

การทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดแขวน

A TEST OF FIBER OPTIC AERIAL CABLES



กฤษฎ์ ศรีนวลจันทร์
KEERAYOOT SIRNUANJAN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ฉพ.
๗๖๙๕๗
๒๕๔๗
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.๒๕๔๗

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 58589

ISBN 974-15-1194-9

วันเดือนปี..... ๒๕๔๘

๗๕๓๗๑๘
b.....
i.....

A TEST OF FIBER OPTIC AERIAL CABLES



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2004

ISBN 974-15-1194-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	A Test of Fiber Optic Aerial Cables
Student	Mr. Keerayoot Srinuanjan
Student ID	44065003
Degree	Master of Science
Program	Applied Physics
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. P.P. Yupapin

ABSTRACT

This thesis is focused on the installation of fiber optic cables aerial type, and measurement of the attenuation in each cable to investigate the effect of sag, environment's temperature and operation time to the attenuation. The cables consist of 2 types one is All Dielectric Self-Supporting (ADSS), the other is Figure-8 Cables and Multipurpose Cables (Figure-8). The cables were installed on 3 poles and the span and sag was determined to form different conditions. The cable's weight and tension caused an elongation and catenary's curve cable, which the attenuation was occurred. The attenuation in fiber optic core was measured by Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) technique by 2 wavelengths, 1310 nm and 1550 nm. To consider the effect of sag and temperature to an attenuation, the measurement was taken at different time during a day, in which temperature was changed and may caused an alternated in attenuation of each optical cable. To investigate the operation time of the optical cable, the measurement was repeated every week for 12 weeks. The data was analyzed to optimize the appropriate sag, the effect of changed temperature and the relation between operation time and attenuation. Finally, the optimum condition of installation the fiber optic cable according to cable type, span, sag, and economic installation are discussed.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน ที่ให้ความ ช่วยเหลือให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้ และ ประสบการณ์ที่ดีแก่ ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)และบริษัทสยามไฟเบอร์อ็อปติกส์ จำกัด ที่ได้ร่วมกันให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ผู้มีรายนามดังต่อไปนี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และ ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็น ประโยชน์ตลอดการทำวิจัยนี้ คือ

1. คุณ สถิต ตาบเพชร
2. คุณ สันติ พูลเสมอ
3. คุณ อัครา บุญทวี
4. คุณ ปัญญา เล็กสิงห์โต
5. คุณ คำแสน พลรักษา

และ พนักงานบริษัทสยามไฟเบอร์อ็อปติกส์ จำกัด ทุกคน

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาให้ยืมอุปกรณ์การวัดสำรวจ

ขอขอบคุณน้องๆในห้องปฏิบัติการทุกคนที่ห่วงใย และ เป็นกำลังใจให้เสมอ

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และ ถวายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

กฤษฎ์ ศรีนวลจันทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

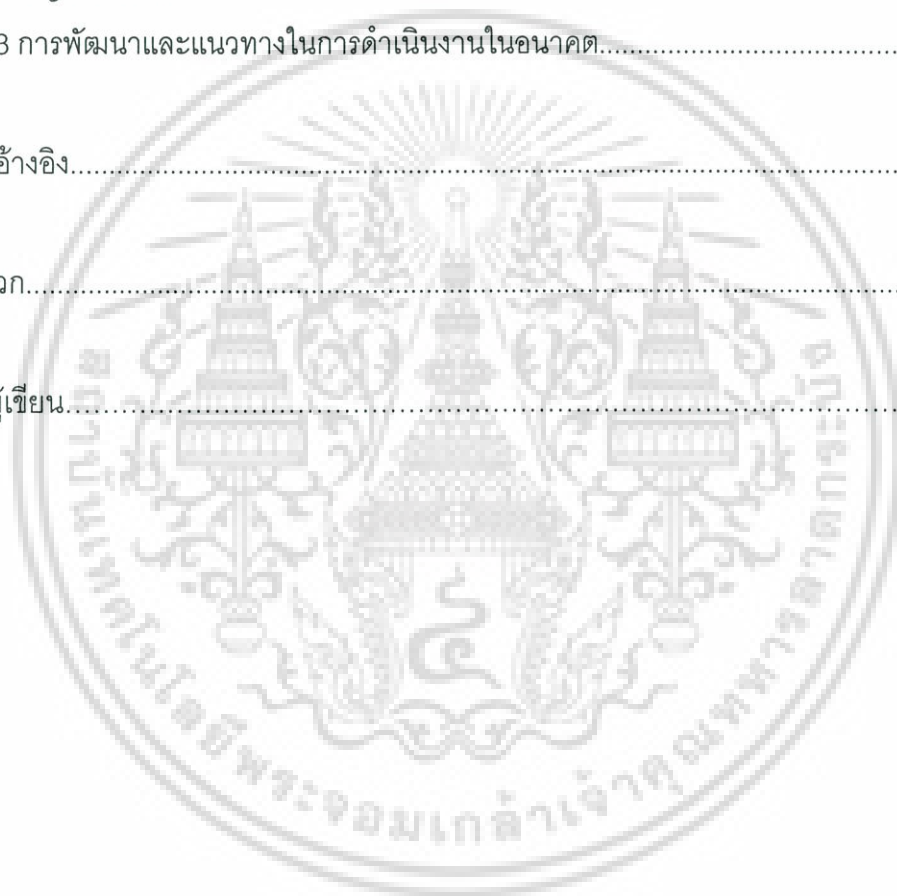
หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	3
2.2 การวัดค่าการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง.....	10
2.3 การออกแบบติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดแขวน.....	19
2.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	23
2.5 การติดตั้งและการทดสอบ.....	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	26
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	26
3.2 การออกแบบการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	29
3.3 การวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง และ การวิเคราะห์ข้อมูล.....	32
4.1 ผลการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	32
4.2 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	81
บทที่ 5 บทสรุป.....	84
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	84
5.2 ปัญหาในการดำเนินงาน.....	85
5.3 การพัฒนาและแนวทางในการดำเนินงานในอนาคต.....	85
เอกสารอ้างอิง.....	86
ภาคผนวก.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	112



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าสเปน และ แชก ของการแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	32
4.2 การเปรียบเทียบความยาวของสายเคเบิลจากการคำนวณ.....	36
4.3 การลดทอนสัญญาณเฉลี่ย กับ คุณสมบัติของสิ่งแวดล้อม ในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	80
4.4 ปัจจัยที่ใช้ในการติดตั้งสายเคเบิล แบบ ADSS และ แบบ Figure-8.....	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ท่อบัพเฟอร์.....	4
2.2 การวางตัวของวัสดุเสริมแรง.....	4
2.3 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ OPGW.....	7
2.4 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบไดอิเล็กตริกพวงตนเอง.....	8
2.5 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบเลขแปด.....	9
2.6 การลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	10
2.7 การวัดค่าการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีตัดสั้น (Cutback method).....	11
2.8 การวัดค่าการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีอินเสิร์ต.....	12
2.9(ก) บล็อกไดอะแกรมสำหรับวัดค่าการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยวิธีสะท้อนกลับ.....	14
2.9(ข) สัญญาณที่ได้จาก OTDR จากการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยวิธีสะท้อนกลับ.....	14
2.10 แสดงเวลาที่สัญญาณพัลส์ใช้เคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งต่างๆ.....	16
2.11 แสดงลักษณะของการกระเจิงแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง และ ทิศทางของแสงสะท้อนกลับ.....	16
2.12 การสะท้อนกลับของแสงที่บริเวณรอยต่อระหว่างตัวกลางแก้วกับอากาศ.....	17
2.13 แผนภาพแสดงหลักการทำงานของเครื่อง OTDR.....	18
2.14 รูปแบบของความโค้งของสายเคเบิลขณะแขวน.....	19
2.15 แสดงแรงดึงของสายเคเบิล.....	20
3.1 เครื่องวัดสัญญาณแสง OTDR.....	27
3.2 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS.....	27
3.3 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8.....	27
3.4 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ใช้ในการทดสอบ.....	28
3.5 เสาคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	28
3.6 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	29
3.7 การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	30
4.1 ปัจจัยต่างๆของการแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	33

