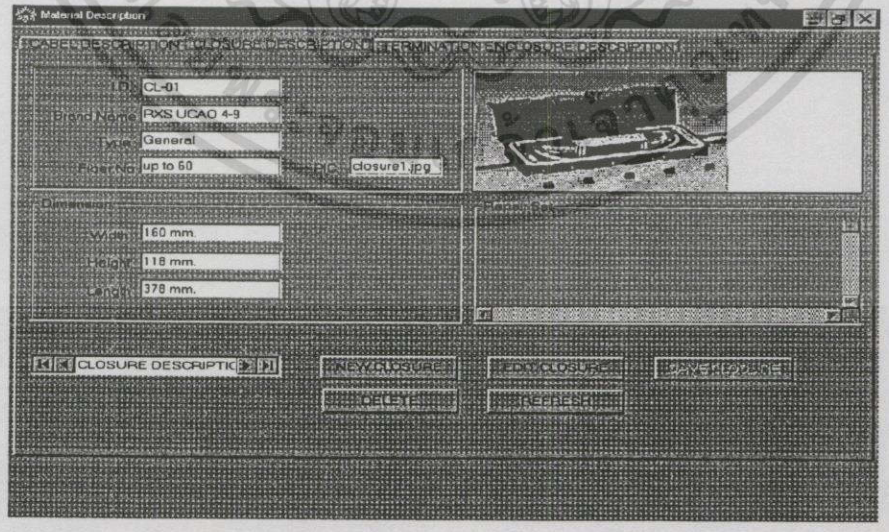
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ภาพหน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรมแสดงผล

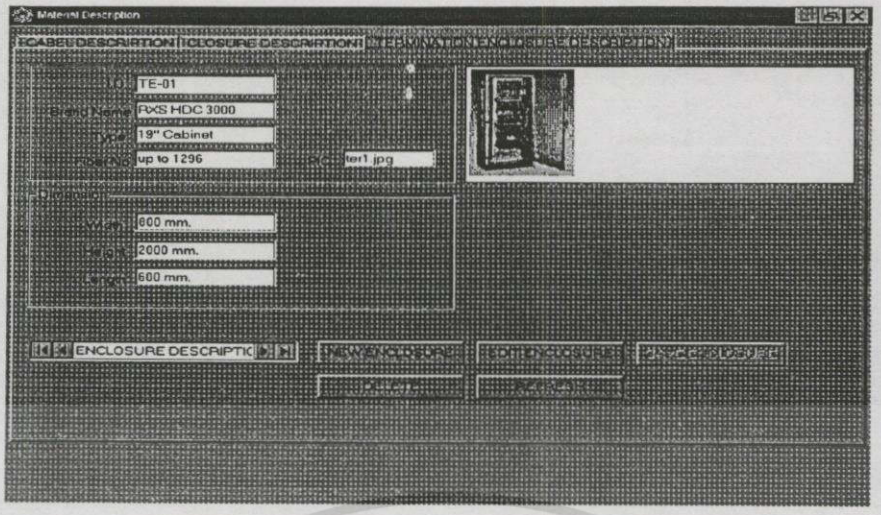


รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการบันทึกรายละเอียดของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

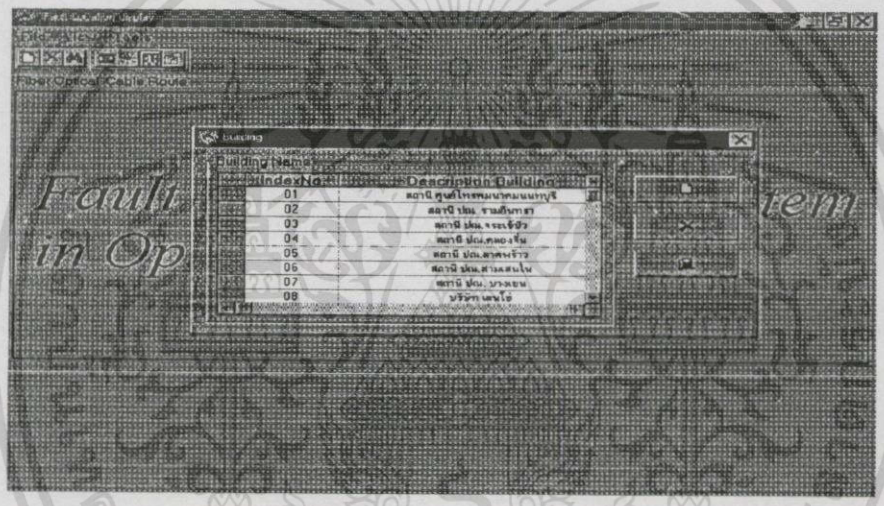


รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการบันทึกรายละเอียดของหัวต่อสายเคเบิล

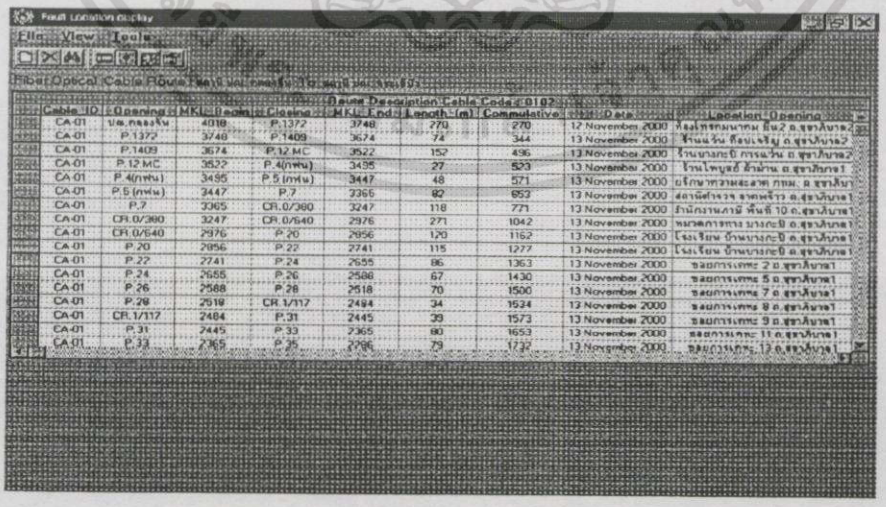
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการบันทึกรายละเอียดของตู้พักสายเคเบิล



รูปที่ 5.7 ขั้นตอนการกำหนดชื่ออาคาร สถานที่ติดตั้ง

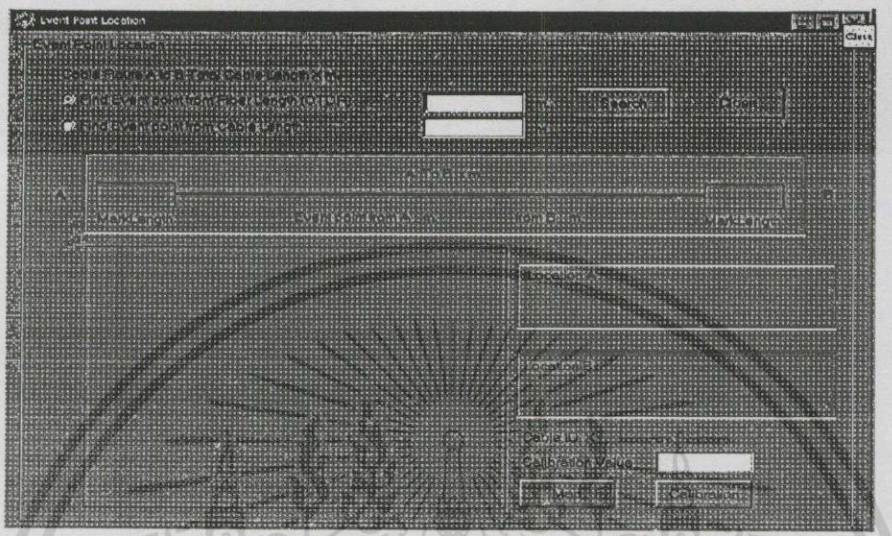


รูปที่ 5.8 ขั้นตอนการบันทึกรายละเอียดแนวสายเคเบิล

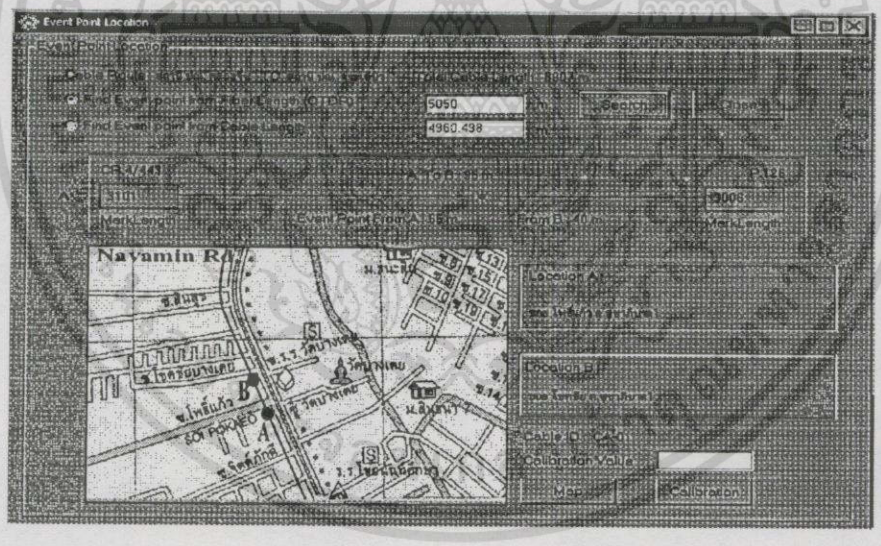
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.2 กำหนดเส้นทางเชื่อมโยงเครือข่ายและการแก้ไขข้อมูล (Create and Edit Data)

ขั้นตอนต่อไปหลังจากกำหนดรายละเอียดตามหัวข้อ 5.1.1.1 เป็นที่เรียบร้อยแล้วคือการกำหนดเส้นทางเชื่อมโยงเครือข่ายและการแก้ไขข้อมูล โดยเริ่มจากการกำหนดชื่ออาคาร สถานที่ติดตั้ง หลังจากนั้นจึงลงบันทึกรายละเอียดแนวสายเคเบิล ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และ 5.8



รูปที่ 5.9 จอภาพแสดงการค้นหาตำแหน่งของข่ายสายเคเบิล



รูปที่ 5.10 ตัวอย่างแสดงการค้นหาตำแหน่งที่ระยะ 5050 เมตร

5.1.2 การค้นหาและแสดงผลจากฐานข้อมูล

เมื่อจัดเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องตามหัวข้อที่ 5.1.1.1 และ 5.1.1.2 แล้ว ลำดับต่อไปเป็นการทดลองค้นหาตำแหน่งใดๆ ของสายเคเบิลเพื่อให้แสดงบนหน้าจอ ซึ่งในทางปฏิบัติก็คือตำแหน่งของสายเคเบิลที่ชำรุดหรือบกพร่องนั่นเอง ดังตัวอย่างภาพในรูปที่ 5.9 โดยสามารถป้อนระยะที่ต้องการค้นหาได้ 2 วิธีคือ ป้อนระยะเส้นใยแก้วนำแสงหรือระยะที่อ่านค่าได้จากเครื่องมือทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OTDR หรือป้อนระยะสายเคเบิลใยแก้วนำแสงโดยตรง ดังภาพตัวอย่างรูปที่ 5.9 บรรทัดที่ 4 และบรรทัดที่ 5 ตามลำดับ รูปที่ 5.10 แสดงตัวอย่างการค้นหาตำแหน่งข่ายสายเคเบิลเชื่อมโยงระหว่างสถานีปณ.คลองจั่นและปณ.จระเข้บัว ที่ระยะเส้นใยแก้วนำแสง (OTDR) 5,050 เมตร

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของการแสดงผลที่อ่านค่าได้จาก OTDR และโปรแกรมที่นำเสนอ รวมถึงการปรับเทียบ (Calibrate) เพื่อให้การแสดงผลใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น

5.2.1 การแสดงผลด้วยเครื่องมือทดสอบ OTDR

โดยทั่วไป การค้นหาตำแหน่งข่ายสายเคเบิลใยแก้วนำแสงนั้นอาศัยเครื่องมือทดสอบ OTDR แสดงระยะเคเบิลที่ชำรุดแล้วนำไปเปรียบเทียบกับแบบหรือแผนที่หรือระยะทางที่อ่านได้บนหน้าปัทม์รถยนต์ขณะออกสำรวจเพื่อค้นหาจุดชำรุด จากรูปที่ 5.2 เป็นตัวอย่างการทดสอบด้วยเครื่องมือวัด OTDR และเมื่อนำค่าต่างๆ ที่ได้เปรียบเทียบกับแบบหรือแผนที่แนวสายเคเบิลแล้วได้ผลลัพธ์แสดงไว้ตามตารางที่ 5.2 ซึ่งนอกจากมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงแล้วยังเกิดความล่าช้าในขั้นตอนการเปรียบเทียบอีกด้วย เนื่องจาก OTDR แสดงเฉพาะระยะเคเบิลเท่านั้นไม่สามารถแสดงสถานที่หรือตำแหน่งภูมิประเทศได้

ตารางที่ 5.2 ความคลาดเคลื่อนจากการแสดงผลด้วย OTDR

ระยะเคเบิลจริง (เมตร)	ระยะเคเบิลจาก OTDR (เมตร)	คลาดเคลื่อน (เมตร)	Error (%)
4011	4070	59	1.47
7998	8119	121	1.51
8907	9042	135	1.52

5.2.2 การแสดงผลด้วยโปรแกรม

Location ที่อ่านได้จาก OTDR (พิจารณาจากรูปที่ 5.2) คือระยะตำแหน่งของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่บกพร่องหรือมีรอยตำหนิในเบื้องต้นซึ่งจะเห็นได้ว่าแสดงเฉพาะระยะทางที่เป็นตัวเลขเท่านั้น ขั้นตอนต่อไปคือการแสดงรายละเอียดบริเวณที่บกพร่องเหล่านั้นด้วยภาพแผนที่ประกอบเพิ่มเติม โดยป้อนค่า Location ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อค้นหาและแสดงผลดังรูปที่ 5.11 ซึ่งเป็นตำแหน่งแรกของจุดบกพร่อง ในกรณีนี้คือจุดเชื่อมต่อสายโดยติดตั้งหัวต่อสายเคเบิลหรือ Closure หมายเลข 0403/01 ไว้บนเสาหมายเลข 1972 ปากซอยปัญจมิตร 3 ที่ระยะ 4.0702 Km. หรือตรงกับลำดับที่ 37 ของตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง 13 เมตร โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

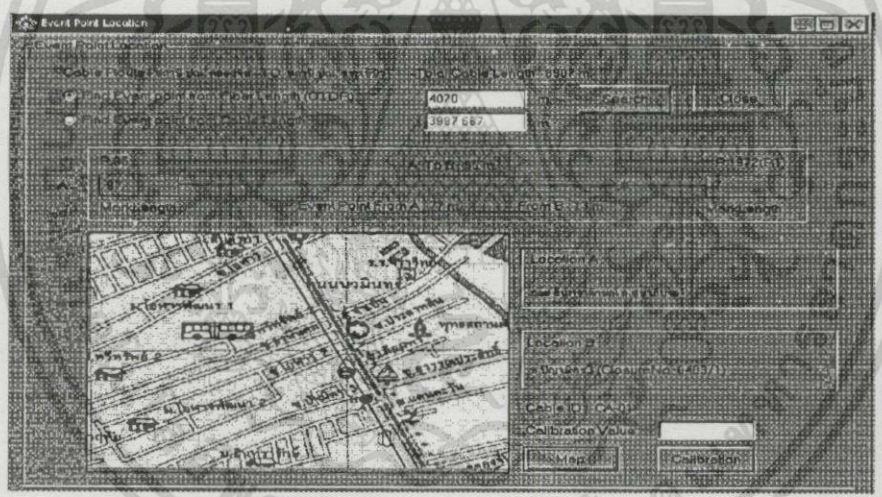
พิจารณาจากเครื่องหมาย(จุด)บนเส้นตรงระหว่างตำแหน่งเคเบิล "A" (Pole No.95) และ "B" (Pole No. 1972) ด้านล่างซ้ายแสดงแผนที่แนวเคเบิลประกอบการค้นหา ซึ่งสังเกตได้จากเครื่องหมาย(จุด) และสัญลักษณ์ "A" และ "B" เช่นเดียวกัน ส่วนด้านล่างขวาแสดงบริเวณตำแหน่งเคเบิลที่จุด "A" (ปากซอยอินทราลักษณ์) และจุด "B" (ปากซอยปัญจมิตร 3) รูปที่ 5.12 แสดงตำแหน่งเชื่อมต่อสายจุดที่ 2 หรือที่ระยะ 8.1193 Km. บริเวณปากซอย ม. คลองจั่นวิลล่า 2 Closure หมายเลข 0403/02 ติดตั้งไว้บนเสาหมายเลข 2021 ซึ่งตรงกับลำดับที่ 56 ของตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าภาพที่แสดงคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริง 23 เมตร รูปที่ 5.13 แสดงตำแหน่งปลายสุดของสายเคเบิลบริเวณชั้น 2 ของอาคาร ปณ.จระเข้บัว หรือที่ระยะ 9.042 Km. ตรงกับลำดับที่ 60 ของตารางที่ 5.1 โดยที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งจริง 25 เมตร ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นพิจารณาได้จากตารางที่ 5.3 ซึ่งคำนวณจาก

$$Error = C_R - C_D \tag{5.1}$$

เมื่อ Error = ความคลาดเคลื่อนจากการแสดงผลด้วยโปรแกรม

C_R = ระยะเคเบิลจริง (Real Cable)

C_D = ระยะเคเบิลจากการแสดงผล (Display Cable)

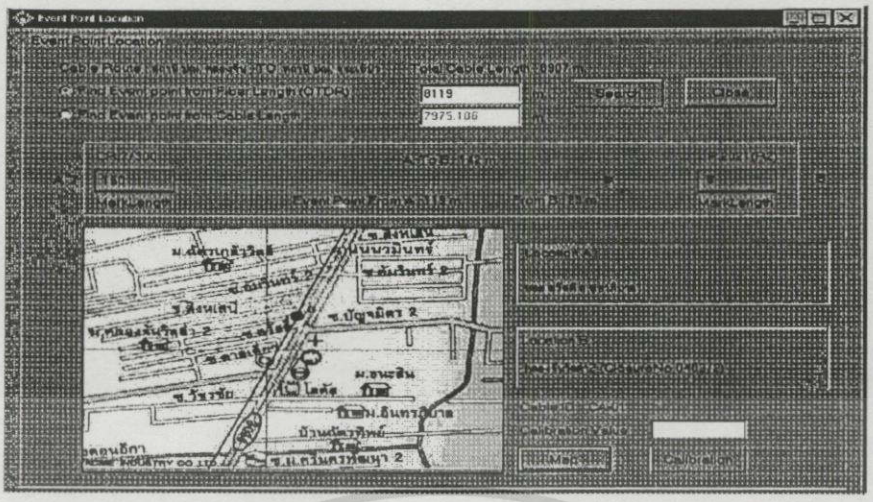


รูปที่ 5.11 บริเวณตำแหน่งเชื่อมต่อสายเคเบิลที่ระยะ 4.070 Km.