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3(ก) การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงในสถานที่ทดลอง.....	34
4.3(ข) การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงในสถานที่ทดลอง.....	34
4.3(ค) การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงในสถานที่ทดลอง.....	35
4.3(ง) การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงในสถานที่ทดลอง.....	35
4.4(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสง แบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I_1 , I_2 และ I_3 ระยะสเปก 3.05, 3.35 และ 4.35 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปก 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	37
4.4(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I_1 ระยะสเปก 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	38
4.4(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I_2 ระยะสเปก 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	38
4.4(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I_3 ระยะสเปก 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	39
4.5(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I_7 , I_8 และ I_9 ระยะสเปก 3.30, 4.40 และ 4.95 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปก 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	40
4.5(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I_7 ระยะสเปก 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₆ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	41
4.5(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₉ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	41
4.6(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₄ , I ₅ และ I ₆ ระยะสเปน 5.55, 6.65 และ 7.45 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	42
4.6(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₄ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	43
4.6(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₅ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเม.....	43
4.6(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₆ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	44
4.7(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₁₀ , I ₁₁ และ I ₁₂ ระยะสเปน 2.70, 3.10 และ 3.30 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₁₀ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	45
4.7(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₁₁ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	46
4.7(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₁₂ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	46
4.8(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₁ , I ₂ และ I ₃ ระยะแทรก 3.05, 3.35 และ 4.35 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	47
4.8(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₁ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	48
4.8(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₂ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	48
4.8(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₃ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	49
4.9(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₇ , I ₈ และ I ₉ ระยะแทรก 3.30, 4.40 และ 4.95 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I_7 ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	50
4.9(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I_8 ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	51
4.9(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I_9 ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	51
4.10(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I_4, I_5 และ I_6 ระยะสเปน 5.55, 6.65 และ 7.45 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	52
4.10(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I_4 ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	53
4.10(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I_5 ระยะสเปน 184.00 เมตรวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	53
4.10(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I_6 ระยะสเปน 184.00 เมตรวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	54
4.11(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I_{10}, I_{11} และ I_{12} ระยะสเปน 2.70, 3.10 และ 3.30 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสง แบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₁₀ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	55
4.11(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₁₁ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	56
4.11(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₁₂ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	56
4.12(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₁ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	58
4.12(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₁ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึมวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	58
4.13(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₂ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	59
4.13(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₂ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₃ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	60
4.14(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₃ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	60
4.15(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₄ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	61
4.15(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₄ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	61
4.16(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₅ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	62
4.16(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₅ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₆ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	63
4.17(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₆ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	63
4.18(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₇ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	64
4.18(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₇ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	64
4.19(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₈ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	65
4.19(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₈ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึมวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₉ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	66
4.20(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I ₉ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	66
4.21(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₁₀ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	67
4.21(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₁₀ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	67
4.22(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₁₁ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	68
4.22(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลำดับที่) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I ₁₁ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I_{12} ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร.....	69
4.23(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (ลัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I_{12} ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	69
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I_1 สายเคเบิลแบบ ADSS ระยะแซก 3.30 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร.....	74
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I_2 สายเคเบิลแบบ ADSS ระยะแซก 4.40 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร.....	74
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I_3 สายเคเบิลแบบ ADSS ระยะแซก 4.95 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร.....	75
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I_4 สายเคเบิลแบบ Figure-8 ระยะแซก 5.55 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I ₅ สายเคเบิลแบบ Figure-8 ระยะแซก 6.65 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร.....	76
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I ₆ สายเคเบิลแบบ Figure-8 ระยะแซก 7.45 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร.....	76
4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I ₇ สายเคเบิลแบบ ADSS ระยะแซก 3.05 เมตร ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร.....	77
4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I ₈ สายเคเบิลแบบ ADSS ระยะแซก 3.35 เมตร ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร.....	77
4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I ₉ สายเคเบิลแบบ ADSS ระยะแซก 4.35 เมตร ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร.....	78
4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I ₁₀ สายเคเบิลแบบ Figure-8 ระยะแซก 2.70 เมตร ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I_{11} สายเคเบิลแบบ Figure-8 ระยะแทรก 3.10 เมตร ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร.....	79
4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I_{12} สายเคเบิลแบบ Figure-8 ระยะแทรก 3.30 เมตร ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร.....	79
4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนเริ่มต้นกับระยะแทรก.....	81
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณ ระยะสเปน ระยะแทรกและอายุการใช้งานของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I_8 กับ I_{12} ระยะแทรก เท่ากับ 3.35 และ 3.30 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน เท่ากัน คือ 92.00 เมตร (ก) ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร (ข) ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร.....	82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาวิทยานิพนธ์

โดยทั่วไปสายเคเบิลใยแก้วที่เรารู้จักนั้นมีการใช้งานกันทั้งภายใน และภายนอกอาคาร ในส่วนของงานภายนอกอาคารนั้นมีการใช้อยู่อย่างหลากหลาย เช่น ใช้เป็นสายแขวน [1] สายใต้ดิน ใต้น้ำ และ เป็นเคเบิลร้อยท่อใต้ดิน โดยการพิจารณานำไปใช้นั้นต้องให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมภายใต้เงื่อนไขในส่วนของผู้ใช้สอย โดยพิจารณาถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสายเคเบิล ได้แก่ความยาว (l) น้ำหนักต่อความยาวของสายเคเบิล (w) การออกแบบสายเคเบิล และ การนำสายเคเบิลมารวมกัน [2], [3] เป็นต้น

ในการแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสงนั้นจะมีการยืดตัว อันเนื่องมาจากน้ำหนักของสายเคเบิลที่กระทำต่อสายเคเบิลตลอดทั้งเส้น ความตึง ระยะเวลาในการแขวนสายเคเบิล และ อุณหภูมิ [4] ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของการลดทอนสัญญาณภายหลังจากการติดตั้งสายเคเบิลแล้วนอกจากนี้ปัจจัยต่างๆระหว่างการใช้งานสายเคเบิลก็มีผลกระทบต่อสมบัติการลดทอนสัญญาณด้วย เช่น ระยะห่างระหว่างเสาที่แขวนสายเคเบิล ผลกระทบเมื่อเกิดลมพายุ หรือ อุณหภูมิระหว่างวัน เป็นต้น [4], [5]

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบ สายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดที่แขวนบนเสาไฟฟ้า ด้วยการควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมกับการใช้งานโดยคำนึงถึงการลดทอนสัญญาณ และการใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาประกอบการตัดสินใจในการผลิตสายเคเบิลใยแก้วนำแสงต้นแบบ หลังจากได้สายเคเบิลใยแก้วนำแสงตามต้องการแล้วก็จะทำการทดสอบด้วยการสร้างสถานการณ์จริงขึ้น แล้วบันทึกผลการทดสอบ และ สรุปเขียนรายงานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อทดสอบสายเคเบิลใยแก้วชนิดแขวนก่อนการผลิต และจำหน่าย
- 1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง การลดทอนสัญญาณ กับระยะแทรก ของการแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสง
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง การลดทอนสัญญาณ กับระยะสเปน ของการแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสง
- 1.2.4 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง การลดทอนสัญญาณ กับ ระยะเวลาของการใช้งานสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.5 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการออกแบบการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสง จากนั้นจึงทำการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดแขน บนเสาสำหรับแขนสายเคเบิล แล้วจึงทำการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงนั้น โดยสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่จะทำการทดสอบนี้มี 2 ชนิด คือ สายเคเบิลแบบไดอิเล็กตริกพยุงตนเอง (All Dielectric Self-Supporting Cables (ADSS)) และ สายเคเบิลแบบเลข 8 (Figure-8 Cables and Multipurpose Cables) ทั้งนี้ได้กำหนดระยะห่างระหว่างเสาให้มีระยะที่แตกต่างกัน 2 ระยะ คือ 92.00 เมตร และ 184.00 เมตร จากนั้นจึงนำสายเคเบิลดังกล่าวมาทำการติดตั้งบนเสาด้วยวิธีการติดตั้งเช่นเดียวกับการติดตั้งสายส่งสัญญาณทั่วไป ซึ่งได้กำหนดให้ระยะแขนของสายเคเบิลมีขนาดแตกต่างกัน 3 ค่า จึงทำให้เกิดรูปแบบของการติดตั้งสายเคเบิลทั้งหมด 12 แบบ แตกต่างกันไป จากนั้นจึงทำการวัดค่าการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลแต่ละเส้น (รวม 12 เส้น) ที่เวลาต่างๆระหว่างวัน เพื่อศึกษามลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิต่อการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิล โดยแบ่งเวลาของการวัดค่าการลดทอนสัญญาณออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงเช้า ระหว่างเวลา 5 :30 น. - 7:30 น. กลางวัน ระหว่างเวลา 11 :30 น. - 13:30 น. เย็น ระหว่างเวลา 17 :30 น. - 19:30 น. และ กลางคืน ระหว่างเวลา 23 :30 น. - 1:30 น. โดยใช้เทคนิคการวัดสัญญาณด้วยเครื่อง Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) และ เลือกใช้ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงอายุการใช้งานของสายเคเบิลที่มีผลต่อสมบัติการลดทอนสัญญาณด้วย โดยการวัดค่าการลดทอนสัญญาณซ้ำทุกๆสัปดาห์เป็นเวลา 12 สัปดาห์ หรือ 3 เดือน จากนั้นจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ และประมวลผลเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการแขนสายเคเบิลต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบความสัมพันธ์ระหว่าง การลดทอนสัญญาณ ระยะแขน ระยะสเป้น และ อายุการใช้งานของการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่เงื่อนไขต่างๆ
- 1.4.2 ทราบว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบต่อสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงหรือไม่
- 1.4.3 ทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมในการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสง เพื่อให้มีการลดทอนสัญญาณต่ำ และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
- 1.4.4 ได้สายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ทำการทดสอบแล้วพร้อมผลิต และ จำหน่ายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สายเคเบิลใยแก้วนำแสง

ความต้องการสายเคเบิลใยแก้วในการสื่อสารรูปแบบต่างๆมีมากขึ้น และการออกแบบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานนั้นก็มีความจำเป็นเช่นกัน ทั้งนี้การออกแบบขึ้นกับโครงสร้างของบัฟเฟอร์(Buffer) แกนกลางของสายเคเบิล ฉนวนหุ้ม(Sheath) เกราะป้องกัน(Armoring) และ ส่วนประกอบต่างๆ เพื่อยืดอายุการใช้งานของสายเคเบิล และ ป้องกันสายเคเบิลจากผลกระทบต่างๆ จากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ และ ความเครียด เป็นต้น

พื้นฐานของการพัฒนา และ ออกแบบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงนั้นโดยทั่วไปเป็นไปตามหลักการดังต่อไปนี้ [5],[6]

1. จะต้องสามารถใช้งานสายเคเบิลใยแก้วนำแสงได้ง่าย และ สะดวกในการติดตั้ง ซึ่งควรเป็นวิธีเดียวกับการติดตั้งระบบสื่อสารแบบเดิม
2. สามารถที่จะทำการเชื่อมต่อสายเคเบิลในภาคสนาม(ระหว่างการผลิต)ได้
3. มีสมบัติทางไฟฟ้า และ สมบัติเชิงกลเหมาะสมกับการใช้งาน
4. มีความคงทน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
5. ประหยัด

2.1.1 ส่วนประกอบของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

สายเคเบิลใยแก้วนำแสงส่วนใหญ่ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

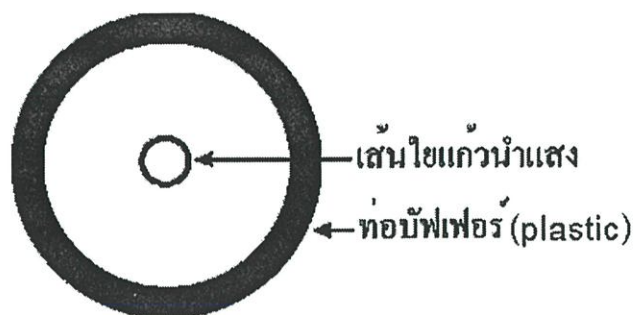
2.1.1.1 แกนกลางของสายเคเบิล(Cable Core)

ซึ่งภายในประกอบด้วย ท่อบัฟเฟอร์และวัสดุเสริมแรง

ท่อบัฟเฟอร์

ในการใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงโดยทั่วไปต้องใช้ส่วนประกอบอื่นช่วย เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงมีความเปราะบางง่ายต่อการเกิดความเสียหาย ซึ่งจะเกิดการลดทอนของสัญญาณเพิ่มขึ้นถ้าเส้นใยแก้วนำแสงมีการยืดหรือหดตัว เนื่องจากแรงดึงและการโค้งงอ ดังนั้นถ้าเราป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงด้วยบัฟเฟอร์ ก็จะทำให้เราสามารถใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในความเป็นจริงได้

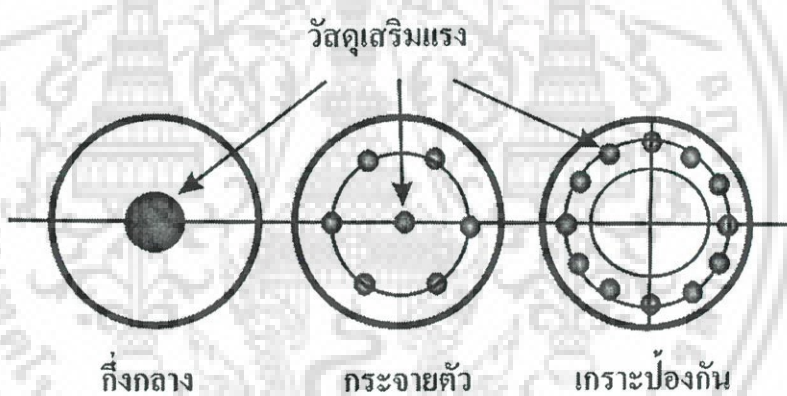
โดยจุดมุ่งหมายของการใช้บัฟเฟอร์ก็เพื่อป้องกันเส้นใยแก้วนำแสง จากปัจจัยภายนอกให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และเพื่อป้องกันแรงดึง ความเค้น ความเครียด และปัจจัยเชิงกลต่างๆได้ นำมาซึ่งการออกแบบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงในที่สุด



รูปที่ 2.1 ทอับฟเฟอร์

วัสดุเสริมแรงในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

เพื่อลดการยืดของเส้นใยแก้วนำแสงจะต้องเลือกวัสดุเสริมแรง (Strength Member) ให้มีค่า ยั้งโมดูลัสสูงๆ และมีน้ำหนักเบาที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ สายเคเบิลส่วนใหญ่จะใช้วัสดุเสริมแรงแบบ กึ่งกลาง (Center type) และ ชนิด เกราะป้องกัน (Armored type)



รูปที่ 2.2 การวางตัวของวัสดุเสริมแรง

2.1.1.2 สารประกอบสำหรับเติมเต็มในแกนกลางของสายเคเบิล (Cable core filling)

เพื่อให้มั่นใจว่าสายเคเบิลมีความมั่นคงในแนวแกน(Longitudinal) และป้องกันน้ำซึมเข้าสายเคเบิล จึงได้เติมสารประกอบเชิงซ้อน(Compound) ณ ความดันสูง(ประมาณ 15 บาร์) เข้าไปในแกนกลางของสายเคเบิล และสารประกอบเชิงซ้อนนี้จะต้องไม่ทำปฏิกิริยาใดๆกับเส้นใยแก้วนำแสง นอกจากนี้ยังต้องไม่ทำให้ฉนวนหุ้มสายเคเบิลบวม(Swelling effect) และมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสายเคเบิลภายในอาคารไม่จำเป็นต้องเติมสารกันน้ำ แต่ถ้าต้องการป้องกันองค์ประกอบอื่นภายในสายเคเบิล ก็สามารถทำได้โดยใช้พลาสติกพันให้แน่นเพื่อกันน้ำ

2.1.1.3 ฉนวนหุ้มสายเคเบิล (Cable Sheath)

ฉนวนหุ้มทำหน้าที่ป้องกันสายเคเบิลโดยแก้วจากสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้

1. ความเสียหายเชิงกล
2. ความร้อน
3. ปฏิกิริยาทางเคมี
4. นอกจากนี้ยังป้องกันความชื้นจากภายนอกด้วย

โดยทั่วไปฉนวนหุ้มสายเคเบิลมีหลายชนิดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน วัสดุที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายก็คือ ฉนวนหุ้มที่ทำจากโพลีเอททิลีน (Polyethylene PE) (ที่มีหรือไม่มีชั้นป้องกัน เช่น อะลูมิเนียม) นอกจากนี้ก็ยังมีโพลีไวนิล คลอไรด์ (PVC) ซึ่งใช้สำหรับสายเคเบิลภายในอาคาร และ ก็ยังมีวัสดุอีกหลายชนิดสำหรับงานเฉพาะทางแต่ละงาน เช่น เพอร์ฟลูออไรด์โพลีเอททิลีน โปรเพลีน (Perfluorethylene propylene FEP) เพอร์ฟลูออไรด์ออกซี โคโพลีเมอร์ (Perfluoroalkoxy copolymer PFA) และ เอทิลีน ไวนิลเลคซีเตท (ethylene vinylacetate EVA)

ในทางทฤษฎีเราสามารถเลือกใช้โลหะทำฉนวนหุ้มได้ เช่น ตะกั่ว หรือ เหล็กลูกฟูก (Corrugate steel) เป็นต้น อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงกระบวนการผลิตด้วย ซึ่งการใช้วัสดุดังกล่าวทำฉนวนหุ้มอาจทำให้เกิดการยืดของสายเคเบิล และ ส่งผลกระทบต่อสมบัติการสื่อสารของสัญญาณแสงอย่างถาวรได้

2.1.2 ชนิดของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

สามารถแบ่งชนิดของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงตามสภาพการใช้งานได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. สายเคเบิลใยแก้วนำแสงภายนอกอาคาร
2. สายเคเบิลใยแก้วนำแสงภายในอาคาร
3. สายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดพิเศษ

สำหรับสายเคเบิลใยแก้วภายนอกอาคารนั้น อาจแบ่งออกได้อีกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. สายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดแขวน (Aerial Cable)
2. สายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดฝังใต้ทะเล (Submarine Cable)
3. สายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดฝังใต้ดิน (Buried Cable)

ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดแขวนเท่านั้น ซึ่งประกอบด้วยชนิดต่างๆ ดังนี้

2.1.2.1 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบที่มีลวดกรวดอยู่ด้านบน

(Fiber Optic Cables in Overhead Ground Wires (OPGW))

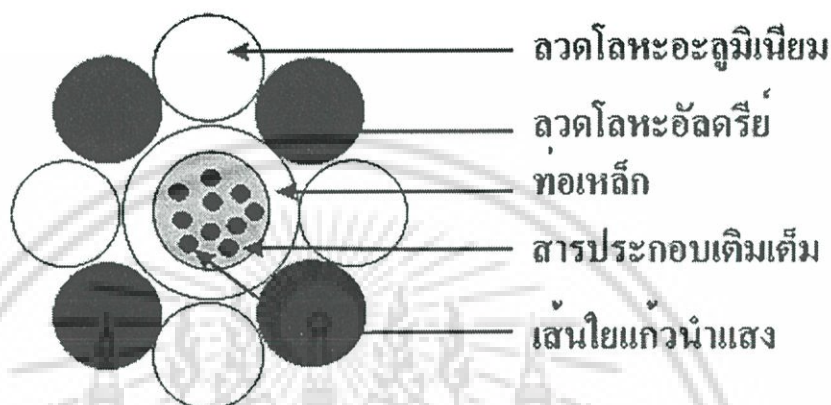
ได้มีการใช้สายเคเบิลใยแก้วแบบพองตนเอง(Self-supporting fiber optic cable) ชนิดแขวนที่มีลวดกรวดอยู่ด้านบน แทนสายเคเบิลแบบเดิมโดยบริษัทส่งกำลังไฟฟ้าแห่งหนึ่งในประเทศเยอรมันนี้ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1986 โดยสายเคเบิลแบบ OPGW นี้ไม่แตกต่างจากสายเคเบิลแบบเดิมในเรื่องของน้ำหนัก หรือเส้นผ่าศูนย์กลาง ดังนั้นโหลดที่เกิดขึ้นที่ขั้วของการแขวนสายเคเบิลจึงมีค่าเท่าเดิม รูปที่ 2.3 แสดงสายเคเบิลแบบ OPGW

โดยทั่วไปที่แกนกลางของฉนวนหุ้มสายเคเบิลจะประกอบด้วย ท่อบัพเฟอร์ที่ทำจากพลาสติก หรือ โลหะ(ที่เป็นเหล็กคุณภาพสูง) หลายอัน ส่วนใหญ่ฉนวนหุ้มภายในทำจากลวดเหล็กกล้าไนต์ หรือลวดเหล็กเคลือบอะลูมิเนียม (AW alumoclad, alumoweld) และใช้ลวดอัลดริย์(Aldrey wries AY) ทำฉนวนหุ้มภายนอก อัลดริย์ คือ โลหะผสมของอะลูมิเนียม แมกนีเซียม และ ซิลิกอน ที่มีความนำสูงมาก และสามารถรับแรงดึงได้เป็น 2 เท่าของอะลูมิเนียมบริสุทธิ์

เส้นผ่าศูนย์กลางของสายเคเบิลสามารถขยายออกได้ตั้งแต่ 3.5 ถึง 8.0 มม. ขณะที่ส่วนที่เป็นชั้นของโลหะ สามารถขยายออกได้ถึง 6.0 มม. ทั้งนี้ขึ้นกับจำนวนของเส้นใยแก้วนำแสง และเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อพลาสติก ภายในสายเคเบิล 1 เส้น อาจมีเส้นใยแก้วนำแสงได้ถึง 96 เส้น เป็นต้น

ปรัชญาพื้นฐานของการออกแบบสายเคเบิลชนิดนี้ ก็คือ การออกแบบเพื่อป้องกันความเครียด ที่จะเกิดกับเส้นใยแก้วนำแสงดังนั้นจะต้องทำให้พื้นที่หน้าตัดของท่อพลาสติก

จำนวนท่อพลาสติกในสายเคเบิล และ ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดของท่อพลาสติกที่ใกล้กัน ให้สามารถทนหรือป้องกัน แรงดึง ที่เกิดขึ้นในสายเคเบิลได้ โดยการพันท่อพลาสติกให้เป็นเกลียวก็สามารถป้องกันเส้นใยแก้วนำแสงจากความเครียดที่เกิดจากลมพัด หรือ น้ำหนักของน้ำแข็งที่มาเกาะสายเคเบิลได้ ซึ่งโดยทั่วไปเส้นใยแก้วนำแสงจะยืดออกประมาณ 0.5 %



รูปที่ 2.3 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ OPGW

2.1.2.2 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบไดอิเล็กตริกพวงตนเอง (All Dielectric Self-Supporting Cables (ADSS))

สายเคเบิลแบบ ADSS ส่วนใหญ่ใช้เพื่อพัฒนาสายส่งกำลังสูงที่มีอยู่เดิมโดยเปลี่ยนมาใช้สายเคเบิลใยแก้วแทนโดยไม่ต้องใช้สายกราวด์ (Ground wire) โดยที่ไดอิเล็กตริกทั้งหมด (All dielectric) ถูกออกแบบมาเพื่อลดความเสียหายระหว่างการติดตั้ง และ ป้องกันการลัดวงจร ในกรณีที่สายเคเบิลสัมผัสกับสายไฟฟ้าแรงสูง (Phase wires)

รูปที่ 2.4 แสดงภาพตัดขวางของสายเคเบิลแบบ ADSS ที่แกนกลางของสายเคเบิลประกอบด้วย ท่อ 2 ชั้น ซ้อนกัน ซึ่งสามารถบรรจุเส้นใยแก้วนำแสงได้มากกว่า 48 เส้น โดยสอดเส้นใยแก้วนำแสงผ่านท่อให้มีความยาวเหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโหลดแก่เส้นใยแก้วนำแสงเมื่อได้รับแรงดึง และใส่เยลเพื่อป้องกันน้ำซึมเข้าไปในสายเคเบิล และพันทับอีกชั้นด้วยผ้าด้ายดิบอารามิด (Aramid yarns) เพื่อให้รองรับแรงดึงได้มากขึ้น

สำหรับการติดตั้งสายเคเบิลบนเสาไฟฟ้าแรงสูง ขนาด 110 kV หรือสูงกว่า ฉนวนภายนอกสายเคเบิลจะต้องทำจากโพลีเมอร์ชนิดพิเศษ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวต้านทาน และ ลดความต้านทานได้ในตัวเอง โดยใช้ผ้าด้ายดิบอารามิด เป็นตัวทำให้ออนไหลผ่านได้ และเป็นตัวดูดกลืนความจุไฟฟ้า เพื่อกำจัดความเครียดเชิงไฟฟ้า(Electrical Stresses) เนื่องจากสนามไฟฟ้าที่ผิวนอกของฉนวนหุ้มส่วนในกรณีที่สายส่งไฟฟ้ามีกำลังต่ำกว่า 110 kV จะใช้วัสดุที่ทำจากโพลีเอทิลีน เป็นฉนวนหุ้มแทน

ระยะสเป้นสูงสุด (Max. span length) ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับผลรวมของความแข็งแรง (Strength members) ที่สามารถรองรับได้ และ ขนาดของแซก ที่ต้องการ ถ้าใช้ผ้าด้ายดิบอารามิด ขนาด 15.0 มม.² ระยะสเป้นที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 300.00 ม.



รูปที่ 2.4 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบไดอิเล็กตริกพองตนเอง

2.1.2.3 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบเลขแปด

(Figure-8 Cables and Multipurpose Cables)

รูปที่ 2.5 แสดงภาพตัดขวางของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 ซึ่งประกอบด้วย ส่วนประกอบ 2 ส่วนโดยส่วนบนเป็นส่วนของการรับน้ำหนัก (Strain-bearing) มีลักษณะเป็นลวด เหล็กบิดเกลียว (Steel robe) หรือ ทำจากผ้าด้ายดิบอารามิด และ ส่วนล่างประกอบด้วยแกนของ สายเคเบิล กึ่งกลางเป็นท่อบัฟเฟอร์ หรือ ท่อพันเกลียว และทั้งสองส่วนรวมกันอยู่ด้วยฉนวนหุ้ม โพลีเอทิลีน ซึ่งการออกแบบสายเคเบิลชนิดนี้ใช้สำหรับแขวนในช่วงสั้นๆ ระยะสเปนนประมาณ 50.00 ม.