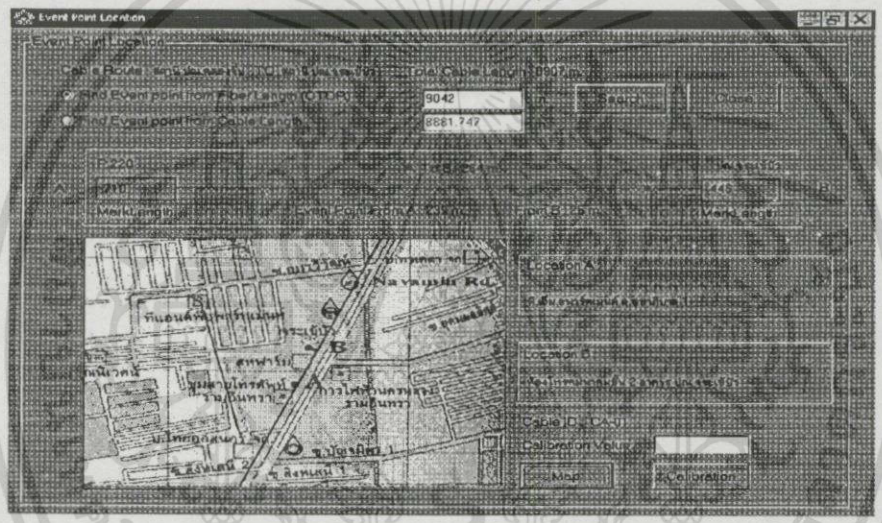
ตารางที่ 5.3 ความคลาดเคลื่อนจากการแสดงผลด้วยโปรแกรม

ระยะเคเบิลจริง (ม.)	ระยะเคเบิลที่แสดงผลด้วยโปรแกรม (ม.)		คลาดเคลื่อน (ม.)	Error %
	ระยะ OTDR	ระยะเคเบิล		
4011	4070	3998	13	0.324
7998	8119	7975	23	0.287
8907	9042	8881	25	0.280

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 บริเวณตำแหน่งเชื่อมต่อสายเคเบิลที่ระยะ 8.119 Km.



รูปที่ 5.13 บริเวณตำแหน่งปลายสายเคเบิลที่ระยะ 9.042 Km.

5.2.3 การปรับเทียบ (Calibrate)

เพื่อให้การแสดงผลด้วยโปรแกรมใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้นสามารถนำค่า Error (%) ที่เกิดขึ้นตรงจุดที่ทราบระยะจริงมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อกำหนดให้เป็นค่าแฟกเตอร์หนึ่งสำหรับการปรับเทียบ (Calibrate Factor) จากตารางที่ 5.3 คำนวณหาค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.297% หรือ 0.00297 ดังนั้นค่า Error เมื่อมีการปรับเทียบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.1 และเขียนใหม่ได้เป็น

$$Error_{cal} = (C_R - C_D) - (C_D \times F) \qquad (5.2)$$

เมื่อ $Error_{cal}$ = ความคลาดเคลื่อนหลังจากการปรับเทียบ

F = แฟกเตอร์สำหรับการปรับเทียบ (Calibrate Factor)

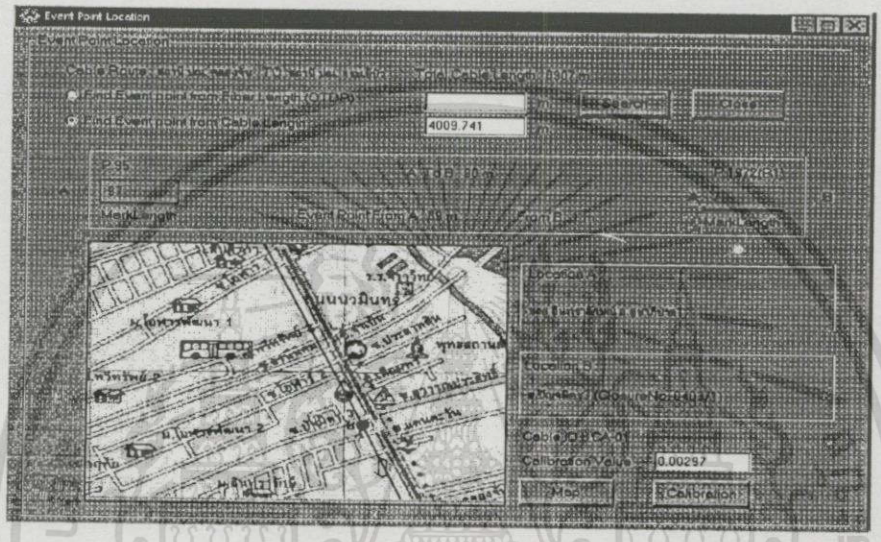
ผลที่ได้จากการปรับเทียบแสดงไว้ตามตารางที่ 5.4 รูปที่ 5.14, 5.15 และ 5.16 แสดงตำแหน่งเคเบิลหลังการปรับเทียบ จะเห็นได้ว่าคลาดเคลื่อนลดลงเป็น 1, -1 และ –2 เมตรตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

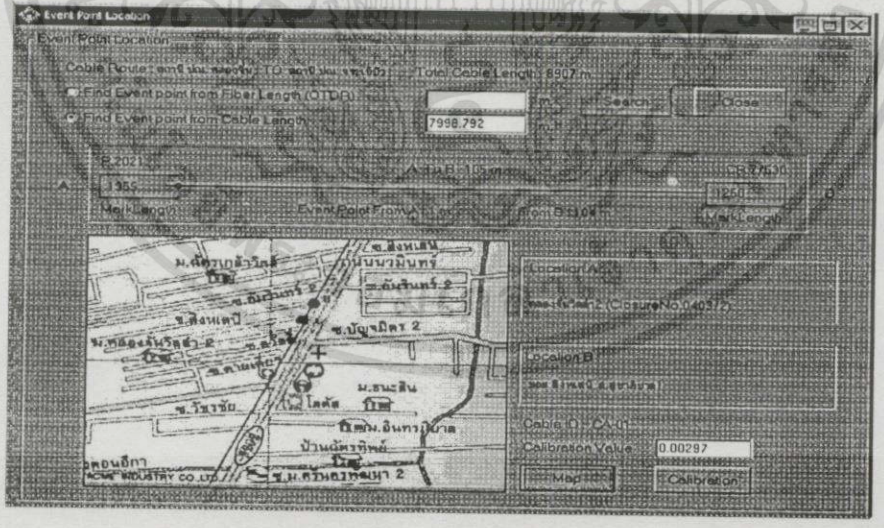
(เครื่องหมายลบหมายถึงค่าความคลาดเคลื่อนด้านตรงข้ามหรือ Opposite Error) จากการวัดด้วย OTDR และการแสดงผลด้วยโปรแกรมที่นำเสนอร่วมกับการปรับเทียบสามารถแสดงผลได้ใกล้เคียงมากที่สุด พิจารณาได้จากกราฟรูปที่ 5.17 โดยที่แกนแนวนอนคือระยะเคเบิลจริง และแกนแนวตั้งคือความคลาดเคลื่อนจากการแสดงผล ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\% \text{ Error} = (\Delta L / C_R) \times 100 \qquad (5.3)$$

เมื่อ ΔL = ผลต่างระหว่าง C_R และ C_D

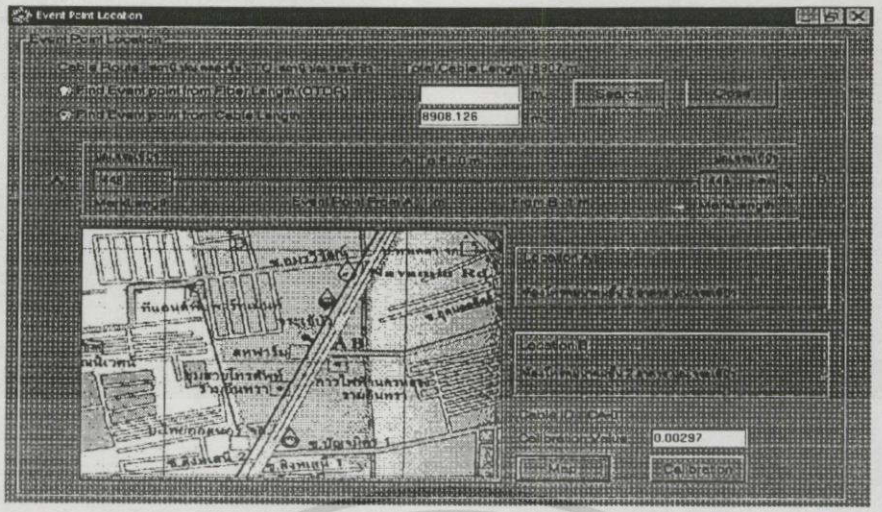


รูปที่ 5.14 ตำแหน่งเชื่อมต่อสายเคเบิลจุดแรกหลังจากการปรับเทียบ



รูปที่ 5.15 ตำแหน่งเชื่อมต่อสายเคเบิลจุดที่ 2 หลังจากการปรับเทียบ

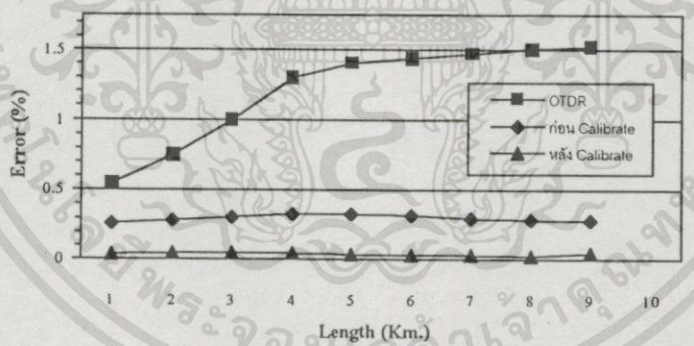
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 ตำแหน่งปลายสายเคเบิลหลังจากการปรับเทียบ

ตารางที่ 5.4 ความคลาดเคลื่อนจากแสดงผลด้วยโปรแกรมหลังจากการปรับเทียบ

ระยะเคเบิลจริง (ม.)	ระยะเคเบิลที่แสดงผลด้วยโปรแกรม (ม.)		Error (ม.)	Error (%)
	ระยะ OTDR	ระยะเคเบิล		
4011	4070	4009.7	1	0.0249
7998	8119	7998.8	-1	0.0125
8907	9042	8908.1	-2	0.0225



รูปที่ 5.17 ความคลาดเคลื่อนจากการแสดงผลทั้ง 3 วิธี

5.2.3 สรุปผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นใยแก้วนำแสงกับสายเคเบิลที่ห่อหุ้ม รวมทั้งการรวบรวมข้อมูลเชื่อมโยงเครือข่ายโดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้สามารถแสดงภาพแผนที่ประกอบการค้นหาตำแหน่งข่ายสายเคเบิลที่ชำรุดได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทาง โดยเฉลี่ยไม่เกิน 0.35 % ก่อนปรับเทียบและลดลงเหลือ 0.025 % หลังจากการปรับเทียบ เนื่องจากขั้นตอนการจดบันทึกข้อมูลอาจคลาดเคลื่อนไปจากความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นจริงโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณหัวต่อสายเคเบิลที่จำเป็นต้องม้วนสายเคเบิลและเส้นใยแก้วนำแสงไว้จำนวนหนึ่งเสมอ จึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสะสม อย่างไรก็ตามโปรแกรมสำหรับแสดงผลนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานตรวจแก้และบำรุงรักษาข่ายสายเคเบิลใยแก้วนำแสงได้ทั่วไป หรืออย่างน้อยอาจเป็นแนวทางเพื่อการพัฒนาและปรับปรุงให้มีขีดความสามารถเพิ่มสูงขึ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าเครื่องมือทดสอบ OTDR จะสามารถแสดงระยะข่ายสายเคเบิลที่ชำรุดได้ใกล้เคียงมากก็ตาม แต่ทว่าระยะ OTDR ที่แสดงนั้นหมายถึงความยาวของสายเคเบิลตลอดทั้งเส้นไม่ว่าเคเบิลจะอยู่ในลักษณะโค้งงอหรือม้วนเก็บไว้ตามจุดต่างๆ และหากพิจารณาถึงสภาพความเป็นจริงการติดตั้งข่ายสายเคเบิลนั้นจำเป็นต้องม้วนสายหรือไม่ก็ขดสายไว้หลายๆแห่งด้วยกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณหัวต่อสายเคเบิลระหว่างทางและปลายทาง นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดสำหรับการติดตั้งในแต่ละเส้นทางที่จำเป็นต้องดำเนินการติดตั้งหลายๆวิธีร่วมกันเช่นพาดแขวนบนเสา ร้อยท่อใต้ดินหรือลอดข้ามถนนเป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นมูลเหตุให้ระยะทางที่อ่านได้บน OTDR ไม่สอดคล้องกับระยะทางตามแนวพื้นราบของสายเคเบิล ซึ่งส่งผลให้การค้นหาตำแหน่งข่ายสายเคเบิลที่ชำรุดเป็นไปด้วยความล่าช้า

ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับสายเคเบิลที่ห่อหุ้ม อันเนื่องมาจากโครงสร้างของสายเคเบิลชนิดติดตั้งภายนอกอาคารทั่วไปที่มีจุดประสงค์เพื่อป้องกันความเสียหายซึ่งอาจเกิดขึ้นกับเส้นใยแก้วนำแสงในขณะทำการติดตั้งและภายหลังจากการติดตั้ง โดยมีลักษณะโครงสร้างที่แพร่หลายมากที่สุดคือท่อพลาสติกบรรจุเส้นใยแก้วนำแสงตีเกลียวล้อมรอบแกนกลางของสายเคเบิล ดังนั้นจึงทำให้เส้นใยแก้วนำแสงมีความยาวมากกว่าสายเคเบิลที่ห่อหุ้มเสมอ เมื่อเป็นเช่นนี้จึงจำเป็นต้องคำนวณหาความสัมพันธ์ดังกล่าว เพื่อให้การค้นหาตำแหน่งข่ายสายเคเบิลที่ชำรุดถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ปัญหาสำคัญที่ทำให้การคำนวณหาความสัมพันธ์ได้ผลคลาดเคลื่อนคือความเที่ยงตรงของการอ่านค่าบนเครื่องมือวัด Vernier Caliper ในขณะพิจารณาโครงสร้างสายเคเบิลและนอกจากนี้ค่าที่นำมาใช้คำนวณบางค่าจำเป็นต้องใช้ค่าเฉลี่ย ได้แก่ระยะรัศมีเกลียวของเส้นใยแก้วนำแสงที่วัดจากจุดศูนย์กลางของสายเคเบิลถึงจุดศูนย์ของท่อพลาสติกบรรจุเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งในความเป็นจริงนั้นเส้นใยแก้วนำแสงถูกบรรจุไว้ในท่อพลาสติกอย่างหลวมๆ ดังนั้นจึงเป็นไปไม่ได้ที่ตำแหน่งของเส้นใยแก้วนำแสงจะอยู่ตรงจุดศูนย์กลางของท่อพลาสติกดังกล่าวเสมอไป

การสำรวจเพื่อรวบรวมข้อมูลเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่ทำให้การแสดงผลคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง การสำรวจในบางแห่งเป็นไปด้วยความยากลำบาก ข้อมูลที่รวบรวมได้อาจผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริงเช่น บริเวณตำแหน่งเชื่อมต่อสายเคเบิลเข้าด้วยกันซึ่งจำเป็นต้องเผื่อปลายสายเคเบิลทั้ง 2 ด้านไว้พอประมาณ 5-10 เมตรเพื่อความสะดวกต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ ทำให้การเก็บข้อมูลเครื่องหมายระยะความยาว (Mark Length) อาจคลาดเคลื่อนได้ง่าย หรือในกรณีที่เครื่องหมาย Mark Length ลบเลือนจนไม่สามารถจดบันทึกค่าที่แท้จริงได้ เป็นต้น จะเห็นได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องหมาย Mark Length มีความสำคัญมากสำหรับการแสดงผล เป็นตำแหน่งที่ตายตัวหรือเรียกว่าหมายเลขที่อยู่ (Address) ของสายเคเบิล โดยใช้ผลการวัดระยะในเบื้องต้นด้วย OTDR เพื่อทำหน้าที่ชี้ตำแหน่งดังกล่าวหรือเรียกว่า Pointer นั่นเอง