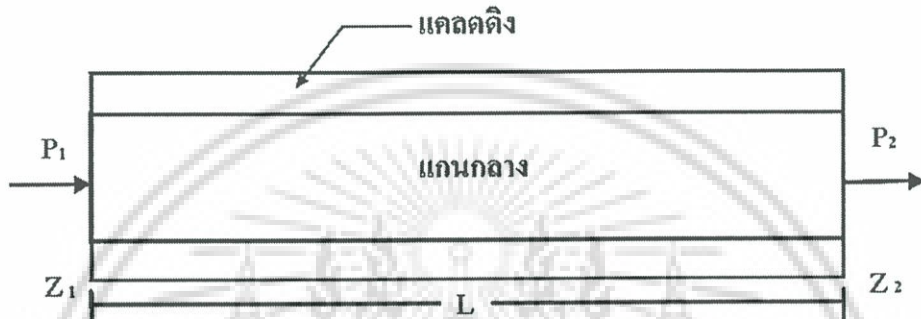
รูปที่ 2.5 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบเลขแปด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวัดค่าการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง

2.2.1 นิยามการลดทอน

การลดทอนสัญญาณแสงแสดงดังรูปที่ 2.6 โดย P_1 คือกำลังแสงที่ส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง และ P_2 คือกำลังแสงที่ถูกส่งออกมาจากเส้นใยแก้วนำแสง การลดทอนสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสง คือ [5], [6]



รูปที่ 2.6 การลดทอนสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสง

$$Loss = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.1)$$

ถ้าอธิบายในเทอมของลอการิทึมจะได้

$$Loss \Big|_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad (2.2)$$

เราคาดว่า การลดทอนสัญญาณจะเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นใยแก้วนำแสงยาวขึ้น เราจึงอธิบายความสัมพันธ์นี้ในหน่วย ต่อกิโลเมตร (การลดทอนสัญญาณต่อกิโลเมตร)

จากการลดทอนระหว่างจุด Z_1 และ Z_2 (ซึ่งมีระยะทาง L) ดังนั้นการลดทอนต่อหน่วยความยาว L สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Loss \Big|_{dB/km} = \frac{10}{Z_2 - Z_1} \log \frac{P_2}{P_1} = \frac{10}{L} \log \frac{P_2}{P_1} \quad (dB/km) \quad (2.3)$$

เมื่อ P_1 และ P_2 คือกำลังแสง (Optical Power) ที่พุ่งผ่านพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยแก้วนำแสงที่จุด Z_1 และ Z_2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วิธีการวัดค่าการลดทอน

สัมประสิทธิ์การลดทอน(Attenuation Coefficient)มีประโยชน์อย่างมากในการออกแบบระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง และเป็นสมบัติเฉพาะอย่างหนึ่งของเส้นใยแก้วนำแสง อย่างไรก็ตามยังมีอีกหลายปัจจัยที่เราควรคำนึงถึงในการใช้งานเส้นใยแก้วนำแสง ประการแรก คือ ความสม่ำเสมอของวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้วนำแสง ถึงแม้ว่าปัจจัยนี้จะไม่ทำให้เกิดปัญหาในการวัดสัญญาณ แต่ถ้าวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้วนำแสงไม่มีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันตลอดความยาว ก็จะทำให้เกิดการลดทอนที่ระยะทางไกลได้ ทำให้ไม่สามารถคำนวณการลดทอนด้วยสัมประสิทธิ์การลดทอนได้ และไม่สามารถวัดการลดทอนต่อหน่วยความยาวได้ รูปที่ 2.7 และ รูปที่ 2.8 แสดงการวัดค่าการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง [5]

เราสามารถวัดค่าการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสงได้ 3 วิธีด้วยกันคือ

2.2.2.1 วิธีการตัดแบก (Cutback Method) ซึ่งโดยทั่วไปใช้วิธีการนี้

2.2.2.2 วิธีการอินเสิร์ท (Insertion Method)

2.2.2.3 วิธีการวัดการสะท้อนกลับ(Backscatter Method)ใช้เฉพาะการวัดในสถานที่จริง

2.2.2.1 วิธีการตัดแบก (Cutback Method)

วิธีการนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปในการวัดการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง รูปที่ 2.7 แสดงระบบการวัดโดยเราวัดกำลังแสง P_2 ที่เอาท์พุทสุดท้ายของระบบ ที่ระยะทาง Z_2 จากนั้นตัดเส้นใยแก้วนำแสงออกที่จุด Z_1 (โดยทั่วไปใช้ระยะประมาณ 2.00 เมตร) และวัดกำลังแสงที่จุด P_1 แล้วคำนวณการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสงจากสมการที่(2.3)



รูปที่ 2.7 การวัดค่าการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยวิธีตัดสั้น(Cutback method)

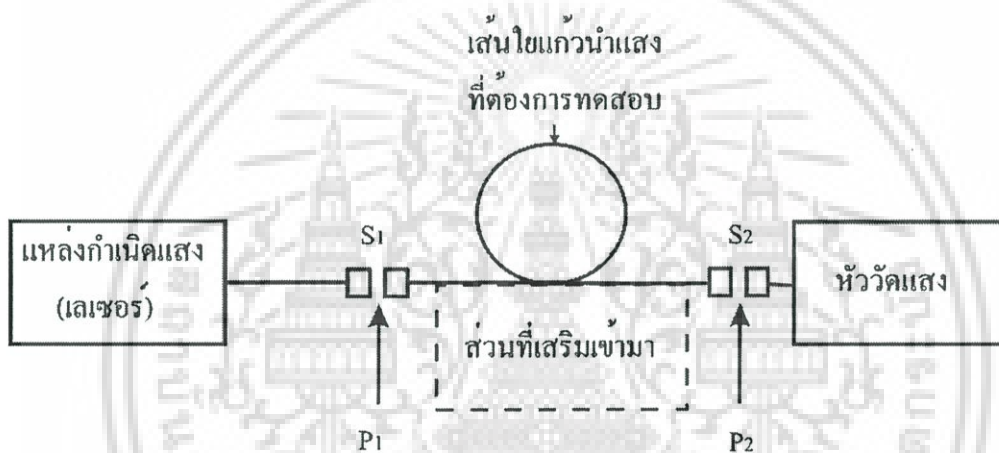
รูปที่ 2.7 แสดงระบบการวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่นแสงค่าหนึ่งโดยใช้ ไดโอดเปล่ง

แสง หรือ เลเซอร์ไดโอด เป็นแหล่งกำเนิดแสง และใช้เครื่องวัดกำลังแสงวัดกำลังแสงที่เอาท์พุท เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 วิธีการอินเสิร์ท (Insertion Method)

รูปที่ 2.8 แสดงระบบวัดการลดทอนด้วยวิธีอินเสิร์ท โดยในขั้นแรกเราวัดกำลังแสง P_1 ของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเรากำหนดให้ค่านี้เป็นกำลังแสงที่ตกกระทบเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง จากนั้น นำเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการวัดค่าการลดทอนมาเชื่อมต่อเข้าไปในระบบ และ ปรับตำแหน่งของเส้นใยแก้วนำแสงที่จุด S_1 ให้กำลังแสงที่จุด S_2 มีค่ามากที่สุด แล้ววัดกำลังแสงที่จุด P_2 แล้วคำนวณหาค่าการลดทอนโดยใช้สมการ(2.3)

โดยพื้นฐานแล้ววิธีการอินเสิร์ทคล้ายกับวิธีคัตแบค อย่างไรก็ตามการวัดกำลังแสงของแหล่งกำเนิดแสง และการเชื่อมต่อด้วยวิธีการหลอมรวม อาจทำให้เกิดการลดทอนเพิ่มขึ้น ซึ่งเราต้องหาวิธีวัดค่าการลดทอนที่เกิดจากการเชื่อมต่อ เพื่อให้ได้ค่าการลดทอนของระบบอย่างแท้จริง



รูปที่ 2.8 การวัดค่าการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยวิธีอินเสิร์ท

2.2.2.3 วิธีการวัดการสะท้อนกลับ (Backscatter Method)

เมื่อเราส่งสัญญาณแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง จะเกิดการดูดกลืน และการสะท้อนกลับภายในเส้นใยแก้วนำแสงนั้น และ เกิดการลดทอนขึ้นส่วนหนึ่งของแสงสะท้อนที่เดินทางกลับมาจากจุดเริ่มต้น ทำให้เราสามารถคำนวณหาค่าการลดทอนเนื่องจากความเข้มแสงที่ลดลงจากการสะท้อนกลับนี้ภายในช่วงเวลาที่ทราบค่าได้

พิจารณาโดยให้แสงที่ส่งออกไปมีลักษณะเป็นพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์ T และมีกำลังแสง $P(0)$ และพัลส์นี้เคลื่อนที่เข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงด้วยความเร็วกลุ่ม V_g และกำลังแสงของพัลส์นั้นเป็นไปตามสมการ

$$P(z) = P(0)e^{(-\alpha(z))} \quad (2.4)$$

กำลังแสงกระเจิงกลับในเส้นใยแก้วนำแสงช่วงสั้นๆ จาก Z ไปยัง $Z+dZ$ เป็นไปตามสมการ

$$dP_s(z) = \alpha_R P(z) dZ \quad (2.5)$$

โดย dP_s คือ กำลังแสงกระเจิงกลับ (Scattering Light Power)