อย่างไรก็ตาม การแสดงผลด้วยโปรแกรมนี้ สามารถลดความคลาดเคลื่อนลงได้ในระดับหนึ่งด้วยวิธีการปรับเทียบ (Calibrate) โดยชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนในตำแหน่งที่ทราบระยะจริงจากค่าเฉลี่ยซึ่งค่าดังกล่าวนี้เรียกว่า สัมประสิทธิ์การปรับเทียบ (Calibrate Factor) จากการทดลองสามารถลดความคลาดเคลื่อนลงได้จาก 0.35 % เป็น 0.025 %

การนำโปรแกรมแสดงผลจุดชำรุดนี้ไปประยุกต์ใช้งานให้มีประสิทธิภาพนั้นควรสำรวจเส้นทางแนวสายเคเบิลอย่างละเอียดรวมถึงข้อมูลที่จำเป็นอื่นๆ เพื่อสร้างฐานข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งระยะ Mark Length หากรวบรวมไว้มากเท่าใด การแสดงผลย่อมมีความละเอียดมากเท่านั้น โครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงทั่วไปทั้งชนิดพาดแขวนบนเสาหรือร้อยท่อใต้ดินสามารถนำโปรแกรมดังกล่าวนี้ประยุกต์ใช้งานได้ทุกๆกรณี หากเป็นชนิดพาดแขวนบนเสาสำหรับเชื่อมโยงระหว่างเมืองแนะนำให้จดบันทึกระยะ Mark Length ของสายเคเบิลบริเวณเครื่องหมายบอกระยะทางของกรมทางหลวงหรือหลักกิโลเมตร เพื่อความต่อเนื่องและง่ายต่อการจดบันทึก ส่วนข่ายสายเคเบิลในเขตเมืองซึ่งอาจเป็นไปได้ทั้งชนิดพาดแขวนบนเสาและร้อยท่อใต้ดินควรรวบรวมรายละเอียดให้มากกว่าในกรณีแรก เนื่องจากระยะทางสายเคเบิลสั้นและโอกาสเสี่ยงต่อความเสียหายมีค่อนข้างสูงกว่าโดยเฉพาะเมืองที่กำลังพัฒนาหรือปรับปรุงระบบสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรกลขนาดใหญ่และอาจก่อให้เกิดความเสียหายกับข่ายสายเคเบิลได้ตลอดเวลา

นอกจากนี้การปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอยู่ตลอดเวลา เช่นการตัดต่อซ่อมแซมสายเคเบิลในแต่ละครั้งควรแก้ไขรายการใหม่ด้วยทุกครั้ง และบางครั้งสภาพภูมิประเทศอาจเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเช่นมีสิ่งปลูกสร้างเกิดขึ้นบริเวณแนวสายเคเบิล การก่อสร้างสะพานลอย การขยายผิวการจราจร การก่อสร้างถนนหรือทางเชื่อม เป็นต้น รายละเอียดดังกล่าวควรนำไปปรับปรุงรายการในฐานข้อมูลด้วยเช่นกัน

ถึงแม้ว่าโปรแกรมแสดงผลที่นำเสนอนี้สามารถแสดงแผนที่บริเวณตำแหน่งเคเบิลที่ต้องการค้นหาได้ก็ตาม แต่ยังมีบางส่วนที่ต้องศึกษาและพัฒนาต่อไปอีกคือ การเชื่อมต่อเข้าด้วยกันระหว่างเครื่องมือทดสอบ OTDR และเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลด้วยพอร์ตมาตรฐาน RS-232 หรือ HP-IB Interface เพื่อให้การแสดงผลมีประสิทธิภาพสูงและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยที่สามารถลดขั้นตอนการป้อนข้อมูล (จาก OTDR) ที่แป้นพิมพ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ และการจัดเรียงลำดับของข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้ในฐานข้อมูลให้สามารถเข้าถึงได้ทั้ง 2 ด้าน ซึ่งจะช่วยให้การตรวจสอบค้นหาตำแหน่งชำรุดด้วย OTDR และโปรแกรมแสดผลสามารถกระทำได้ทั้งสถานีต้นทางและสถานีปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธ์ไพบูลย์. 2541. "อุปกรณ์ตรวจสอบเส้นใยนำแสง OTDR ตอน 1." **เซมิคอนดักเตอร์**. 16(190) : 164-171.

Allard, F.C. 1990. **Fiber Optics Handbook for Engineers and Scientists**. Singapore : McGraw-Hill.

Mahlke, G. and Gossing, P. 1997. Fiber Optic Cables. 3rd ,rev.ed. Munich : MCD Verlag.

Gilmore, M. 1993. **Fiber Optic Cabling**. Wiltshire : Redwood Press Limited.

Hoss, R.J. and Lacy, E.A. 1982. Fiber Optics. 2nd .ed. New Jersey : PTR Prentice Hall.