α_R คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับ (Scattering Loss Coefficient)

ประมาณว่าแสงส่วนที่กระเจิงกลับมาที่จุดเริ่มต้นมีอัตราส่วนเท่ากับ S เราสามารถคำนวณหา กำลังของแสงกระเจิงกลับที่จุด Z , $dP_{bs}(Z)$ ได้จากสมการ

$$dP_{bs}(z) = S\alpha_R P(z) dZ \quad (2.6)$$

พิจารณการลดทอน เมื่อแสงกระเจิงกลับมาจากจุด Z ถึงจุดเริ่มต้นโดยวัดกำลังแสงกระเจิงกลับ ที่จุดเริ่มต้นได้ตามสมการ

$$dP_d(z) = dP_{bs}(z) e^{(-\alpha(z))} \quad (2.7)$$

โดย $dP_d(Z)$ คือ กำลังแสงกระเจิงกลับที่จุดเริ่มต้น และ แทน สมการ(2.6) ลงในสมการ(2.7) จะได้

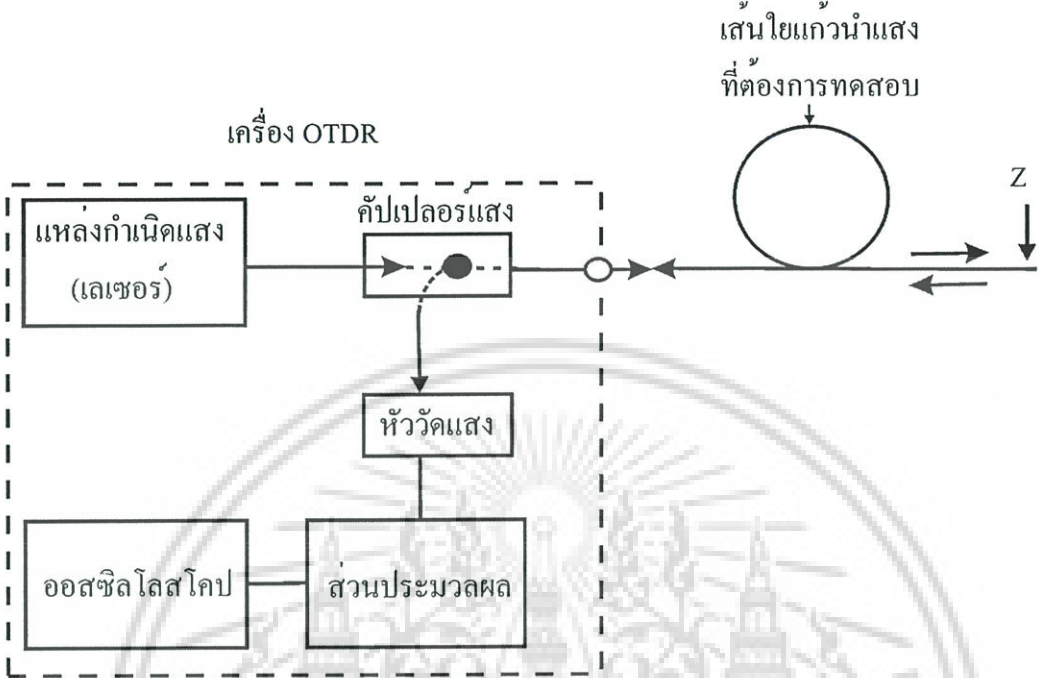
$$dP_d(z) = S\alpha_R P(0) e^{(-2\alpha(z))} dZ \quad (2.8)$$

เมื่อเราทราบเวลา $t = \frac{2z}{v_g}$ ที่แสงเคลื่อนที่ไปจนถึงจุด Z แล้วกระเจิงกลับมายังจุดเริ่มต้น เรา สามารถคำนวณหา กำลังแสง $P(z)$ ที่จุดเริ่มต้นเมื่อเวลาผ่านไป t ได้จากสมการ

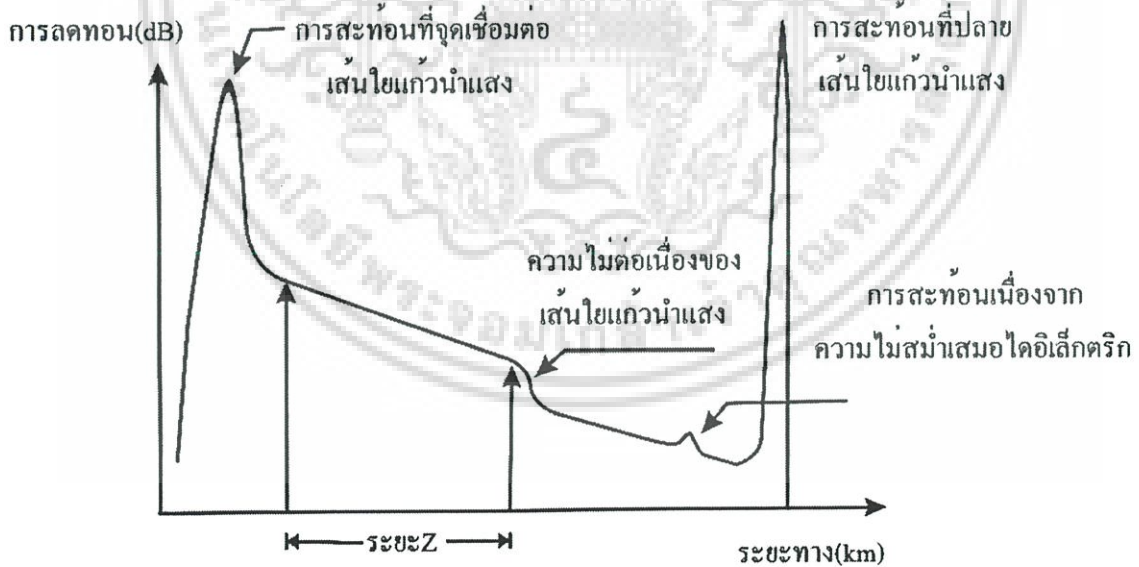
$$P(t) = \frac{1}{2} S\alpha_R P(0) v_g T e^{\left[-2\alpha\left(v_g t/2\right)\right]} \quad (2.9)$$

จากสมการข้างต้นทำให้เราสามารถคำนวณหาค่าการลดทอนได้

รูปที่ 2.9 แสดงระบบการวัดค่าการลดทอนด้วยวิธีสะท้อนกลับ ในปัจจุบันนี้ระบบต่างๆ ได้ประกอบรวมกันเป็นระบบเดียว และมีใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไปเรียกว่า Optical Time Domain Reflectometer หรือ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า OTDR ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป



รูปที่ 2.9 (ก) บล็อกไดอะแกรมสำหรับวัดค่าการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยวิธีสะท้อนกลับ



รูปที่ 2.9 (ข) สัญญาณที่ได้จาก OTDR จากการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยวิธีสะท้อนกลับ

2.2.3 เทคนิคการวัดสัญญาณด้วย OTDR

โดยทั่วไปเทคนิคที่ใช้ในการตรวจสอบหารอยตำหนิในสายเคเบิล สามารถกระทำได้โดยการส่งสัญญาณในรูปพัลส์ (Pulse) ที่ปลายด้านหนึ่งของสายเคเบิล แล้วทำการตรวจวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากรอยตำหนิที่เกิดขึ้นภายในสายเคเบิล ซึ่งการสะท้อนกลับดังกล่าวเกิดจากความไม่ต่อเนื่องของตัวกลางที่บริเวณรอยตำหนิ โดยการตรวจวัดจะสนใจช่วงเวลานับจากที่มีการส่งสัญญาณไปจนกระทั่งสัญญาณสะท้อนกลับมาจากด้านอินพุท (Input) เดิม นอกจากนี้ถ้าทราบความเร็วของสัญญาณที่เคลื่อนที่ในสายเคเบิล ก็จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งของรอยตำหนิได้

เทคนิคดังกล่าวมีชื่อเฉพาะว่า Time Domain Reflectometry (TDR) ซึ่งหมายถึงวิธีการที่ให้สัญญาณเข้าไปทางด้านอินพุท ของตัวนำสัญญาณ และทำการตรวจวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับพร้อมจับเวลา (Time Delay) ระหว่างการส่งและรับสัญญาณ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาระยะทาง ณ ตำแหน่งที่สัญญาณสะท้อนกลับมา ซึ่งก็คือความยาวของตัวนำสัญญาณนั่นเอง

เทคนิคนี้ได้ถูกนำมาใช้กับเส้นใยแก้วนำแสงด้วย และด้วยเหตุที่สัญญาณที่ใช้ในการตรวจสอบเป็นสัญญาณแสง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบจะทำการส่งสัญญาณแสงในลักษณะของพัลส์เข้าไปยังเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการตรวจสอบ เทคนิคนี้สามารถเรียกให้เฉพาะลงไปว่า OTDR

เนื่องจากช่วงเวลาที่วัดโดยเทคนิค OTDR เป็นช่วงเวลาที่สัญญาณใช้เคลื่อนที่ไปและกลับ (โดยประมาณ) ดังนั้นช่วงเวลาที่สัญญาณใช้เคลื่อนที่ไปอย่างเดียวก็น่าจะเป็นครึ่งหนึ่งของเวลาทั้งหมดซึ่งก็คือ $\frac{1}{2} (T_3 - T_1)$ (จากรูปที่ 2.10) ดังนั้นความยาวของตัวนำสัญญาณสามารถหาได้จากสมการ

$$L = \left[\frac{V_{fiber} (T_3 - T_1)}{2} \right] \quad (2.10)$$

โดย

L คือ ระยะทางที่สัญญาณพัลส์เคลื่อนที่ไปกระทบรอยตำหนิ

V_{fiber} คือ ความเร็วแสงในเส้นใยแก้วนำแสง

T_1 คือ เวลาที่ปล่อยสัญญาณพัลส์เข้าสู่สายส่งสัญญาณ

T_3 คือ เวลาที่สัญญาณพัลส์สะท้อนกลับมาจากจุดเริ่มต้น(จุดที่ปล่อยสัญญาณ)

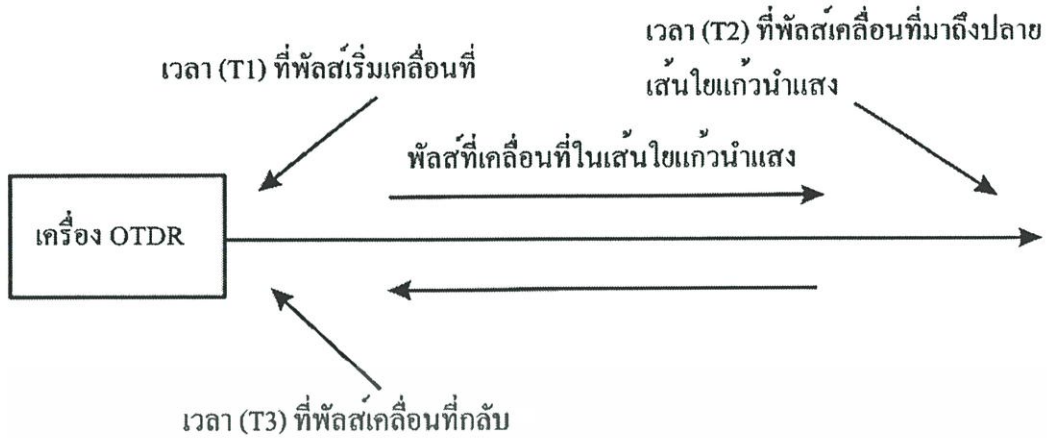
และ

$$V_{fiber} = \frac{V_{vacuum}}{n_{core}} \quad (2.11)$$

โดย

V_{vacuum} คือ ความเร็วแสงในสุญญากาศ

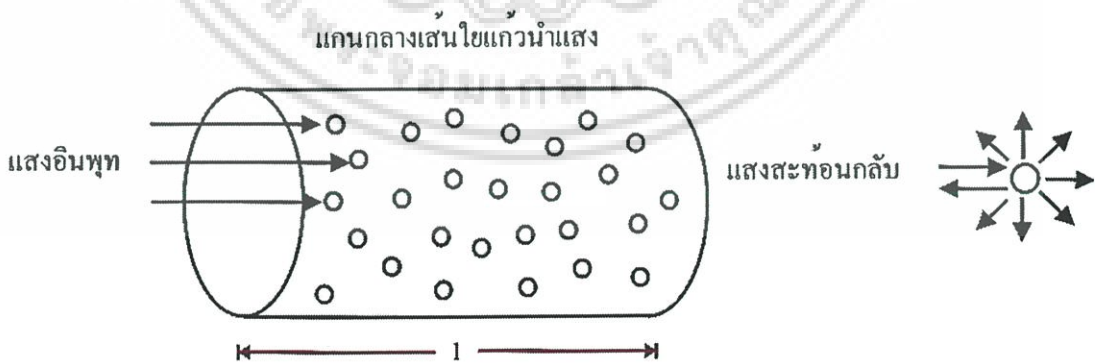
n_{core} คือ ดรรชนีหักเหของแกนกลางของเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 2.10 แสดงเวลาที่สัญญาณพัลส์ใช้เคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งต่างๆ

OTDR อาศัยการวัดกำลังแสงที่กระเจิงกลับมาจากภายในเส้นใยแก้วนำแสง โดยการกระเจิงของแสงนี้อาจเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นของตัวกลางหรืออาจกล่าวได้ว่า ทำให้มีค่าดรรชนีหักเหต่างกัน ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านบริเวณดังกล่าว จึงเกิดการกระเจิงของแสงขึ้น เรียกการกระเจิงในลักษณะนี้ว่า การกระเจิงแบบเรย์เลห์(Rayleigh Scattering) พบได้ตลอดความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง

แสงที่กระเจิงของแบบเรย์เลห์นี้สามารถกระเจิงออกไปได้ทุกทิศทาง(ดังรูปที่ 2.11) แต่จะมีแสงบางส่วนที่กระเจิงกลับไปยัง OTDR แสงที่สะท้อนกลับไปในลักษณะดังกล่าวเรียกว่า Back Scattering Light โดยจะมีขนาดของกำลังแสงลดลงเป็น ฟังก์ชันเอกโปเนนท์ชี้ยล (Exponential Function) เมื่อเทียบกับระยะทางที่สัญญาณแสงใช้เคลื่อนที่ไปและกลับ



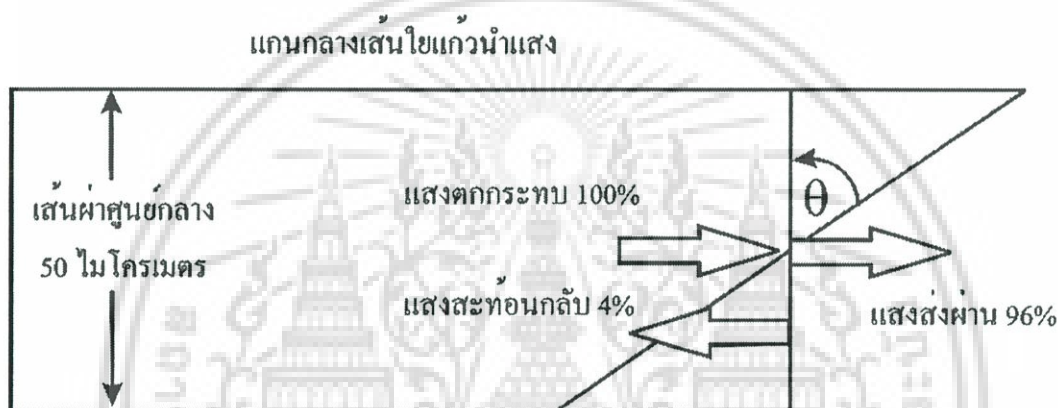
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของ การกระเจิงแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง และ ทิศทางของแสงสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกต

การกระเจิงเรย์เลห์ (Rayleigh Scattering) เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความยาวคลื่นในช่วง 850 นาโนเมตร ซึ่งมีสาเหตุมาจากความไม่สม่ำเสมอของดรรชนีหักเหของตัวกลางของแสง