Refi, J.J. 1991. **Fiber Optic Cable – A Light Guide**. New York : abc TeleTraining.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ชุดคำสั่งโปรแกรมแสดงผลจุดชำรุดในโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสง

```
Option Explicit
Private Sub cmdDeleteRoute_Click()
  On Error GoTo DeleteBuilding
  If MsgBox(" Do you want to delete Building Name?", vbYesNo, " Delete Building Name ") = vbYes Then
  datBuilding.Recordset.Delete
  dbgrdBuilding.AllowDelete = True
  dbgrdBuilding.AllowUpdate = True
  dbgrdBuilding.AllowRowSizing = False
  dbgrdBuilding.Refresh
  dbgrdBuilding.SetFocus
  Else
  dbgrdBuilding.AllowDelete = False
  dbgrdBuilding.AllowUpdate = False
  dbgrdBuilding.AllowRowSizing = False
  dbgrdBuilding.Refresh
  fraBuilding.TabIndex = 0
  End If
  Exit Sub
DeleteBuilding:
  MsgBox Err.Description, vbInformation + vbOKOnly, "Error Delete Building Name"
End Sub
Private Sub cmdExit_Click()
  Unload frmBuilding
  frmRoute.dbgrdRoute.SetFocus
End Sub
Private Sub cmdNewBuilding_Click()
  On Error GoTo ErrorNewBuilding
  datBuilding.Recordset.AddNew
  dbgrdBuilding.AllowAddNew = True
  dbgrdBuilding.AllowUpdate = True
  dbgrdBuilding.AllowRowSizing = False
  datBuilding.Recordset.MoveLast
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    dbgrdBuilding.SetFocus
    Exit Sub
ErrorNewBuilding:
    MsgBox Err.Description, vbInformation + vbOKOnly, "Error Add New Building"
End Sub
Private Sub Form_Load()
    datBuilding.RecordSource = "Select * from Building"
    datBuilding.Refresh
    dbgrdBuilding.Columns(0).Width = 1300
    dbgrdBuilding.Columns(1).Width = 4000
    dbgrdBuilding.AllowRowSizing = False
    dbgrdBuilding.Refresh
    fraBuilding.TabIndex = 0
End Sub
**************************************************************
Option Explicit
Public Opening_Maintenance_Value  As String
Dim AlignmentCol As Integer
Dim CountRec As Integer
Dim ChangeRec As Integer
Const FieldsNumber As Integer = 11
Const WidthFieldColumn0 As Integer = 1000
Const WidthFieldColumn1 As Integer = 800
Const WidthFieldColumn2 As Integer = 1100
Const WidthFieldColumn3 As Integer = 1000
Const WidthFieldColumn4 As Integer = 1100
Const WidthFieldColumn5 As Integer = 1000
Const WidthFieldColumn6 As Integer = 1100
Const WidthFieldColumn7 As Integer = 1200
Const WidthFieldColumn8 As Integer = 1500
Const WidthFieldColumn9 As Integer = 2500
Const WidthFieldColumn10 As Integer = 1000
Const WidthFieldColumn11 As Integer = 1600
'Dim WidthFieldColumn As WidthFieldColumns
'Const NameFieldColumn0 = "Cable_Code"
'Const NameFieldColumn1 = "Cable_ID"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'Const NameFieldColumn2 = "Opening"
'Const NameFieldColumn3 = "Marklength_Begin"
'Const NameFieldColumn4 = "Closing"
'Const NameFieldColumn5 = "Marklength_End"
'Const NameFieldColumn6 = "Length_(m)"
'Const NameFieldColumn7 = "Commulative_(m)"
'Const NameFieldColumn8 = "Date"
'Const NameFieldColumn9 = "Location_Opening"
'Const NameFieldColumn10 = "Remark"
'Const NameFieldColumn11 = "Time_Stamp"
Private Sub LoadingMaintenance()
  datMaintenance.RecordSource = "Maintenance"
  datMaintenance.Refresh
  Call LoadFormatGrid
  datMaintenance.Recordset.AddNew
  dbgrdMaintenance.AllowAddNew = True
End Sub
Private Sub cmdDeleteRepair_Click()
On Error GoTo ErrorDeleteRepair
   If MsgBox("Do you deleted a data Maintenance of fiber ?", vbDefaultButton1 + vbInformation + vbYesNo,
"Deleted Data Maintenance Fiber") = vbYes Then
     datMaintenance.Recordset.Delete
     datMaintenance.Recordset.MovePrevious
   End If
   Exit Sub
ErrorDeleteRepair:
   If Err.Number = 3021 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub cmdRepair_Click()
On Error GoTo ErrorRepair
  datMaintenance.Recordset.MoveFirst
  Opening_Maintenance_Value = datMaintenance.Recordset.Fields(2)
  Call frmRoute.Find_Opening
  Call frmRoute.AddRepair
  Exit Sub
ErrorRepair:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If Err.Number = 94 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub Form_Load()
    TimerLoading.Enabled = True
End Sub
Public Sub AdjustColumns()
    With dbgrdMaintenance
        .Columns(0).Visible = False
        .Columns(6).Visible = False
        .Columns(7).Visible = False
        .Columns(8).Visible = False
        .Columns(0).Width = WidthFieldColumn0
        .Columns(1).Width = WidthFieldColumn1
        .Columns(2).Width = WidthFieldColumn2
        .Columns(3).Width = WidthFieldColumn3
        .Columns(4).Width = WidthFieldColumn4
        .Columns(5).Width = WidthFieldColumn5
        .Columns(6).Width = WidthFieldColumn6
        .Columns(7).Width = WidthFieldColumn7
        .Columns(8).Width = WidthFieldColumn8
        .Columns(9).Width = WidthFieldColumn9
        .Columns(10).Width = WidthFieldColumn10
        .Columns(11).Width = WidthFieldColumn11
        .Columns(11).Visible = False
        .AllowRowSizing = False
        .Refresh
    End With
End Sub
Private Sub LoadFormatGrid()
    DoEvents
        Call AdjustColumns
        For AlignmentCol = 0 To FieldsNumber - 1
            dbgrdMaintenance.Columns(AlignmentCol).Alignment = 2
        Next AlignmentCol
            CountRec = datMaintenance.Recordset.RecordCount
For ChangeRec = 1 To CountRec
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            dbgrdMaintenance.Columns(8).NumberFormat = "Long Date"
            If datMaintenance.Recordset.EOF Then Exit Sub
            datMaintenance.Recordset.MoveNext
        Next ChangeRec
End Sub
Private Sub TimerLoading_Timer()
  Call LoadingMaintenance
  TimerLoading.Enabled = False
End Sub
Option Explicit
Dim AddNewEnable As Boolean
Dim RefreshEnable As Boolean
Const FieldsNumber As Long = 13 '13 fields total
Const WidthFieldCloumn = 800
Const LoadingPictureCable As String = "C:\Program Files\FiberOptic\PicCable\"
'@===== SECTION CABLE DESCRIPTION ==========
Private Sub LoadingPicture()
On Error GoTo ErrorLoadingPicture
  PicCable.Cls
  PicCable.Picture = LoadPicture(LoadingPictureCable & txtCable(7).Text)
  PicCable.Refresh
  Exit Sub
ErrorLoadingPicture:
  If Err.Number = 53 Or Err.Number = 76 Then
    PicCable.Cls
    PicCable.Picture = LoadPicture(LoadingPictureCable & "Clear.jpg")
    PicCable.Refresh
    Exit Sub
  End If
  MsgBox Err.Number & Err.Description
End Sub
Private Sub LoadingdatColor()
  Dim IDvalue As String
  On Error GoTo ErrorLoadingdatColor
  If RefreshEnable = False Then
    IDvalue = datCableDescription.Recordset.Fields(0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    datColor.RecordSource = "SELECT * FROM Color_Fiber WHERE CABLE_ID = '" & IDvalue & "'"
  ElseIf RefreshEnable = True Then
    IDvalue = txtCable(0).Text
    datColor.RecordSource = "SELECT * FROM Color_Fiber WHERE CABLE_ID = '" & IDvalue & "'"
    RefreshEnable = False
  End If
  datColor.Refresh
  Exit Sub
ErrorLoadingdatColor:
  If Err.Number = 3021 Then Exit Sub
End Sub
Public Sub AdjustColumns()
Dim AlignmentCol As Long
On Error GoTo ErrorAdjustColumns
  Call LoadingdatColor
  With dbgrdCableDescription
    .Columns(0).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(1).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(2).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(3).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(4).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(5).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(6).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(7).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(8).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(9).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(10).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(11).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(12).Width = WidthFieldCloumn
    .Columns(13).Width = WidthFieldCloumn
    .AllowRowSizing = False
    .Refresh
  End With
  For AlignmentCol = 1 To FieldsNumber
      dbgrdCableDescription.Columns(AlignmentCol).Alignment = 2
  Next AlignmentCol
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Exit Sub
ErrorAdjustColumns:
    If Err.Number = 9 Then Exit Sub
    MsgBox Err.Number & Err.Description
End Sub
Private Sub cmdDeleteCable_Click()
On Error GoTo ErrorDeleteCable
    If MsgBox("Do you deleted a data Color of fiber ?", vbDefaultButton1 + vbInformation + vbYesNo, "Deleted
Data Color Fiber") = vbYes Then
        datCableDescription.Recordset.Delete
        datCableDescription.Recordset.MovePrevious
    End If
    Exit Sub
ErrorDeleteCable:
    If Err.Number = 3021 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub cmdEdit_Click()
On Error GoTo ErrorEdit
    datCableDescription.Recordset.Edit
    datColor.Recordset.Edit
    txtCable(0).SetFocus
    cmdSave.Enabled = True
    Exit Sub
ErrorEdit:
    If Err.Number = 3021 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub cmdNew_Click()
On Error GoTo ErrorNew
    AddNewEnable = True
    datCableDescription.Recordset.AddNew
    'datColor.Recordset.AddNew
    txtCable(0).SetFocus
    cmdSave.Enabled = True
    Exit Sub
ErrorNew:
    If Err.Number = 3426 Then Exit Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
Private Sub cmdRefreshCable_Click()
  RefreshEnable = True
  Call AdjustColumns
  Call Calculate
End Sub
Private Sub cmdSave_Click()
On Error GoTo ErrorSave
  If Not txtCable(0).Text = "" Then
  datCableDescription.Recordset.Update
  datColor.Recordset.Update
  txtCable(0).SetFocus
  cmdSave.Enabled = False
  datCableDescription.Recordset.Bookmark = datCableDescription.Recordset.LastModified
  End If
  Exit Sub
ErrorSave:
If Err.Number = 3020 Then Exit Sub
MsgBox Err.Number & Err.Description
End Sub
Private Sub datCableDescription_Validate(Action As Integer, Save As Integer)
  If AddNewEnable = True Then
    AddNewEnable = False
    Exit Sub
  Else
    TimerRefresh.Enabled = True
  End If
End Sub
Private Sub dbgrdCableDescription_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As
Single)
  If Button = 2 Then
    Me.PopupMenu frmMaterialDescription.mnuPopup
  End If
End Sub
Private Sub Form_Load()
  TimeCable.Enabled = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    cmdSave.Enabled = False
  End Sub
  Private Sub SSTabMaterialDescription_Click(PreviousTab As Integer)
    If PreviousTab = 0 Then
      cmdSaveClosure.Enabled = False
      cmdSaveEnclosure.Enabled = False
      TimerClosure = True
      TimerEnclosure = True
    ElseIf PreviousTab = 1 Then
      cmdSaveEnclosure.Enabled = False
      cmdSave.Enabled = False
      TimerEnclosure = True
    ElseIf PreviousTab = 2 Then
      cmdSave.Enabled = False
    End If
  End Sub
  Private Sub TimeCable_Timer()
    Call AdjustColumns
    txtCable(0).SetFocus
    TimeCable.Enabled = False
    Call LoadingPicture
  End Sub
  Private Sub submnuPopup_Click(Index As Integer)
  On Error GoTo ErrorDelete
    Select Case Index
        Case 1:  dbgrdCableDescription.Text = txtCable(0).Text
        Case 2:  dbgrdCableDescription.Text = "Bule"
        Case 3:  dbgrdCableDescription.Text = "Orange"
        Case 4:  dbgrdCableDescription.Text = "Green"
        Case 5:  dbgrdCableDescription.Text = "Brown"
        Case 6:  dbgrdCableDescription.Text = "Gray"
        Case 7:  dbgrdCableDescription.Text = "White"
        Case 8:  dbgrdCableDescription.Text = "Red"
        Case 9:  dbgrdCableDescription.Text = "Black"
        Case 10: dbgrdCableDescription.Text = "Yellow"
        Case 11: dbgrdCableDescription.Text = "Violet"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Case 12: dbgrdCableDescription.Text = "Pink"
        Case 13: dbgrdCableDescription.Text = "Whit Bule"
        Case 15: If MsgBox("Do you deleted a data Color of fiber ?", vbDefaultButton1 + vbInformation +
vbYesNo, "Deleted Data Color Fiber") = vbYes Then
                dbgrdCableDescription.AllowDelete = True
                dbgrdCableDescription.CurrentCellVisible = True
                datColor.Recordset.Delete
                datColor.Recordset.MovePrevious
            End If
    End Select
    Exit Sub
ErrorDelete:
    If Err.Number = 3021 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub TimerRefresh_Timer()
    Static TimeDelay As Long
    TimeDelay = TimeDelay + 1
    If TimeDelay = 2 Then
        Call AdjustColumns
        Call LoadingPicture
        TimeDelay = 0
        TimerRefresh.Enabled = False
    End If
End Sub
'@====== SECTION CLOSURE DESCRIPTION ==========
Private Sub cmdNewClosure_Click()
On Error GoTo ErrorNewClosure
    datClosure.Recordset.AddNew
    txtCable(15).SetFocus
    cmdSaveClosure.Enabled = True
    Exit Sub
ErrorNewClosure:
    If Err.Number = 3426 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub cmdEditClosure_Click()
On Error GoTo ErrorEditClosure
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    datClosure.Recordset.Edit
    txtCable(15).SetFocus
    cmdSaveClosure.Enabled = True
    Exit Sub
ErrorEditClosure:
    If Err.Number = 3021 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub cmdSaveClosure_Click()
On Error GoTo ErrorSaveClosure
    datClosure.Recordset.Update
    txtCable(15).SetFocus
    cmdSaveClosure.Enabled = False
    datClosure.Recordset.Bookmark = datClosure.Recordset.LastModified
    Exit Sub
ErrorSaveClosure:
    If Err.Number = 3020 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub cmdDeleteClosure_Click()
On Error GoTo ErrorDeleteClosure
    If MsgBox("Do you deleted a data Closure of fiber ?", vbDefaultButton1 + vbInformation + vbYesNo,
"Deleted Data Closure Fiber") = vbYes Then
      datClosure.Recordset.Delete
      datClosure.Recordset.MovePrevious
    End If
    Exit Sub
ErrorDeleteClosure:
    If Err.Number = 3021 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub datClosure_Validate(Action As Integer, Save As Integer)
   TimerClosure = True
End Sub
Private Sub LoadingPictureClosure()
On Error GoTo ErrorLoadingPictureclosure
   picClosure.Cls
   picClosure.Picture = LoadPicture(LoadingPictureCable & txtCable(11).Text)
   picClosure.Refresh
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Exit Sub
ErrorLoadingPictureclosure:
    If Err.Number = 53 Or Err.Number = 76 Then
        picClosure.Cls
        picClosure.Picture = LoadPicture(LoadingPictureCable & "Clear.jpg")
        picClosure.Refresh
        Exit Sub
    End If
    MsgBox Err.Number & Err.Description
End Sub
Private Sub TimerClosure_Timer()
    Static ValuePic As Long
    ValuePic = ValuePic + 1
    If ValuePic = 2 Then
        Call LoadingPictureClosure
        TimerClosure = False
        ValuePic = 0
    End If
End Sub
Private Sub cmdRefreshClosure_Click()
    TimerClosure = True
    frmMaterialDescription.Refresh
    datClosure.Refresh
End Sub
'@====== SECTION ENCLOSURE DESCRIPTION ==========
Private Sub cmdNewEnclosure_Click()
On Error GoTo ErrorNewEnClosure
    datEnclosure.Recordset.AddNew
    txtCable(19).SetFocus
    cmdSaveEnclosure.Enabled = True
    Exit Sub
ErrorNewEnClosure:
    If Err.Number = 3426 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub cmdEditenClosure_Click()
On Error GoTo ErrorEditrnClosure
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    datEnclosure.Recordset.Edit
    txtCable(19).SetFocus
    cmdSaveEnclosure.Enabled = True
    Exit Sub
ErrorEditrnClosure:
    If Err.Number = 3021 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub cmdSaveenClosure_Click()
On Error GoTo ErrorSaveenClosure
    datEnclosure.Recordset.Update
    txtCable(19).SetFocus
    cmdSaveEnclosure.Enabled = False
    datEnclosure.Recordset.Bookmark = datEnclosure.Recordset.LastModified
    Exit Sub
ErrorSaveenClosure:
    If Err.Number = 3020 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub cmdDeleteenClosure_Click()
On Error GoTo ErrorDeleteenClosure
    If MsgBox("Do you deleted a data Enclosure of fiber ?", vbDefaultButton1 + vbInformation + vbYesNo,
"Deleted Data Enclosure Fiber") = vbYes Then
        datEnclosure.Recordset.Delete
        datEnclosure.Recordset.MovePrevious
    End If
ErrorDeleteenClosure:
    If Err.Number = 3021 Then Exit Sub
End Sub
Private Sub cmdRefreshenClosure_Click()
  TimerEnclosure = True
  frmMaterialDescription.Refresh
  datEnclosure.Refresh
End Sub
Private Sub datenClosure_Validate(Action As Integer, Save As Integer)
    TimerEnclosure = True
End Sub
Private Sub LoadingPictureEnClosure()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
On Error GoTo ErrorLoadingPictureEnclosure
  picEnclosure.Cls
  picEnclosure.Picture = LoadPicture(LoadingPictureCable & txtCable(23).Text)
  picEnclosure.Refresh
  Exit Sub
ErrorLoadingPictureEnclosure:
  If Err.Number = 53 Or Err.Number = 76 Then
    picEnclosure.Cls
    picEnclosure.Picture = LoadPicture(LoadingPictureCable & "Clear.jpg")
    picEnclosure.Refresh
    Exit Sub
  End If
  MsgBox Err.Number & Err.Description
End Sub
Private Sub TimerenClosure_Timer()
 Static ValuePic As Long
 ValuePic = ValuePic + 1
 If ValuePic = 2 Then
   Call LoadingPictureEnClosure
   TimerEnclosure = False
   ValuePic = 0
 End If
End Sub
Private Sub txtCable_GotFocus(Index As Integer)
 Select Case Index
     Case 7:
     Call Calculate
 End Select
End Sub
Private Sub Calculate()
On Error GoTo ErrorCalculate
 Dim ValuenotZero As Single
 Dim S As Single
 Dim R As Single
 Dim L As Single
     ValuenotZero = txtCable(4).Text
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If ValuenotZero = 0 Then
          Exit Sub
        ElseIf Not ValuenotZero = 0 Then
          S = txtCable(4).Text
          R = txtCable(5).Text
          L = Sqr(1 + ((((2 * 22 / 7) * R) / S) ^ 2)) - 1
          ValuenotZero = L
          txtCable(6).Text = L
        End If
        Exit Sub
ErrorCalculate:
        If Err.Number = 13 Then Exit Sub
end Sub
Option Explicit
Dim AlignmentCol As Integer
Dim CountRec As Integer
Dim ChangeRec As Integer
Dim DeleteforBackup As Boolean
Public CheckStatusCableRoute As Boolean
Public CheckLoad As Boolean
Public Cable_ID_Value As String
Const FieldsNumber = 11 '11 fields total
Const FieldCloumn0 = "Cable_Code"
Const FieldCloumn1 = ""
Const FieldCloumn2 = ""
Const FieldCloumn3 = ""
Const FieldCloumn4 = ""
Const FieldCloumn5 = ""
Const FieldCloumn6 = ""
Const FieldCloumn7 = ""
Const FieldCloumn8 = ""
Const FieldCloumn9 = ""
Const FieldCloumn10 = ""
Const FieldCloumn11 = ""
Const WidthFieldCloumn0 = 1000
Const WidthFieldCloumn1 = 800
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Const WidthFieldCloumn2 = 1100
Const WidthFieldCloumn3 = 1000
Const WidthFieldCloumn4 = 1100
Const WidthFieldCloumn5 = 1000
Const WidthFieldCloumn6 = 1100
Const WidthFieldCloumn7 = 1200
Const WidthFieldCloumn8 = 1500
Const WidthFieldCloumn9 = 2500
Const WidthFieldCloumn10 = 1000
Const WidthFieldCloumn11 = 1600
Public Sub AdjustColumns()
  With dbgrdRoute
      .Columns(0).Visible = False
      submnuView(1).Checked = False
      .Columns(0).Width = WidthFieldCloumn0
      .Columns(1).Width = WidthFieldCloumn1
      .Columns(2).Caption = "Opening" '_(TE/EC/BC)"
      .Columns(2).Width = WidthFieldCloumn2
      .Columns(3).Width = WidthFieldCloumn3
      .Columns(3).Caption = "MKL_Begin"
      .Columns(4).Caption = "Closing" '_(TE/EC/BC)"
      .Columns(4).Width = WidthFieldCloumn4
      .Columns(5).Width = WidthFieldCloumn5
      .Columns(5).Caption = "MKL_End"
      .Columns(6).Width = WidthFieldCloumn6
      .Columns(7).Width = WidthFieldCloumn7
      .Columns(8).Width = WidthFieldCloumn8
      .Columns(9).Width = WidthFieldCloumn9
      .Columns(10).Width = WidthFieldCloumn10
      .Columns(10).Caption = "Map"
      .Columns(11).Width = WidthFieldCloumn11
      .Columns(11).Visible = False
.AllowRowSizing = False
      .Refresh
  End With
  For AlignmentCol = 1 To FieldsNumber
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        dbgrdRoute.Columns(AlignmentCol).Alignment = 2
        dbgrdBackup.Columns(AlignmentCol).Alignment = 2
    Next AlignmentCol
End Sub
Public Sub SearchCableCode()
    Dim SearchCableCode As String
    Dim CheckCableCodeNull As String
    Dim NumberRecordTableRoute As Integer
    On Error GoTo SearchCableCode
      frmRoute.submnuView(1).Enabled = True
      frmRoute.submnuFile(2).Enabled = True
      frmRoute.submnuFile(3).Enabled = True
      cmdEditRoute.Enabled = True
      cmdDeleteRoute.Enabled = True
      cmdFindSpliceLoss.Enabled = True
    If frmSearchCable.cmbRoute.Text = "" Then
      'Display for user don't to select a Cable Code.
      'MsgBox " Insert Cable_Code for Searching.", vbQuestion + vbOKOnly, "Error Searching"
      frmSearchCable.cmbRoute.SetFocus
      cmdEditRoute.Enabled = False
      cmdDeleteRoute.Enabled = False
      cmdFindSpliceLoss.Enabled = False
      'cmdFindSpliceLoss.Enabled = False
      Exit Sub
    ElseIf frmSearchCable.cmbRoute.Text = "*" Then
        datRoute.RecordSource = "Select * from Route Order By Commulative "
        datRoute.Refresh
        dbgrdRoute.Caption = "Route Description Cable Code : " & frmSearchCable.cmbRoute.Text
        Call LoadFormatGrid
    ElseIf Not frmSearchCable.cmbRoute.Text = "" Then
          SearchCableCode = FieldCloumn0 & " = '" & frmSearchCable.cmbRoute.Text & "'"
          datRoute.RecordSource = "Select * from " & frmSearchCable.cmbRoute.Text & " Where " &
SearchCableCode & " Order By Commulative"
          datRoute.Refresh
          dbgrdRoute.Caption = "Route Description Cable Code : " & frmSearchCable.cmbRoute.Text
          datRoute.Recordset.MoveFirst
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        NumberRecordTableRoute = datRoute.Recordset.RecordCount
        Do While Not datRoute.Recordset.EOF
          CheckCableCodeNull = datRoute.Recordset.Fields(FieldCloumn0)
          If VarType(CheckCableCodeNull) = vbNull Then
            datRoute.Recordset.Edit
            datRoute.Recordset.Delete
          End If
          datRoute.Recordset.MoveNext
        Loop
      Call LoadFormatGrid
  End If
  Exit Sub
SearchCableCode:
  If Err.Number = 3021 Then
    Exit Sub
  ElseIf Err.Number = 3078 Then 'Not Table
    Exit Sub
  End If
  MsgBox Err.Number
  MsgBox Err.Description
End Sub
Private Sub LoadFormatGrid()
  DoEvents
    Call AdjustColumns
    For AlignmentCol = 1 To FieldsNumber
      dbgrdRoute.Columns(AlignmentCol).Alignment = 2
      dbgrdBackup.Columns(AlignmentCol).Alignment = 2
    Next AlignmentCol
      CountRec = datRoute.Recordset.RecordCount
      'MsgBox CountRec
      For ChangeRec = 1 To CountRec
        dbgrdRoute.Columns(8).NumberFormat = "Long Date"
        If datRoute.Recordset.EOF Then Exit Sub
        datRoute.Recordset.MoveNext
      Next ChangeRec
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub cmdBuilding_Click()
  frmBuilding.Show 1
  txtSetFocus.SetFocus
End Sub
Private Sub cmdCable_Click()
  frmMaterialDescription.Show
  'txtSetFocus.SetFocus
End Sub
Public Sub cmdDeleteRoute_Click()
  On Error GoTo ErrorDeleteRoute
  If DeleteforBackup = True Then
    dbgrdRoute.AllowDelete = True
    dbgrdRoute.CurrentCellVisible = True
    datRoute.Recordset.Delete
    datRoute.Recordset.MovePrevious
    DeleteforBackup = False
    'txtSetFocus.SetFocus
    dbgrdRoute.Refresh
  ElseIf MsgBox("Do you deleted a data of fiber ?", vbDefaultButton1 + vbInformation + vbYesNo, "Deleted
Data Fiber") = vbYes Then
    dbgrdRoute.AllowDelete = True
    dbgrdRoute.CurrentCellVisible = True
    datRoute.Recordset.Delete
    datRoute.Recordset.MovePrevious
    txtSetFocus.SetFocus
    dbgrdRoute.Refresh
  End If
  Exit Sub
ErrorDeleteRoute:
If Err.Number = 91 Then Exit Sub
  MsgBox "Do you select a record route cable for deleteing?", vbQuestion + vbOKOnly, "Error Delete Record
Route"
End Sub
Private Sub cmdEditRoute_Click()
  frmMaintenance.Show 1
txtSetFocus.SetFocus
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
Private Sub cmdFindSpliceLoss_Click()
    Cable_ID_Value = dbgrdRoute.Columns(1).Value
    frmSpliceLoss.Show
    'txtSetFocus.SetFocus
End Sub
Private Sub cmdNewRoute_Click()
    Dim NumberRecord As Integer
    Call submnuFile_Click(1)
    If CheckLoad = False Or frmNewCableCode.CreatTable = False Then
      Exit Sub
    Else
    NumberRecord = datRoute.Recordset.RecordCount
    If NumberRecord = 1 Then Exit Sub
    Call RefreshDataForCalulation
    Call CommulationValue
    dbgrdRoute.Refresh
    End If
    txtSetFocus.SetFocus
End Sub
Private Sub cmdSearchCable_Click()
    frmSearchCable.Show 1
    If dbgrdRoute.Columns(1).Value = "" Then
      'cmdFindSpliceLoss.Enabled = False
      Exit Sub
    End If
    cmdFindSpliceLoss.Enabled = True
    SubmnuTools.Item(1).Enabled = True
    txtSetFocus.SetFocus
End Sub
Public Sub RefreshDataForCalulation()
    Dim ResultMarkLength As Integer
    Dim ResultLength As Integer
    Dim ResultCommulative As Integer
    Dim CountRec As Integer
    Dim ChangeRec As Integer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Dim RouteName As String
    Dim CheckNullCableCode As String
    Dim CheckNullTimeStamp As String
    On Error GoTo ErrorCalulate
    CountRec = datRoute.Recordset.RecordCount
    datRoute.Recordset.MoveFirst
    RouteName = datRoute.Recordset.Fields(0)
    For ChangeRec = 1 To CountRec
      ResultMarkLength = Abs(dbgrdRoute.Columns(3).Value - dbgrdRoute.Columns(5).Value)
      dbgrdRoute.Columns(6).Value = ResultMarkLength
      CheckNullCableCode = IIf(IsNull(datRoute.Recordset.Fields(0)), "", datRoute.Recordset.Fields(0))
      CheckNullTimeStamp = IIf(IsNull(datRoute.Recordset.Fields(11)), "", datRoute.Recordset.Fields(11))
      If CheckNullCableCode = vbNullString Then
        datRoute.Recordset.Edit
        datRoute.Recordset.Fields(0) = RouteName
        datRoute.Recordset.Update
      End If
      If dbgrdRoute.Columns(8).Value = "" Then dbgrdRoute.Columns(8).Value = Format(Now(), "Long Date")
      If CheckNullTimeStamp = vbNullString Then
        datRoute.Recordset.Edit
        datRoute.Recordset.Fields(11) = Format(Now(), "General Date")
        datRoute.Recordset.Update
      End If
        datRoute.Recordset.MoveNext
    Next ChangeRec
    CheckStatusCableRoute = True
    Exit Sub
ErrorCalulate:
    'MsgBox Err.Number 'Message Error
    'MsgBox Err.Description
    If Err.Number = 94 Then
    ElseIf Err.Number = 3021 Then 'Not current Record
      MsgBox "The Cable Route is not found in the Database. ", vbQuestion + vbOKOnly, " Cable Route
Searching"
      CheckStatusCableRoute = False
      Exit Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ElseIf Err.Number = 3426 Then
      MsgBox "Press the insert data buttom in the new route cable form. ", vbQuestion + vbOKOnly, " Error
Cable Route"
      datRoute.Refresh
      If Not datRoute.Recordset.EOF Then datRoute.Recordset.MovePrevious
      Call LoadFormatGrid
      Exit Sub
    ElseIf Err.Number = 6 Then
      MsgBox "Press the insert data buttom in the new route cable form. ", vbQuestion + vbOKOnly, " Error
Cable Route"
      Call cmdDeleteRoute_Click
      Exit Sub
    ElseIf Err.Number = 13 Or Err.Number = 91 Then
      Exit Sub
    End If
    MsgBox Err.Description, vbQuestion + vbOKOnly, " Error Record Data not Null"
End Sub
Public Sub CommulationValue()
    Dim ResultLength As Integer
    Dim ResultCommulative As Integer
    Dim CountRec As Integer
    Dim ChangeRec As Integer
    Dim LengthValue As Integer
    'Dim DistancesLength As Integer
    On Error GoTo ErrorCommulationValue
    CountRec = datRoute.Recordset.RecordCount
    datRoute.Recordset.MoveFirst
    ResultCommulative = dbgrdRoute.Columns(6).Value
    For ChangeRec = 1 To CountRec - 1
      dbgrdRoute.Columns(7).Value = ResultCommulative
      For LengthValue = 1 To 1
        datRoute.Recordset.MoveNext
        dbgrdRoute.Columns(6).Value = Abs(dbgrdRoute.Columns(5).Value - dbgrdRoute.Columns(3).Value)
        ResultCommulative = dbgrdRoute.Columns(6).Value + ResultCommulative
Next LengthValue
    Next ChangeRec
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    dbgrdRoute.Columns(7).Value = ResultCommulative
    Exit Sub
ErrorCommulationValue:
    'MsgBox Err.Number & "/" & Err.Description
    If Err.Number = 6 Then 'Overflow
      Call cmdDeleteRoute_Click
      Exit Sub
    ElseIf Err.Number = 13 Then
      Call cmdDeleteRoute_Click 'Case : Insert Number don't to press new route buttom.
      Exit Sub
    ElseIf Err.Number = 3021 Or Err.Number = 91 Then 'Not Current Record
       Exit Sub
    End If
  MsgBox " Error: This Column isnot Null or the same.", vbOKOnly + vbCritical, " Error Update Record "
End Sub
Public Sub Find_Opening() ' Find data record(Opening_(TE/EC/BC)) to add new ( Opening Repairing)
    Dim ScrollCount As Integer
    Dim InitializeScrollUp As Integer
    Dim InitializeScrollDown As Integer
    Dim InitializeFind As Integer
    Dim ScrollDownCount As Integer
    Dim Column4_Value As String
    ScrollCount = Abs(datRoute.Recordset.RecordCount - dbgrdRoute.VisibleRows) 'Number scroll up to first
row
    For InitializeScrollUp = 1 To ScrollCount + 1
      dbgrdRoute.Scroll 0, -1
    Next InitializeScrollUp
      datRoute.Recordset.MoveFirst
      For InitializeScrollDown = 1 To datRoute.Recordset.RecordCount
        dbgrdRoute.Row = 0 ' First row value
        ScrollDownCount = ScrollDownCount + 1 'Increase scroll down
        If ScrollDownCount = ScrollCount + 1 Then
          For InitializeFind = 0 To dbgrdRoute.VisibleRows
            dbgrdRoute.Row = InitializeFind
            Column4_Value = dbgrdRoute.Columns(4).Value
        If frmMaintenance.Opening_Maintenance_Value = Column4_Value Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                Call RouteBackup(Column4_Value, 0, InitializeFind)
                Exit Sub
              ElseIf Column4_Value = "" Then
                MsgBox "Opening_(TE/EC/BC) isnot found the number " & frmSearchCable.cmbRoute.Text,
vbOKOnly + vbInformation, " Error Finding "
                Exit Sub ' Not Loop continues
              End If
            Next InitializeFind
          End If
          Column4_Value = dbgrdRoute.Columns(4).Value
          If frmMaintenance.Opening_Maintenance_Value = Column4_Value Then
            Call RouteBackup(Column4_Value, ScrollDownCount, 0)
            Exit Sub
          End If
          dbgrdRoute.Scroll 0, 1
      Next InitializeScrollDown
End Sub
Private Sub RouteBackup(ByVal PositionRecords As String, ByVal ScrollDownCount As Integer, ByVal
InitializeFind As Integer)
    Dim NumberColumnsRoute As Integer
    Dim NumberColumnsRouteBackup As Integer
    Dim BackupRecord As Integer
    Dim CheckNull As String
    Dim CheckColumnValue As String
    Dim RemainingScrollDown As Integer
    Dim ScrollDown As Integer
    Dim RemainingRow As Integer
    Dim CountLoop As Integer
    Dim InitializeCount As Integer
    Dim InitializeLoop As Integer
      DoEvents
    On Error GoTo ErrorRouteBackup
    If ScrollDownCount = 0 Then
    RemainingRow = datRoute.Recordset.RecordCount - InitializeFind
    ElseIf InitializeFind = 0 Then
    RemainingRow = datRoute.Recordset.RecordCount - ScrollDownCount
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If
    For InitializeLoop = 0 To RemainingRow
      ScrollDown = FunctionScrollDown(0, PositionRecords)
      ScrollDown = ScrollDown + 1
     dbgrdRoute.Row = ScrollDown
     CheckColumnValue = dbgrdRoute.Columns(4).CellValue(dbgrdRoute.GetBookmark(0))
     datRouteBackup.RecordSource = "Select * from Route_Backup"
        datRouteBackup.Refresh
        dbgrdBackup.Refresh
        datRouteBackup.Recordset.AddNew
        For NumberColumnsRouteBackup = 0 To FieldsNumber
          CheckNull = IIf(IsNull(dbgrdRoute.Columns(NumberColumnsRouteBackup)), "",
dbgrdRoute.Columns(NumberColumnsRouteBackup))
        If dbgrdRoute.Columns("Cable_Code") = vbNullString Then
            Exit Sub
          ElseIf dbgrdRoute.Columns(NumberColumnsRouteBackup) = "" Then
            CheckNull = "."
          ElseIf Not dbgrdRoute.Columns(NumberColumnsRouteBackup) = "" Then
            CheckNull = dbgrdRoute.Columns(NumberColumnsRouteBackup)
          End If
            'datRouteBackup.Recordset.Fields(NumberColumnsRouteBackup) = CheckNull
            dbgrdBackup.Columns(NumberColumnsRouteBackup).Value = CheckNull
        Next NumberColumnsRouteBackup
        DeleteforBackup = True
        Call cmdDeleteRoute_Click
        'MsgBox "OK"
        datRouteBackup.Recordset.Update
        datRouteBackup.Recordset.Bookmark = datRouteBackup.Recordset.LastModified 'Set last Position ;If
update set first record
    Next InitializeLoop
    Exit Sub
ErrorRouteBackup:
    If Err.Number = 6148 Then Exit Sub
End Sub
Function FunctionScrollDown(InitializeCount As Integer, PositionRecords As String) As Integer
    Dim CheckColumnValue As String
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Dim ScrollDown As Integer
    Dim RemainingRow As Integer
    On Error GoTo ErrorFunctionScrollDown
    For InitializeCount = 0 To dbgrdRoute.VisibleRows
        dbgrdRoute.Row = InitializeCount
       CheckColumnValue = dbgrdRoute.Columns(4).CellValue(dbgrdRoute.GetBookmark(0))
        If PositionRecords = CheckColumnValue Then
        FunctionScrollDown = InitializeCount
        Exit Function
       End If
    Next InitializeCount
    Exit Function
ErrorFunctionScrollDown:
    If Err.Number = 6148 Then Exit Function
End Function
Function FunctionRemainingRow(InitializeCount As Integer, PositionRecords As String) As Integer
    Dim CheckColumnValue As String
    Dim ScrollDown As Integer
    Dim RemainingRow As Integer
    Dim CountLoop As Integer
For InitializeCount = 0 To dbgrdRoute.VisibleRows
        CountLoop = CountLoop + 1
        dbgrdRoute.Row = InitializeCount
        CheckColumnValue = dbgrdRoute.Columns(2).CellValue(dbgrdRoute.GetBookmark(0))
        If PositionRecords = CheckColumnValue Then
          'ScrollDown = CountLoop + 1
          FunctionRemainingRow = dbgrdRoute.VisibleRows - CountLoop
          Exit Function
       End If
    Next InitializeCount
End Function
Public Sub AddRepair()
   Dim NumberRecordBackup As Integer
   Dim InitializeBackup As Integer
   Dim ColumnsBackup As Integer
   Dim CheckNull As String
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim ScrollUp As Integer
Dim CableCodeName As String
Dim SplitCableCodeName As Variant
Dim NameCaptiondbgrd As String
Dim InitailMaintenance As Long
Dim MaxMaintenance As Long
    DoEvents
    SplitCableCodeName = Split(dbgrdRoute.Caption, ":", -1, vbTextCompare)
    CableCodeName = CStr(Trim(SplitCableCodeName(1)))
    MaxMaintenance = frmMaintenance.dbgrdMaintenance.VisibleRows - 2
    For InitailMaintenance = 0 To MaxMaintenance
    frmMaintenance.dbgrdMaintenance.Row = InitailMaintenance
    datRoute.Recordset.AddNew
    datRoute.Recordset.Fields("Cable_Code") = Trim(CableCodeName)
    datRoute.Recordset.Fields("Cable_ID") = frmMaintenance.dbgrdMaintenance.Columns(1).CellValue
(frmMaintenance.dbgrdMaintenance.GetBookmark(0))
    datRoute.Recordset.Fields("Opening") = Trim(frmMaintenance.dbgrdMaintenance.Columns(2).CellValue
(frmMaintenance.dbgrdMaintenance.GetBookmark(0)))
    datRoute.Recordset.Fields("MarkLength_Begin") = frmMaintenance.dbgrdMaintenance.Columns
(3).CellValue(frmMaintenance.dbgrdMaintenance.GetBookmark(0))
    datRoute.Recordset.Fields("Closing") = frmMaintenance.dbgrdMaintenance.Columns(4).CellValue
(frmMaintenance.dbgrdMaintenance.GetBookmark(0))
    datRoute.Recordset.Fields("MarkLength_End") = frmMaintenance.dbgrdMaintenance.Columns
(5).CellValue(frmMaintenance.dbgrdMaintenance.GetBookmark(0))
datRoute.Recordset.Fields("Time_Stamp") = Format(Now, "General Date")
    datRoute.Recordset.Update
    Next InitailMaintenance
    Call Loading
    submnuView(1).Enabled = True
    submnuFile(2).Enabled = True
    submnuFile(3).Enabled = True
    dbgrdRoute.Columns(0).Visible = True
    dbgrdRoute.CurrentCellVisible = True
    dbgrdRoute.Refresh
    dbgrdRoute.AllowDelete = False
    cmdEditRoute.Enabled = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    cmdDeleteRoute.Enabled = True
  NumberRecordBackup = datRouteBackup.Recordset.RecordCount ' Count number Backup Record
  'MsgBox NumberRecordBackup
  If datRouteBackup.Recordset.BOF = True Then
    datRouteBackup.Refresh
  Else
    datRouteBackup.Recordset.MoveFirst
    datRouteBackup.Recordset.Delete
  End If
 NumberRecordBackup = datRouteBackup.Recordset.RecordCount
  dbgrdBackup.Row = 0
  For InitializeBackup = 1 To NumberRecordBackup
    datRoute.Recordset.AddNew
    dbgrdBackup.Row = 0
    For ColumnsBackup = 0 To FieldsNumber
      CheckNull = IIf(IsNull(dbgrdBackup.Columns(ColumnsBackup)), "", dbgrdBackup.Columns
(ColumnsBackup))
      'MsgBox CheckNull
      If dbgrdBackup.Columns("Cable_Code") = "" Then Exit Sub
        dbgrdRoute.Columns(ColumnsBackup).Value = CheckNull
    Next ColumnsBackup
    dbgrdBackup.Scroll 0, 1
  Next InitializeBackup
  Call DeleteRouteBackup
End Sub
Private Sub DeleteRouteBackup()
  Dim NumberRecordDelete As Integer
  Dim InitializeDelete As Integer
  On Error GoTo ErrorDeleteRouteBackup
  DoEvents
  dbgrdBackup.AllowDelete = True
  'MsgBox "OK"
  NumberRecordDelete = datRouteBackup.Recordset.RecordCount
  datRouteBackup.Recordset.MoveFirst
  For InitializeDelete = 1 To NumberRecordDelete
    datRouteBackup.Recordset.Delete
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        datRouteBackup.Recordset.MoveNext
    Next InitializeDelete
        Call RefreshDataForCalulation
        Call CommulationValue
        dbgrdRoute.Refresh
    Exit Sub
ErrorDeleteRouteBackup:
    MsgBox "Do you select a record route cable for deleteing?", vbQuestion + vbOKOnly, "Error Delete Record
Route"
End Sub
Private Sub dbgrdRoute_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
    If dbgrdRoute.Columns(1).Value = "" Then Exit Sub
    If Button = 2 Then
        Call RefreshDataForCalulation
        Call CommulationValue
        Call RefreshDataForCalulation
        Call CommulationValue
        dbgrdRoute.Refresh
    ElseIf Button = 1 Then
        dbgrdRoute.Refresh
    End If
    Call AdjustColumns
End Sub
Private Sub Form_Load()
    Dim frmTop As Long
    Dim frmLeft As Long
    frmTop = (Screen.Height - Height) \ 2
    frmLeft = (Screen.Width - Width) \ 2
    Move frmLeft, frmTop - 1300, Width, Height
    frmRoute.Height = 6950
    frmRoute.Top = 0
    frmRoute.Left = 0
    cmdEditRoute.Enabled = False
    cmdDeleteRoute.Enabled = False
    cmdFindSpliceLoss.Enabled = False
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
  If MsgBox("  Do you want exit the Fault Location Display System. ", vbYesNo, " Exit F.L.D Program ") =
vbYes Then
    End
  Else
    Cancel = 1
  End If
  frmRoute.dbgrdRoute.SetFocus
End Sub
Private Sub submnuFile_Click(Index As Integer)
  Select Case Index
      Case 1:
          CheckLoad = True
          frmNewCableCode.Show
          If CheckLoad = False Or frmNewCableCode.CreatTable = False Then
            Exit Sub
          Else
          dbgrdRoute.AllowDelete = False
          cmdEditRoute.Enabled = True
          cmdDeleteRoute.Enabled = True
          cmdFindSpliceLoss.Enabled = True
          End If
      Case 2:
dbgrdRoute.AllowDelete = True
          dbgrdRoute.Refresh
          frmMaintenance.Show 1
          txtSetFocus.SetFocus
      Case 3:
          Call cmdDeleteRoute_Click
      Case 5:
          frmMaterialDescription.Show
      Case 6:
          frmBuilding.Show 1
      Case 8:
          Unload frmRoute
End Select
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
Public Sub Newdata()
  datRoute.RecordSource = "Select * from " & frmNewCableCode.TableName & " where Cable_Code = " &
""" & frmNewCableCode.TableName & """ & " Order By Commulative"
  datRoute.Refresh
  dbgrdRoute.Caption = "Route Description Cable Code : " & frmNewCableCode.txtNew
  Call Loading
  datRoute.Recordset.MoveLast
End Sub
Public Sub Loading()
  Dim AlignmentCol As Integer
  Dim CountRec As Integer
  Dim ChangeRec As Integer
  DoEvents
  Call AdjustColumns
CountRec = datRoute.Recordset.RecordCount
If CountRec = 0 Then Exit Sub
  datRoute.Recordset.MoveFirst
  For ChangeRec = 1 To CountRec
    dbgrdRoute.Columns(8).NumberFormat = "Long Date"
    If datRoute.Recordset.EOF Then Exit Sub
    datRoute.Recordset.MoveNext
  Next ChangeRec
End Sub
Private Sub SubmnuTools_Click(Index As Integer)
  Select Case Index
      Case 1:   frmSpliceLoss.Show
  End Select
End Sub
Public Sub SubmnuView_Click(Index As Integer)
  Select Case Index
      Case 1:
        If submnuView(1).Checked = False And dbgrdRoute.Columns(0).Visible = True Then
          submnuView(1).Checked = False
          dbgrdRoute.Columns(0).Visible = False
          dbgrdRoute.Columns(0).Width = WidthFieldCloumn0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            dbgrdRoute.CurrentCellVisible = True
            dbgrdRoute.Refresh
          ElseIf submnuView(1).Checked = False Then
            submnuView.Item(1).Checked = True
            dbgrdRoute.Columns(0).Visible = True
            dbgrdRoute.Columns(0).Width = WidthFieldCloumn0
            dbgrdRoute.CurrentCellVisible = True
            dbgrdRoute.Refresh
          ElseIf submnuView(1).Checked = True Then
            submnuView(1).Checked = False
            dbgrdRoute.Columns(0).Visible = False
            dbgrdRoute.Columns(0).Width = WidthFieldCloumn0
            dbgrdRoute.CurrentCellVisible = True
            dbgrdRoute.Refresh
          End If
        Case 2:  frmSearchCable.Show 1
        Case 3:  'frmBuilding.Show 1
    End Select
End Sub
Option Explicit
Dim DisplayImage As Boolean
Dim IndexPath As Integer
Dim MarkLengthBegin As Integer
Dim ChecktxtOTDR As Boolean
Private Sub cmdCalibrate_Click()
  Dim CalibrateValue As Single
  On Error GoTo ErrorCalibrate
  If txtCalibrate.Text = "" Then
    Exit Sub
  ElseIf Not txtCalibrate.Text = "" Then
    CalibrateValue = txtOTDR.Text * txtCalibrate.Text + txtOTDR.Text
    txtOTDR.Text = CalibrateValue
  End If
  Exit Sub
ErrorCalibrate:
  If Err.Number = 13 Then Exit Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    MsgBox Err.Number & Err.Description
End Sub
Private Sub cmdColse_Click()
    If frmLoadPicture.LoadingFrom = True Then
        Unload frmLoadPicture
        Unload frmSpliceLoss
    ElseIf frmLoadPicture.LoadingFrom = False Then
        Unload frmSpliceLoss
    End If
End Sub
Private Sub cmdMap_Click()
    frmLoadPicture.Show
End Sub
Private Sub cmdOTDR_Click(Index As Integer)
    Dim DistancefromC1 As Single
    Dim DistancefromC2 As Single
    Dim SplicingLoss As Single
    Dim LengthLoss As Single
    Dim ClosureNameP1 As String
    Dim ClosureNameP2 As String
    Dim OpeningMarkLength As Integer
    Dim ClosingMarkLength As Integer
    Dim LengthP1P2 As Integer
    Dim PositionImage As Integer
    Dim LocationOpening As String
    Dim LocationClosing As String
    Dim CommulativeRange As Integer
    Dim Commulative_Value  As Integer
    Dim TotalCommulative As Integer
    Dim CableID As String
    Dim DistancefromA As Integer
    Dim DistancefromB As Integer
    Dim PictureLocation As String
    Dim ValueCableID As Single
    Const LoadingPictureSpliceloss As String = "C:\Program Files\FiberOptic\Map\"
    On Error GoTo ErrorInput
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If Trim(txtOTDR.Text) = "" And Trim(txtFiberLength.Text) = "" Then
  MsgBox "Insert Splicing Loss Position.", vbOKOnly + vbInformation, "Error Splice Loss"
  txtOTDR.SetFocus
Else
  If OptionFiber.Value = True Then
    If Not IsNumeric(Trim(txtFiberLength.Text)) Then  '(IsNumeric(Trim(txtOTDR.Text)) Or
        'MsgBox " Invalid Format Input.", vbInformation + vbOKOnly, " Error Searching "
        ChecktxtOTDR = False
        lblC1.Caption = ""
        lblC2.Caption = ""
        lblP1.Caption = ""
        lblP2.Caption = ""
        lblC1.Visible = False
        lblC2.Visible = False
        lblP1.Visible = False
        lblP2.Visible = False
        lblSplicingLoss(0).Caption = ""
        lblSplicingLoss(1).Caption = ""
        lblLctO.Caption = ""
        lblLctC.Caption = ""
        txtOTDR.Text = ""
        txtFiberLength.SetFocus
        txtFiberLength.Text = ""
    End If
  ElseIf OptionCable.Value = True Then
    If Not IsNumeric(Trim(txtOTDR.Text)) Then
        'MsgBox " Invalid Format Input.", vbInformation + vbOKOnly, " Error Searching "
        ChecktxtOTDR = False
        lblC1.Caption = ""
        lblC2.Caption = ""
        lblP1.Caption = ""
        lblP2.Caption = ""
        lblC1.Visible = False
        lblC2.Visible = False
        lblP1.Visible = False
        lblP2.Visible = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            lblSplicingLoss(0).Caption = ""
            lblSplicingLoss(1).Caption = ""
            lblLctO.Caption = ""
            lblLctC.Caption = ""
            txtOTDR.Text = ""
            txtFiberLength.Text = ""
            txtOTDR.SetFocus
        End If
        'Exit Sub
      End If
      If OptionCable.Value = True Then
        LengthLoss = Trim(txtOTDR.Text)
        txtFiberLength.Text = ""
      ElseIf OptionFiber.Value = True Then
        datID.RecordSource = "SELECT Z FROM Cable_Description2 WHERE ID = '" &
frmRoute.Cable_ID_Value & "'"
        datID.Refresh
        ValueCableID = datID.Recordset.Fields(0)
        LengthLoss = Trim(txtFiberLength.Text)
        LengthLoss = Trim(txtFiberLength.Text) - ValueCableID * (Trim(txtFiberLength.Text))
      End If
      txtOTDR.Text = LengthLoss
      ChecktxtOTDR = True
    End If
    frmRoute.datRoute.Recordset.MoveLast
    TotalCommulative = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(7).Value
    Call Find_SpliceLoss(LengthLoss, LengthP1P2, Commulative_Value, CommulativeRange,
OpeningMarkLength, ClosingMarkLength, ClosureNameP1, ClosureNameP2, LocationOpening,
LocationClosing, CableID, PictureLocation)
    lblC1.Caption = ClosureNameP1
    lblC2.Caption = ClosureNameP2
    lblP1.Caption = OpeningMarkLength
    lblP2.Caption = ClosingMarkLength
    lblCableID.Caption = "Cable ID :  " & CableID
    lblC1.Visible = True
    lblC2.Visible = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    lblP1.Visible = True
    lblP2.Visible = True
    If OpeningMarkLength > ClosingMarkLength Then
       SplicingLoss = OpeningMarkLength - (Trim(txtOTDR.Text) - Commulative_Value)
    ElseIf OpeningMarkLength < ClosingMarkLength Then
       SplicingLoss = (Trim(txtOTDR.Text) - Commulative_Value) + OpeningMarkLength
    ElseIf OpeningMarkLength = ClosingMarkLength Then
       SplicingLoss = (Trim(txtOTDR.Text) - Commulative_Value) + OpeningMarkLength
    End If
    DistancefromC1 = Trim(txtOTDR.Text) - Commulative_Value
    DistancefromA = Abs(SplicingLoss - OpeningMarkLength)
    DistancefromB = Abs(SplicingLoss - ClosingMarkLength)
    lblSplicingLoss(0).Caption = "Event Point From A : " & DistancefromA & " m."
    lblSplicingLoss(1).Caption = "From B : " & DistancefromB & " m."
    lblLctO.Caption = "Location A : "  '& LocationOpening
    lblLctC.Caption = "Location B : "  '& LocationClosing
    lblA.Caption = LocationOpening
    lblB.Caption = LocationClosing
    frmSpliceLoss.Refresh
    PositionImage = FindPositionImage(LengthP1P2, DistancefromC1)
    ImageSP.Move PositionImage, 660
    lblRoute.Caption = "Cable Route : " & frmSearchCable.FirstBuildingName & "   TO  " &
frmSearchCable.SecondBuildingName & "  Total Cable Length   " & TotalCommulative & " m. "
    lblDistanceAB.Caption = "A. To B.  " & LengthP1P2 & " m."
    picMap.Cls
    picMap.Picture = LoadPicture(LoadingPictureSpliceloss & PictureLocation)
    picMap.Refresh
    Exit Sub
ErrorInput:
    If Err.Number = 53 Then Exit Sub
    MsgBox Err.Number & Err.Description
    MsgBox " Invalid Format Input.", vbInformation + vbOKOnly, " Error Searching "
End Sub
Function FindPositionImage(ByVal P1P2length As Integer, ByVal SPloss As Single) As Single
    Dim PersentSP As Single
    Dim LineLength As Single
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Dim PointLoss As Single
    If P1P2length = 0 Then P1P2length = 1
    TimerSP.Enabled = True
    PersentSP = (SPloss / P1P2length) * 100 'P1P2Length >= SPLoss
    'MsgBox PersentSP
    LineLength = 7344 / 100 '*** Variable Length :Position Image 1020(0%)-4490(100%)
    PointLoss = PersentSP * LineLength
    'MsgBox PointLoss
    FindPositionImage = PointLoss + 1032 'ImageSP.Move 1020, 1248 ' 0 Persent
    'PositionImage = PointLoss + 1020
    'ImageSP.Move PositionImage, 1248 ' Output'ImageSP.Move 4490, 1248 '100 Persent
End Function
Private Sub Form_Load()
    TimerSP.Interval = 100
    ImageSP.Visible = False
    TimerSP.Enabled = False
    txtOTDR.Text = ""
    OptionFiber.Value = True
    frmSpliceLoss.Top = 0
    frmSpliceLoss.Left = 0
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
    Unload frmSpliceLoss
    frmRoute.dbgrdRoute.SetFocus
End Sub
Private Sub OptionCable_Click()
    If OptionCable.Value = True Then
        txtFiberLength.Enabled = False
        'txtFiberLength.BackColor = &H80000004
        txtOTDR.Enabled = True
        txtOTDR.BackColor = &H80000005
    End If
End Sub
Private Sub OptionFiber_Click()
    If OptionFiber.Value = True Then
        txtFiberLength.Enabled = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    txtFiberLength.BackColor = &H80000005
    txtOTDR.Enabled = False
    End If
End Sub
Private Sub TimerSP_Timer()
  Dim PathImage As String
  DoEvents
  If IndexPath = 0 Then
    PathImage = "C:\Program Files\FiberOptic\Icon\Point" & IndexPath & ".Bmp"
    If ChecktxtOTDR = False Then
      ImageSP.Visible = False
    Else
    ImageSP.Visible = True
    ImageSP.Picture = LoadPicture(PathImage)
    ImageSP.Refresh
    IndexPath = 1
    End If
  ElseIf IndexPath = 1 Then
    PathImage = "C:\Program Files\FiberOptic\Icon\Point" & IndexPath & ".Bmp"
    If ChecktxtOTDR = False Then
      ImageSP.Visible = False
    Else
    ImageSP.Visible = True
    ImageSP.Picture = LoadPicture(PathImage)
    ImageSP.Refresh
    IndexPath = 2
    End If
  ElseIf IndexPath = 2 Then
    PathImage = "C:\Program Files\FiberOptic\Icon\Point" & IndexPath & ".Bmp"
    If ChecktxtOTDR = False Then
      ImageSP.Visible = False
    Else
    ImageSP.Visible = True
    ImageSP.Picture = LoadPicture(PathImage)
    ImageSP.Refresh
    IndexPath = 3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    End If
  ElseIf IndexPath = 3 Then
    PathImage = "C:\Program Files\FiberOptic\Icon\Point" & IndexPath & ".Bmp"
    If ChecktxtOTDR = False Then
      ImageSP.Visible = False
    Else
    ImageSP.Visible = True
    ImageSP.Picture = LoadPicture(PathImage)
    ImageSP.Refresh
    IndexPath = 1
    End If
  End If
End Sub
Private Sub Find_SpliceLoss(ByRef LengthLoss As Single, ByRef LengthP1P2 As Integer, ByRef
Commulative_Value As Integer, ByRef CommulativeRange As Integer, ByRef OpeningMarkLength As
Integer, ByRef ClosingMarkLength As Integer, ByRef ClosureNameP1 As String, ByRef ClosureNameP2 As
String, ByRef LocationOpening As String, ByRef LocationClosing As String, ByRef CableID As String, ByRef
PictureLocation As String)
                'LengthLoss , LengthP1P2, CommulativeRange, OpeningMarkLength, ClosingMarkLength,
ClosureNameP1, ClosureNameP2, LocationOpening, LocationClosing
  Dim ScrollCount As Integer
  Dim InitializeScrollUp As Integer
  Dim InitializeScrollDown As Integer
  Dim InitializeFind As Integer
  Dim ScrollDownCount As Integer
  Dim Commulative_Previous_Value As Integer
  Dim Commulative_Next_Value As Integer
  Dim MarkLengthEnd As Integer
  Dim CountRecdbgrd As Integer
  Dim RefreshRecord As Integer
  Dim dbgrdVisibleRow As Integer
  On Error GoTo ErrorFind
  ScrollCount = Abs(frmRoute.datRoute.Recordset.RecordCount - frmRoute.dbgrdRoute.VisibleRows)
For InitializeScrollUp = 1 To ScrollCount + 1
    frmRoute.dbgrdRoute.Scroll 0, -1
  Next InitializeScrollUp
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    frmRoute.datRoute.Recordset.MoveFirst
  For InitializeScrollDown = 1 To frmRoute.datRoute.Recordset.RecordCount
    frmRoute.dbgrdRoute.Row = 0 ' First row value
    ScrollDownCount = ScrollDownCount + 1 'Increase scroll down
    If ScrollDownCount = ScrollCount + 1 Then
        For InitializeFind = 0 To frmRoute.dbgrdRoute.VisibleRows
        dbgrdVisibleRow = frmRoute.dbgrdRoute.Row
         If InitializeFind = 22 Then '22 is Max of frmRoute.dbgrdRoute.VisibleRows
           InitializeFind = frmRoute.dbgrdRoute.VisibleRows - 1
           End If
         frmRoute.dbgrdRoute.Row = InitializeFind
         If frmRoute.dbgrdRoute.Columns(0).Value = "" Then
           frmRoute.dbgrdRoute.Row = dbgrdVisibleRow - 2
           Commulative_Value = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(7).Value
           frmRoute.dbgrdRoute.Row = frmRoute.dbgrdRoute.VisibleRows - 2
           LocationClosing = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(9).Value
           Exit Sub
         End If
         CableID = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(1).Value
         ClosureNameP1 = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(2).Value
         OpeningMarkLength = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(3).Value
         ClosureNameP2 = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(4).Value
         ClosingMarkLength = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(5).Value
         LengthP1P2 = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(6).Value
         CommulativeRange = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(7).Value
         LocationOpening = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(9).Value
         PictureLocation = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(10).Value
         If LengthLoss < CommulativeRange Then
           If InitializeFind = 0 Then
             frmRoute.dbgrdRoute.Scroll 0, -1
             frmRoute.dbgrdRoute.Row = 0
           Else
             frmRoute.dbgrdRoute.Row = InitializeFind - 1
             If frmRoute.dbgrdRoute.Columns(0).Value = "" Then
               frmRoute.dbgrdRoute.Row = 0
               If frmRoute.dbgrdRoute.VisibleRows < 3 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            frmRoute.dbgrdRoute.Scroll 0, -1
            frmRoute.dbgrdRoute.Row = 0
          ElseIf frmRoute.dbgrdRoute.VisibleRows >= 3 Then
            frmRoute.dbgrdRoute.Row = frmRoute.dbgrdRoute.VisibleRows - 3
          End If
        End If
      Commulative_Value = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(7).Value
      LocationClosing = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(9).Value
      End If
      frmRoute.dbgrdRoute.Scroll 0, 2
      frmRoute.dbgrdRoute.Row = 0
      CountRecdbgrd = 0
      If frmRoute.dbgrdRoute.VisibleRows < 22 Then
        For CountRecdbgrd = 0 To frmRoute.dbgrdRoute.VisibleRows
          frmRoute.dbgrdRoute.Row = CountRecdbgrd
          If frmRoute.dbgrdRoute.Columns(0).Value = "" Then
            'For RefreshRecord = 0 To 2
              InitializeFind = frmRoute.dbgrdRoute.VisibleRows - 2
              frmRoute.dbgrdRoute.Row = InitializeFind
              LocationClosing = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(9).Value
              Exit Sub
          End If
            Commulative_Next_Value = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(7).Value
          If Commulative_Next_Value > CommulativeRange Then
            LocationClosing = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(9).Value
            frmRoute.dbgrdRoute.Scroll 0, -1
            frmRoute.dbgrdRoute.Row = CountRecdbgrd
            Exit Sub
          End If
        Next CountRecdbgrd
      Else
        LocationClosing = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(9).Value
        frmRoute.dbgrdRoute.Scroll 0, -1
        frmRoute.dbgrdRoute.Row = 0
      End If
      Exit Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            End If
          Next InitializeFind
        End If
        CableID = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(1).Value
        ClosureNameP1 = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(2).Value
        OpeningMarkLength = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(3).Value
        ClosureNameP2 = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(4).Value
        ClosingMarkLength = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(5).Value
        LengthP1P2 = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(6).Value
        CommulativeRange = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(7).Value
        LocationOpening = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(9).Value
        PictureLocation = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(10).Value
        If LengthLoss < CommulativeRange Then
          If InitializeScrollDown = 1 Then
            frmRoute.dbgrdRoute.Row = InitializeScrollDown
            LocationClosing = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(9).Value
            frmRoute.dbgrdRoute.Row = InitializeScrollDown - 1
            Exit Sub
          End If
          frmRoute.dbgrdRoute.Scroll 0, -1
          frmRoute.dbgrdRoute.Row = 0
          Commulative_Value = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(7).Value
          frmRoute.dbgrdRoute.Scroll 0, 2
          frmRoute.dbgrdRoute.Row = 0
          LocationClosing = frmRoute.dbgrdRoute.Columns(9).Value
          frmRoute.dbgrdRoute.Scroll 0, -1
          frmRoute.dbgrdRoute.Row = 0
          Exit Sub
        End If
        frmRoute.dbgrdRoute.Scroll 0, 1
      Next InitializeScrollDown
      Exit Sub
ErrorFind:
      MsgBox Err.Description, vbOKOnly + vbInformation, "Error Searching "
      Exit Sub
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์

ผลงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบแสดงผลจุดชำรุดในโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสง
ชื่อวารสารที่ตีพิมพ์ วิศวสารลาดกระบัง
ปีที่ 17 ฉบับที่ 4 เดือนธันวาคม 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิศวสารลาดกระบัง
Ladkrabang Engineering Journal
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

วันที่ 3 พฤศจิกายน 2543

เลขที่อ้างอิง 548

เรื่อง การตอบรับบทความ

เรียน คุณรุ่ง พวงดอกไม้, พิเชฐ ม่วงนวล, มนูญ สุขเกษม, ถวิล พึ่งมา

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเรื่อง การพัฒนาระบบแสดงผลจุดชำรุดในโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสง (Development of the Fault Location Display System in Optical cable Network) มาให้พิจารณาเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวสารลาดกระบัง บัดนี้ ผู้ทรงคุณวุฒิได้ทำการพิจารณาแล้วเห็นว่า ยอมรับตีพิมพ์ได้ โดยจะตีพิมพ์ในปีที่ 17 ฉบับที่ 4 เดือนธันวาคม 2543

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

(รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ)
หัวหน้ากองบรรณาธิการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาระบบแสดงผลจุดชำรุดในโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสง

Development of the Fault Location Display System in Optical Cable Network

รุ่ง พวงดอกไม้ พิเชฐ ม่วงนวล มนูญ สุขเกษม ถวิล พึ่งมา
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การค้นหาจุดชำรุดในโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงโดยปกติแล้วจะใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) แต่ค่าที่อ่านได้นั้นเป็นระยะทางถึงจุดชำรุดของเคเบิลในแนวเส้นตรง ซึ่งในทางปฏิบัติจริงไม่สามารถติดตั้งข่ายสายให้เป็นแนวเส้นตรงตลอดทั้งเส้นทางได้ และโครงสร้างของสายเคเบิลจะมีเส้นใยแก้วนำแสงที่บรรจุอยู่ภายในซึ่งมีความยาวกว่าเปลือกหุ้มสายเคเบิล สิ่งเหล่านี้ส่งผลให้เกิดความยุ่งยากต่อการค้นหา เกิดความล่าช้าในการตรวจซ่อมเมื่อข่ายสายเคเบิลได้รับความเสียหาย เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงได้พัฒนาระบบแสดงผลจุดชำรุดของเคเบิลใยแก้วนำแสง ให้สอดคล้องกับระยะทางตามสภาพภูมิศาสตร์ จะทำให้การค้นหาตำแหน่งชำรุดของเคเบิลมีความแม่นยำ ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง จากการทดลองมีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยเพียง 0.05 %

Abstract

In general, the OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) is used to find the fault location in the optical cable network. However, the readouts show the distance to the fault points in the straight line position. In practice, it is impossible to install the cables straightly throughout the whole route. Furthermore, the cable structure itself partly causes the optical fibers contained inside to become longer than their sheaths or the cables. These factors result in the set-back in finding the fault points and the delay in repairing when such cables are damaged. To solve the previous problems, the fault location display system is developed in accordance with the geographical distance. This system enables those in charge to find the fault points precisely. Moreover, it saves time and cost in the maintenance process. The average inaccuracy is about 0.05 %.

1.บทนำ

ระบบสื่อสารในปัจจุบันมีการพัฒนาให้ส่งข้อมูลข่าวสารที่ความเร็วสูงขึ้น ทำให้มีการพัฒนาสายส่งจากสายโลหะไปสู่เส้นใยแก้วนำแสงเนื่องจากมีแบนด์วิทที่สูงและทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดี ในแต่ละครั้งที่เส้นใยแก้วนำแสงชำรุดจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการให้บริการค่อนข้างมาก [1-2] การค้นหาตำแหน่งชำรุดของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงไม่ว่าจะเกิดจากสาเหตุใดก็ตาม เช่น เกิดรอยร้าว แตก หัก ขาด หรือบิดงอ จะใช้เครื่องมือทดสอบที่เรียกว่า OTDR วัดหาความยาวจุดชำรุดของสายเคเบิลแล้วนำไปเปรียบเทียบกับแบบ (Drawing) หรือแผนที่ ส่งผลให้การค้นหาเป็นไปด้วยความลำบากและล่าช้าอยู่เสมอเนื่องจากการเปรียบเทียบดังกล่าวเป็นการกะประมาณจากแบบหรือแผนที่ บทความนี้จึงนำเสนอการพัฒนาโปรแกรมเพื่อแสดงผลจุดชำรุดที่เกิดขึ้นในโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงของการสื่อสารแห่งประเทศไทย บนเครื่องคอมพิวเตอร์

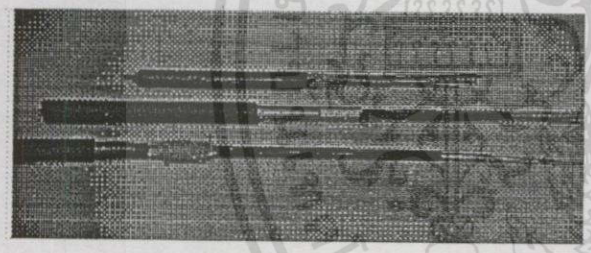
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนบุคคล เพื่อนำค่าที่อ่านได้จากเครื่อง OTDR เปรียบเทียบกับตำแหน่งเคเบิลที่ติดตั้งจริงโดยอาศัยเครื่องหมาย (mark-length) ที่พิมพ์ไว้บนสายเคเบิลสำหรับทำหน้าที่บ่งชี้บริเวณหรือสถานที่ต่างๆตั้งแต่ต้นจนถึงปลายทาง ซึ่งจะช่วยให้การค้นหาเพื่อซ่อมบำรุงโครงข่ายให้กลับคืนสู่สภาวะปกติโดยเร็ว มีความถูกต้อง แม่นยำ ประหยัดเวลาและค่าใช่จ่าย

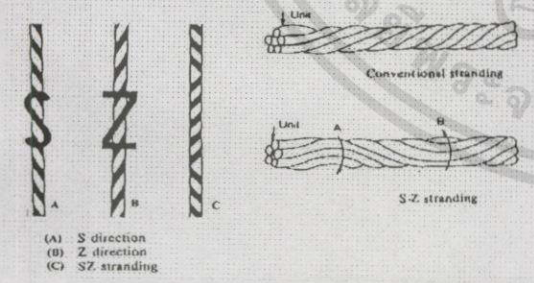
2. เคเบิลใยแก้วนำแสง

2.1 ลักษณะโครงสร้างภายในของเคเบิลใยแก้วนำแสง

โครงสร้างภายในของเคเบิลใยแก้วนำแสง ประกอบด้วยเส้นใยแก้วนำแสงตั้งแต่หนึ่งเส้นขึ้นไปบรรจุอยู่ภายในท่อพลาสติกเล็กๆขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-3 มม. ตีเป็นเกลียวไปตามความยาวของสายเคเบิลดังรูปที่ 1 ดังนั้นหากทำให้เส้นใยแก้วนำแสงภายในเป็นเส้นตรงและนำไปเปรียบเทียบกับความยาวของสายเคเบิลที่ห่อหุ้มความยาวทั้ง 2 ชนิดจะมีค่าต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดโครงสร้างของสายเคเบิลนั้นๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ



รูปที่ 1 ลักษณะทั่วไปของเคเบิลใยแก้วนำแสง



รูปที่ 2 ลักษณะการตีเกลียวของท่อบรรจุเส้นใยแก้วนำแสง

2.1.1 การตีเกลียวลักษณะคล้ายก้นหอย (Conventional Stranding) ลักษณะการตีเกลียวเป็นไปในทิศทางเดียวตลอดความยาวดังรูปที่ 2 (A และ B) มีมุมที่ทำกับแนวแกนกลางเคเบิลคงที่

2.1.2 การตีเกลียวลักษณะคล้ายก้นหอยแต่มีทิศทางสลับไปมา (S-Z Stranding) การตีเกลียวจะมีทิศทางเป็นตรงกันข้ามหลังจากการตีเกลียวในทิศทางแรกผ่านไปได้ระยะหนึ่ง ดังนั้นเส้นใยแก้วนำแสงจะมีทิศทางตามแนวแกนเคเบิลรูป "S" ในช่วงแรก และหลังจากนั้นจะเป็นตรงกันข้ามคือรูป "Z" พิจารณารูปที่ 2C

การตีเกลียวแบบก้นหอยนั้นเปรียบเทียบได้กับบันไดวน โดยที่ความสูงของขั้นบันไดวน 1 รอบเรียกว่า Lay Length (S) มุมที่เกิดขึ้นจากการตีเกลียวเทียบกับหน้าตัดของเคเบิลเรียกว่าความเอียงของเกลียว (Stranding Angle; α) ระยะห่างจากจุดแกนกลางของสายเคเบิลถึงเส้นใยแก้วนำแสง เรียกว่ารัศมีเกลียว (Stranding Radius;R) ดังนั้นความยาวจริงของเส้นใยแก้วที่พันเป็นเกลียว (L) และมุมที่เกิดจากการตีเกลียว (α) สามารถคำนวณได้จาก [3]

$$L = \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi R}{S}\right)^2} \qquad (1)$$

$$\alpha = \arctan \frac{S}{2\pi R} \qquad (2)$$

โดยที่ R = รัศมีเกลียว (ม.ม)

L = ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง (ม.ม)

S = ความยาวของระยะเกลียว 1 รอบ (ม.ม)

α = มุมเอียงจากการพันเป็นเกลียว (องศา)

การตีเกลียวดังกล่าวจะทำให้เส้นใยแก้วนำแสงมีความยาวมากกว่าสายเคเบิล หากคลายเกลียวเหล่านั้นออกแล้วดึงให้ตึงขนานไปกับสายเคเบิล และความยาวที่เพิ่มขึ้นสามารถคำนวณได้จาก

$$Z = \frac{L-S}{S} \times 100\% = \left\{\sqrt{1+\left(\frac{2\pi R}{S}\right)^2} - 1\right\} \times 100\% \qquad (3)$$

$$= \left(\frac{1}{\sin\alpha} - 1\right) \times 100\%$$

โดยที่ Z = ความยาวที่เพิ่มขึ้นของเส้นใยแก้วนำแสง เนื่องจากการตีเกลียว (เปอร์เซ็นต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลักษณะภายนอกของเคเบิลใยแก้วนำแสง

โดยปกติผิวชั้นนอกของเคเบิลใยแก้วนำแสงทุกๆ 1 เมตรจะประกอบด้วยรายละเอียดต่างๆที่สำคัญพิมพ์กำกับไว้ได้แก่ ชื่อโรงงานผู้ผลิต ชนิด (single mode หรือ multi mode) จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง เดือน-ปีที่ผลิตและเครื่องหมายแสดงความยาวของสายเคเบิล (mark length) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3 ดังนั้นความยาวเส้นใยแก้วนำแสงจึงสามารถคำนาณได้ตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 และในทางกลับกันหากทราบความยาวเส้นใยแก้วนำแสงจากเครื่องมือทดสอบ OTDR ก็สามารถคำนวณหาความยาวของสายเคเบิลได้เช่นเดียวกัน

รูปที่ 3 แสดงรายละเอียดต่างๆบนผิวเคเบิล

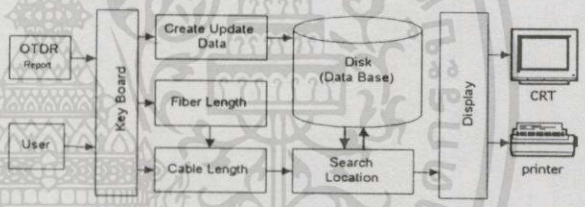
3. ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

หลังจากการติดตั้งข่ายสายเคเบิลแล้วเสร็จเอกสารที่ต้องเก็บรักษาไว้คือ แบบหรือแผนผังแนวเคเบิล สำหรับงานบำรุงรักษาข่ายสายเคเบิลต่อไป[4] ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมมีดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล ตรวจสอบแนวสายเคเบิลเพื่อปรับปรุงแบบหรือแผนที่ให้เป็นปัจจุบันเสียก่อนพร้อมกับตรวจเครื่องหมาย Mark Length (ซึ่งพิมพ์ไว้ที่เปลือกหุ้มของเคเบิลทุกๆ 1 เมตร) ตามแนวเคเบิลตลอดทั้งเส้นทางทุกๆ 80-300 เมตรหรือทุกๆ 2 ช่วงเสาหรือ 1 ช่วงสะพานลอยสำหรับเคเบิลพาดแขวนอากาศ และทุกๆ 250-300 เมตรหรือทุกๆบ่อพักสายเคเบิลสำหรับเคเบิลร้อยท่อใต้ดิน แล้วจดบันทึกสถานที่บริเวณใกล้เคียงกับ Mark Length เหล่านั้น เช่น หมายเลขเสาหรือบ่อพัก ชื่อถนน ซอย ทางแยก อาคารสำนักงาน สถานีบริการหรือสถานที่ราชการต่างๆ เพื่อนำมาบันทึกเป็นข้อมูลสำหรับการอ้างอิง

3.2 ตรวจสอบโครงสร้างของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง วัดขนาดโครงสร้างของสายเคเบิลที่ต้องการจะทดสอบด้วย Vernier Caliper จะได้ค่า S และ R เพื่อคำนวณหา %Z (ตามรายละเอียดในข้อ 2.1)

3.3 การเขียนโปรแกรมควบคุม ระบบแสดงผลที่นำเสนออาศัยโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 โดยมีรายละเอียดตามบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 4 ด้วยการนำข้อมูลที่กล่าวถึงข้างต้นสร้างเป็นฐานข้อมูล โดยที่ Mark Length จะเป็นตัวแสดงระยะของสายเคเบิลในแต่ละเส้นทาง การเข้าถึงข้อมูลเพื่อแสดงผลจะต้องอ้างอิงกับ Mark Length หากการตรวจสอบในเบื้องต้นด้วย OTDR ซึ่งเป็น Fiber Length จะต้องแปลงค่าให้เป็นความยาวเคเบิลเสียก่อน แป้นพิมพ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่เป็นอินพุทให้กับโปรแกรมควบคุม สำหรับสร้างฐานข้อมูล ปรับปรุงและค้นหาข้อมูลเพื่อนำมาแสดงผล โดยสามารถค้นหาจุดชำรุดด้วยการรับข้อมูลเบื้องต้นจาก OTDR หรือจากผู้ใช้งานเองโดยตรง ดังโฟล์วชาร์ตในรูปที่ 5



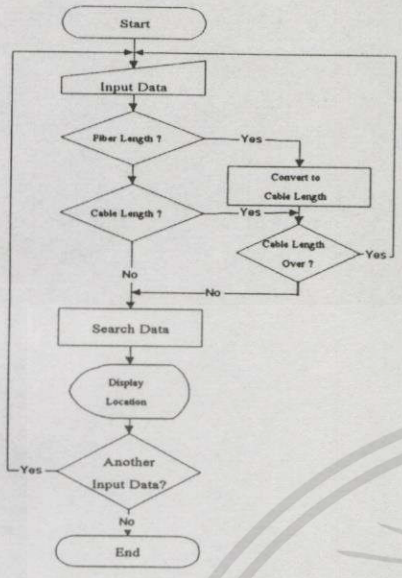
รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมควบคุม

4. การทดลองและผลการทดลอง

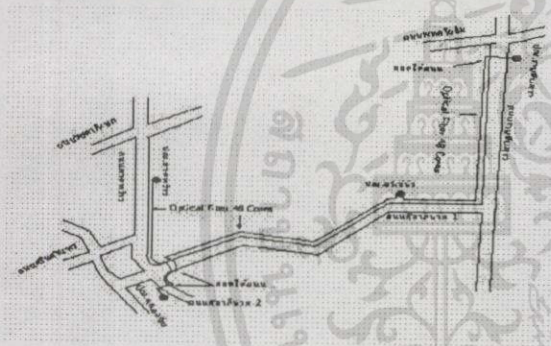
การทดลองโดยใช้โครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงของการสื่อสารแห่งประเทศไทย ระหว่างสถานีคลองจั่นกับสถานีจระเข้บัวมีรายละเอียดดังรูปที่ 6 ซึ่งมีระยะทาง 8.6 กม. ติดตั้งเมื่อปี พ.ศ. 2542 ใช้เคเบิล Pirelli 1999 SM 48-9/125 (S = 118 mm., R = 3.25 mm. คำนวณหาค่า Z = 1.5%) และจากการสำรวจแนวสายเคเบิลตลอดทั้งเส้นทางมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 หลังจากนั้น ตรวจสอบสายเคเบิลดังกล่าวด้วย OTDR รุ่น HP - 8147 ที่ PW=10 ns, λ=1310 nm และ n=1.465 (ซึ่งระบุไว้ในรายละเอียดด้านเทคนิคของผู้ผลิตสายเคเบิล) เพื่อต้องการหาจุดชำรุดหรือข้อบกพร่องต่างๆดังรูปที่ 7 ซึ่งปรากฏตำแหน่งบกพร่อง (จุดเชื่อมต่อเคเบิล) 2 จุดคือที่ระยะ 4.0702 Km. และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

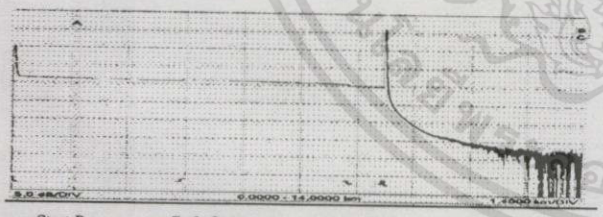
8.1193 Km. ดังตาราง Event Table หมายเลข 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 5 โฟล์วชาร์ตการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 6 แผนที่โดยสังเขป



Start Pos.	Refr. Indx	Samp.Dist	Scatter Coeff
0.0 m	1.465	1.136 m	48.400 dB

Event Table

No.	Type	Location [Km]	Refl. [dB]	InsLoss [dB]	Atten. [dB/Km]	CumLoss [dB]
1	REFLECT	0.000	-27.460	0.000	0.347	0.000
2	GAINER	4.0702		0.254	0.217	0.941
3	SPLICE	8.1193		-0.175	0.215	1.402
4	REFLECT	9.0427	-20.840	0.000	0.000	2.008

รูปที่ 7 ผลการตรวจสอบด้วย OTDR

ตารางที่ 1 รายละเอียดทางสายเคเบิล คลองจั่น-จระเข้บัว

ลำดับที่	Mark length	ตำแหน่งเคเบิล	บริเวณตำแหน่งเคเบิล
1	4018	ปณ.คลองจั่น	ห้องโทรคมนาคม ชั้น 2 อ.สุขาภิบาล2
2	3748	P.1372	ร้านแว่น พีอปเธริญ อ.สุขาภิบาล2
3	3674	P.1409	ร้านบางกะปิ การแว่น อ.สุขาภิบาล2
4	3522	P.12 MC	ร้านไพบูลย์ ผ้าม่าน อ.สุขาภิบาล1
5	3495	P.4 (กฟน)	ฝ่ายรักษาความสะอาด กทม. อ.สุขาภิบาล1
6	3447	P.5 (กฟน)	สถานีตำรวจ อาคารร้าง อ.สุขาภิบาล1
7	3365	P.7	สำนักงานเขตพื้นที่ 10 อ.สุขาภิบาล1
8	3247	CR.0/380	หมวดการทาง บางกะปิ อ.สุขาภิบาล1
9	2976	CR.0/640	โรงเรียน บ้านบางกะปิ อ.สุขาภิบาล1
10	2856	P.20	โรงเรียน บ้านบางกะปิ อ.สุขาภิบาล1
11	2741	P.22	ซอย การเคหะ 2 อ.สุขาภิบาล1
12	2655	P.24	ซอย การเคหะ 5 อ.สุขาภิบาล1
13	2588	P.26	ซอย การเคหะ 7 อ.สุขาภิบาล1
14	2518	P.28	ซอย การเคหะ 8 อ.สุขาภิบาล1
15	2484	CR.1/117	ซอย การเคหะ 9 อ.สุขาภิบาล1
16	2445	P.31	ซอย การเคหะ 11 อ.สุขาภิบาล1
17	2365	P.33	ซอย การเคหะ 13 อ.สุขาภิบาล1
18	2286	P.35	ซอย การเคหะ15 อ.สุขาภิบาล1
19	2207	P.37	ซอย การเคหะ 17 อ.สุขาภิบาล1
20	2136	P.39	ซอย การเคหะ18 อ.สุขาภิบาล1
21	2029	P.42	ซอย การเคหะ 20 อ.สุขาภิบาล1
22	1948	P.44	ร.ทหาร ไทย (คลองจั่น) อ.สุขาภิบาล1
23	1858	CR.1/750	คลาสสค แสปปิแอนค์ อ.สุขาภิบาล1
24	1735	P.50	สำนักงาน ประชาสงเคราะห์ 2 อ.สุขาภิบาล1
25	1532	CR.2/073	สำนักงานที่ดิน บางกะปิ อ.สุขาภิบาล1
26	1428	P.58	แยก ซอยนวลจันทร์ อ.สุขาภิบาล1
27	1348	P.61	คลองพังพวย อ.สุขาภิบาล1
28	1280	P.62	ร้าน ศิริชัย อ.สุขาภิบาล1
29	1164	CR.2/428	ร.ถรุงศรีอยุธยา (คลองจั่น) อ.สุขาภิบาล1
30	945	CR.2/627	ปั๊มน้ำมัน คาลเท็กซ์ อ.สุขาภิบาล1
31	684	CR.2/900	ซอย ทานตะวัน อ.สุขาภิบาล1
32	608	P.80	พิศาลแลนด์ อ.สุขาภิบาล1
33	535	P.82	ซอย ม.ปรีชา อ.สุขาภิบาล1
34	383	P.7783	ร้าน ทรงศิลป์ อ.สุขาภิบาล1
35	317	CR.3/280	ร.ถสิกร ไทย (คลองจั่น) อ.สุขาภิบาล1
36	97	P.95	ซอย อินทราอักษณ์ อ.สุขาภิบาล1
37	7, 3995	P.1972	ซอย ปัญจมิตร 3 อ.สุขาภิบาล1
38	3763	CR.3/720	ซอย รรณ์นิคม อ.สุขาภิบาล1
39	3459	P.110	ซอย โชคชาย 1 อ.สุขาภิบาล1
40	3394	CR.4/160	ซอย ม.สินธานี 1 อ.สุขาภิบาล1
41	3101	CR.4/443	ซอย ไพรีแก้ว อ.สุขาภิบาล1
42	3006	P.126	ซอย โชคชัย อ.สุขาภิบาล1
43	2813	P.134	ซอย สันติสุข อ.สุขาภิบาล1
44	2718	CR.4/800	ซอย อาวร อ.สุขาภิบาล1
45	2576	P.141	ซอย สมาคมแพทย์ อ.สุขาภิบาล1
46	2280	CR.5/245	สวนอาหาร บ้านแก้ว อ.สุขาภิบาล1
47	1870	P.12 MC	ซอย ม.ปัฐวิกรณ์ อ.สุขาภิบาล1
48	1810	CR.5/640	คลองลุ่มวิลล่า อ.สุขาภิบาล1
49	1556	P.161	ซอย มิตรประพันธ์ อ.สุขาภิบาล1
50	1458	P.ศ 8961	ซอย ม.นพรัตน์ อ.สุขาภิบาล1
51	1174	CR.6/275	โรงเรียน เบญจมินทร์ อ.สุขาภิบาล1
52	858	P.180	ซอย ทันเธริญ อ.สุขาภิบาล1
53	684	CR.6/760	ซอย เคหะอุทร อ.สุขาภิบาล1
54	406	CR.7/043	ห้างสรรพสินค้า โอเดัส อ.สุขาภิบาล1
55	150	CR.7/300	ซอย สวัสดี อ.สุขาภิบาล1
56	8, 1355	P.2021	คลองจั่นวิลล่า 2 อ.สุขาภิบาล1
57	1250	CR.7/530	ซอย สิงหเสนี อ.สุขาภิบาล1
58	1009	CR.7/810	ซอย สิงหเสนี 2 อ.สุขาภิบาล1
59	710	P.220	พี.เอ็ม.เพาร์คแมนค์ อ.สุขาภิบาล1
60	446	ปณ.จระเข้บัว	ห้องโทรคมนาคม ชั้น 2 อ.สุขาภิบาล1

P = หมายเลขเสาไฟฟ้า, CR = หมายเลขสะพานลอยคนข้าม, ลำดับที่ 37, 56 คือจุดเชื่อมต่อเคเบิล

ปลายสายเคเบิลมี Mark Length เป็น 7 และ 3995 ที่ลำดับ 37 และ Mark Length 8 และ 1355 ที่ลำดับ 56

ความยาวเคเบิลทั้งสิ้น 8,907 เมตร หรือคิดเป็นความยาวเส้นใยแก้วนำแสงเท่ากับ 9,040 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลการทดลองใช้ข้อมูล OTDR ร่วมกับแผนที่

จากการทดสอบด้วยวิธีเดิมที่อาศัยเครื่องมือ OTDR แสดงระยะเคเบิลที่ชำรุดแล้วนำไปเปรียบเทียบกับแบบหรือแผนที่หรือระยะทางที่อ่านได้บนหน้าปัทม์รถยนต์ขณะออกสำรวจเพื่อค้นหาจุดชำรุด ได้ผลตามที่แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งนอกจากมีความคลาดเคลื่อนสูงแล้วยังทำให้เกิดความล่าช้าในขั้นตอนการเปรียบเทียบอีกด้วย เนื่องจาก OTDR แสดงรายละเอียดเฉพาะระยะเคเบิลเท่านั้นไม่สามารถแสดงสถานที่หรือตำแหน่งภูมิประเทศได้

ตารางที่ 2 แสดงความคลาดเคลื่อนของ OTDR

ระยะเคเบิลจริง (ม.)	ระยะเส้นใยนำแสงจาก OTDR (ม.)	ระยะเคเบิลจาก OTDR (ม.)	Error (ม.)	Error (%)
4011	4070	3996	15	0.374
7998	8119	7960	38	0.475
8907	9042	8864	43	0.483

4.2 ผลการทดลองใช้ข้อมูล OTDR ร่วมกับโปรแกรมที่นำเสนอ

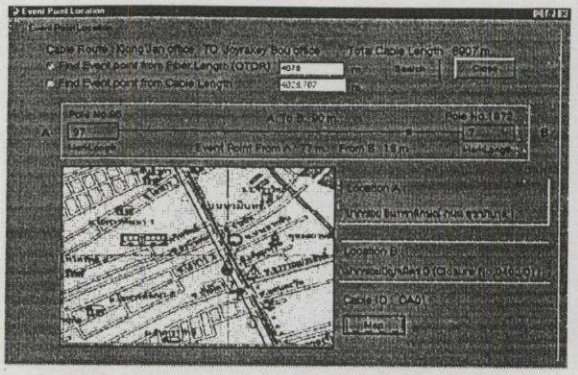
นำค่าที่อ่านได้จาก OTDR (Location) ป้อนให้กับโปรแกรมโดยผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อค้นหาและแสดงผลดังรูปที่ 8 ซึ่งเป็นตำแหน่งแรกของจุดบกพร่องคือที่ระยะ 4.0702 Km. หรือตรงกับลำดับที่ 37 ของตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง 13 เมตร โดยพิจารณาจากเครื่องหมาย(จุด)บนเส้นตรงระหว่างตำแหน่งเคเบิล “A” (Pole No.95) และ “B” (Pole No. 1972) ด้านล่างซ้ายแสดงแผนที่แนวเคเบิลประกอบการค้นหา ซึ่งสังเกตได้จากเครื่องหมาย(จุด)และสัญลักษณ์ “A” และ “B” เช่นเดียวกัน ส่วนด้านล่างขวาแสดงบริเวณตำแหน่งเคเบิลที่จุด “A” (ปากซอยอินทราลักษณ์) และจุด “B” (ปากซอยปัญจมิตร 3) รูปที่ 9 แสดงตำแหน่งบกพร่องจุดที่ 2 หรือที่ระยะ 8.1193 Km. ซึ่งตรงกับลำดับที่ 56 ของตารางที่ 1 โดยที่คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริง 32 เมตร ความคลาดเคลื่อนแสดงไว้ตามตารางที่ 3 ซึ่งคำนวณได้จาก

$$Error = C_R - C_D \quad (4)$$

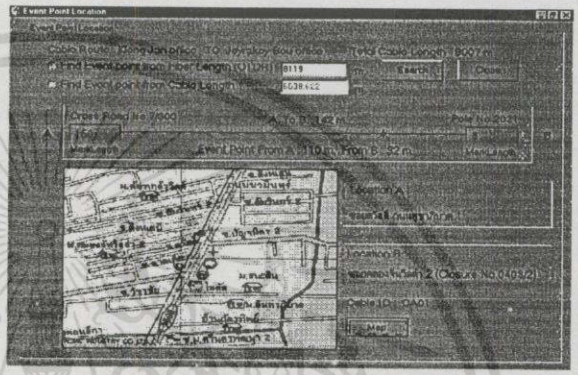
Error = ความผิดพลาดที่เกิดจากการแสดงผลด้วยโปรแกรม

C_R = ระยะเคเบิลจริง (Real Cable)

C_D = ระยะเคเบิลจากการแสดงผล (Display Cable)



รูปที่ 8 แสดงบริเวณตำแหน่งเคเบิลที่ระยะ 4.070 Km.



รูปที่ 9 แสดงบริเวณตำแหน่งเคเบิลที่ระยะ 8.119 Km.

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองด้วยโปรแกรม

ระยะเคเบิลจริง (ม.)	ระยะเคเบิลที่แสดงด้วยโปรแกรม (ม.)		Error (ม.)	Error %
	ระยะ OTDR	ระยะเคเบิลที่แสดงผล		
4011	4070	3998	13	0.324
7998	8119	7966	32	0.400
8907	9042	8869	38	0.426

4.3 ผลจากการปรับเทียบ (Calibration)

เพื่อให้การแสดงผลใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้นสามารถนำค่า (%)error ที่เกิดขึ้นตรงจุดที่ทราบระยะจริงมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อกำหนดให้เป็นค่าแฟกเตอร์หนึ่งสำหรับการปรับเทียบ (Calibrate Factor) จากตารางที่ 3 คำนวณหาค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.38% หรือ 0.0038 ดังนั้นค่า error เมื่อมีการปรับเทียบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4 ซึ่งเขียนใหม่ได้เป็น

$$Error_{cal} = (C_R - C_D) - (C_R \times F) \quad (5)$$

เมื่อ $Error_{cal}$ = ค่าความผิดพลาดหลังจากการปรับเทียบ

F = แฟกเตอร์สำหรับการปรับเทียบ (Calibrate Factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการปรับเทียบแสดงไว้ตามตารางที่ 4 และรูปที่ 10 และ 11 แสดงตำแหน่งเคเบิลหลังการปรับเทียบ จะเห็นได้ว่าคลาดเคลื่อนลดลงเป็น 2 และ –2 เมตรตามลำดับ (เครื่องหมายลบหมายถึงคลาดเคลื่อนด้านตรงข้าม) จากการวัดด้วย OTDR และการแสดงผลจะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่นำเสนอร่วมกับการปรับเทียบสามารถแสดงผลได้ใกล้เคียงมากที่สุด พิจารณาได้จากกราฟรูปที่ 12 โดยที่แกนแนวนอนคือระยะเคเบิลจริง และแกนแนวตั้งคือความคลาดเคลื่อนจากการแสดงผล ซึ่งหาได้จาก

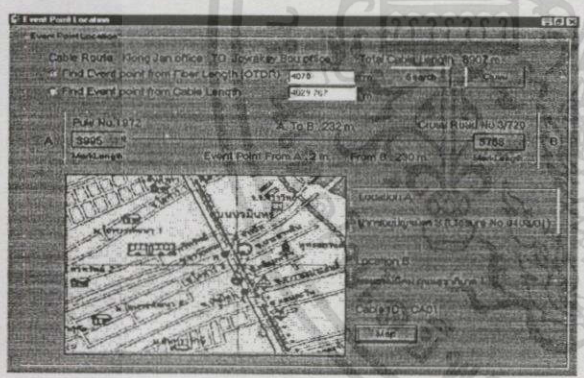
$$\text{Error Rate} = (\Delta L / C_R) \times 100 \ \% \qquad (6)$$

เมื่อ

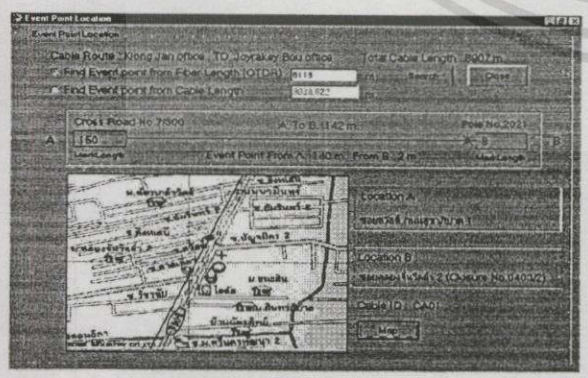
ΔL = ผลต่างระหว่าง C_R และ C_D

ตารางที่ 4 แสดงผลด้วยโปรแกรมหลังจากการปรับเทียบ

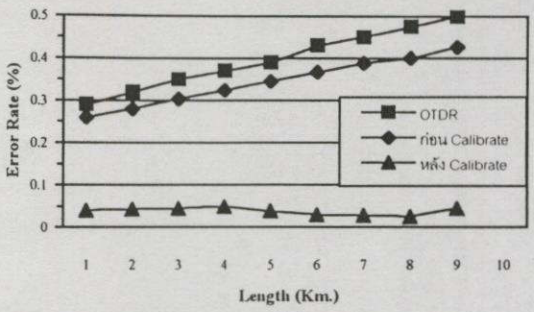
ระยะเคเบิลจริง (ม.)	ระยะเคเบิลที่แสดงผลด้วยโปรแกรม (ม.)		Error (ม.)	Error Rate (%)
	ระยะ OTDR	ระยะเคเบิลที่แสดงผล		
4011	4070	4013	-2	0.0498
7998	8119	7996	2	0.0250
8907	9042	8903	4	0.0449



รูปที่10 แสดงตำแหน่งเคเบิลจุดแรก หลังจากการ Calibrate



รูปที่11 แสดงตำแหน่งเคเบิลจุดที่ 2 หลังจากการ Calibrate



รูปที่ 12 ความคลาดเคลื่อนจากการแสดงผลทั้ง 3 วิธี

5. สรุปผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นใยแก้วนำแสงกับสายเคเบิลที่ห่อหุ้มโดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้ สามารถระบุตำแหน่งสภาพภูมิประเทศได้และใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น จะเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทาง โดยเฉลี่ยไม่เกิน 0.5 % ก่อนปรับเทียบและลดลงเหลือ 0.045 % หลังจากการปรับเทียบ เนื่องจากการจดบันทึกอาจคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณหัวต่อสายเคเบิลที่จำเป็นต้องม้วนสายเคเบิลและเส้นใยแก้วนำแสงไว้จำนวนหนึ่งเสมอ จึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสะสม อย่างไรก็ตามสามารถนำโปรแกรมร่วมกับการปรับเทียบดังกล่าวมาประยุกต์ใช้สำหรับงานตรวจแก้และบำรุงรักษาข่ายสายเคเบิลใยแก้วนำแสงได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] R. J. Hoss and Edward A. Lacy, "Fiber Optics," PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.

[2] F. C. Allard, "Fiber Optics Handbook for Engineers and Scientists," McGraw-Hill Inc, 1990.

[3] G. Mahlke and P. Gossing "Fiber Optic Cables: Fundamentals Cable Engineering Systems," MCD Werbeagentur GmbH, Verlag, Munich, 1997.

[4] M. Gilmore, "Fiber Optic Cabling: Theory, design and installation practice," Redwood Press Ltd, Melksham, Wiltshire, 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายรุ่ง พวงดอกไม้ เกิดเมื่อวันที่ 11 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2503 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (อีเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ปีการศึกษา 2537 ศึกษาศาสตรบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์) จากสถาบันราชภัฏจันทรเกษม ปีการศึกษา 2530 และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (อีเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ ปีการศึกษา 2525

ปี พ.ศ. 2526 เข้าทำงานในตำแหน่งช่างโทรคมนาคม 2 สังกัดการสื่อสารแห่งประเทศไทย กระทรวงคมนาคม ปัจจุบันดำรงตำแหน่งวิศวกร 8 กองข่ายสายตอนนอก การสื่อสารแห่งประเทศไทย

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1) รุ่ง พวงดอกไม้ พิเชฐ ม่วงนวล มนูล สุขเกษม รศ.ดร.ถวิล พึ่งมา บทความเรื่อง "การพัฒนาระบบแสดงผลจุดชำรุดในโครงข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสง" วิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 17 ฉบับที่ 4

2) รุ่ง พวงดอกไม้ ผศ.ชวลิต เบญจางคประเสริฐ บทความเรื่อง "ตัวขจัดสัญญาณรบกวนแบบปรับตัวโดยใช้โครงสร้างแบบขนานและซิมฟริไฟย์อัลกอริธึม" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 19 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 7-8 พฤศจิกายน 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้