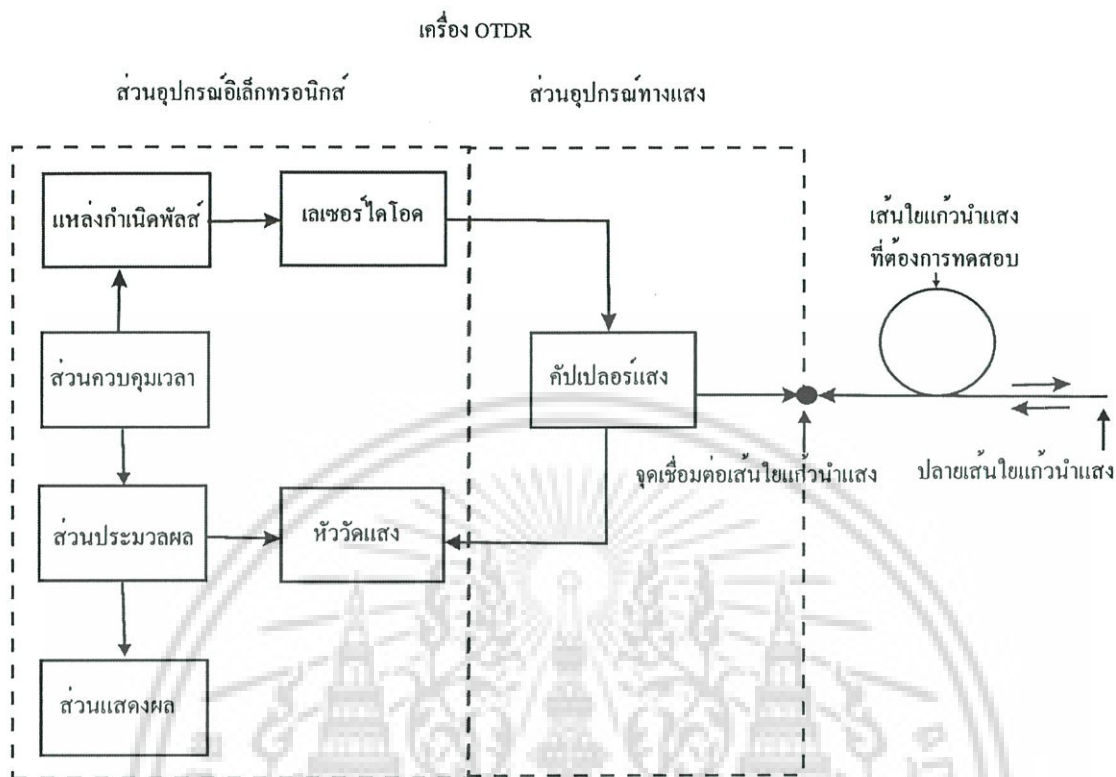
การสะท้อนอีกลักษณะหนึ่งของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวกลางของแสง เช่น การสะท้อน ณ บริเวณรอยต่อระหว่างแก้วกับอากาศ (ดังรูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.12 การสะท้อนกลับของแสงที่บริเวณรอยต่อระหว่างตัวกลางแก้วกับอากาศ

โดย θ คือ มุมหน้าตัดเส้นใยแก้วนำแสง (Cut face angle)

ถ้าหน้าตัดของเส้นใยแก้วนำแสงตั้งฉากกับทางเดินของแสง (หรือแกนกลางของเส้นใยแก้วนำแสง) สัมประสิทธิ์ของการสะท้อนจะไม่เกิน 4 % (13.98 dB) ลักษณะการสะท้อนในลักษณะนี้เรียกว่าการสะท้อนแบบ เฟรสเนล (Fresnel Reflection) ซึ่งลักษณะการสะท้อนแบบเฟรสเนลสามารถพบได้ที่รอยต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงสองเส้นที่เชื่อมต่อกันด้วยหัวต่อ รวมทั้งจุดต่อระหว่าง OTDR กับเส้นใยแก้วนำแสงและที่ปลายเส้นใยแก้วนำแสงอีกด้วย



รูปที่ 2.13 แผนภาพแสดงหลักการทำงานของเครื่อง OTDR

จากรูปที่ 2.13 แสดงส่วนประกอบหลักของ OTDR โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย คือ ส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และส่วนอุปกรณ์ทางแสง ซึ่งทั้งสองส่วนทำงานอย่างสัมพันธ์กัน เริ่มจากในส่วนของ เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตสัญญาณพัลส์สำหรับขับเลเซอร์ไดโอด ให้ปล่อยสัญญาณแสงออกมาในลักษณะพัลส์ จากนั้นสัญญาณดังกล่าว จะถูกส่งเข้าไปยังปลายข้างหนึ่งของตัวเปล่งแสง (Optical Fiber Coupler) ซึ่งทำหน้าที่ในการส่งผ่านสัญญาณแสงไปยังเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการทดสอบทางชั่วคราว (Front Panel Connector) และรับสัญญาณแสงที่สะท้อนจากเส้นใยแก้วนำแสงกลับมายังตัววัดแสง โดยสัญญาณที่สะท้อนกลับมานี้เกิดจากการสะท้อนแบบเฟรสนเนล (ณ จุดต่อระหว่าง OTDR กับเส้นใยแก้วนำแสง รวมถึงปลายเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างแก้วและอากาศและบริเวณจุดต่อต่างๆ) และการกระเจิงกลับ เนื่องจากการกระเจิงแบบเรย์เลห์ตลอดเส้นใยแก้วนำแสงขณะที่แสงเคลื่อนที่ตามความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง

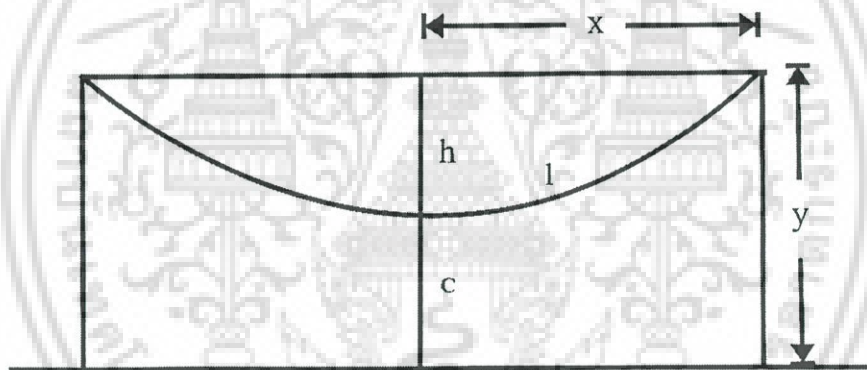
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแสงที่วัดได้จะถูกนำมาประมวลผล ณ ส่วนประมวลผล (Signal Acquisition & Processing) โดยอาศัยข้อมูลจากเวลาการเคลื่อนที่ไปและกลับของสัญญาณพัลส์ ผลที่ได้จะออกมาในรูปของการลดทอนสัญญาณตามความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง

2.3 การออกแบบติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดแขวน

เมื่อทำการแขวนสายเคเบิลบนเสาไฟฟ้า น้ำหนัก และความยาวของสายเคเบิลจะทำให้สายเคเบิลโค้งงอ และมีลักษณะโค้ง หรือ เรียกว่า การตกท้องช้าง (Catenary) ซึ่งรูปแบบของความโค้งนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ และ ระยะเวลาในการใช้งาน เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการใช้งานสายเคเบิลใยแก้วนำแสง เราจำเป็นต้องทราบสมบัติเฉพาะต่างๆ เหล่านี้ก่อนทำการออกแบบสายเคเบิล และ ต้องทำการทดสอบก่อนการใช้งานจริง [4]

พิจารณาการแขวนสายเคเบิลดังรูป



รูปที่ 2.14 รูปแบบของความโค้งของสายเคเบิลชนิดแขวน

เมื่อสายเคเบิลถูกติดตั้งอยู่บนเสาไฟฟ้า จะมีช่องว่างระหว่างเสา หรือ ระยะสเปน (span) ดังนั้นในการติดตั้งสายเคเบิลนั้นต้องพิจารณารูปแบบของความโค้งของสายเคเบิล เนื่องจากระยะสเปน ซึ่งต้องพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแรงทางฟิสิกส์ ในการออกแบบติดตั้งสายเคเบิลดังแสดงในรูปที่ 2.14 กำหนดให้ x คือ ครึ่งหนึ่งของการสเปน y คือ ความสูงของสายเคเบิล l คือ ความยาวของสายเคเบิล h คือ เช็กเมนต์ c คือ ระยะระหว่างจุดต่ำสุดของการแขวนสายเคเบิลและพื้นดิน โดยสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$y = c \cosh\left(\frac{x}{c}\right) \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ x คือ ค่าคงที่

เนื่องจาก

$$y = h + c \quad (2.13)$$

เพราะฉะนั้น

$$h + c = c \cosh\left(\frac{x}{c}\right) \quad (2.14)$$

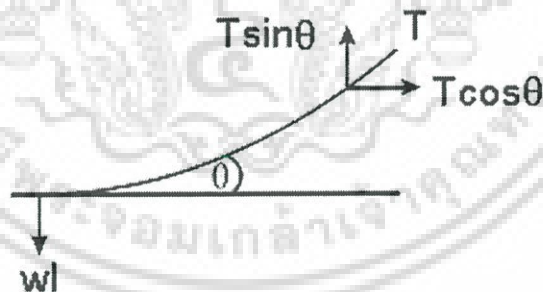
หรือ

$$\frac{h}{c} + 1 = \cosh\left(\frac{x}{c}\right) \quad (2.15)$$

สมการที่ (2.14) คือสมการที่ใช้ในการแก้ปัญหาในทางจำนวนที่สามารถเปลี่ยนค่า x เมื่อเรารู้ค่าตัวแปร c และ h ได้ พิจารณาความตึงที่แขวนดังที่แสดงดังนี้

$$T \sin \theta = wl \quad (2.16)$$

เมื่อ T คือ ความตึงของสายเคเบิล w คือ น้ำหนักต่อความยาวสายเคเบิล และ θ คือ การทำมุมของความตึงสายเคเบิล



รูปที่ 2.15 แสดงแรงตึงของสายเคเบิล

ดังนั้นเราจะได้

$$\sin \theta = \frac{y'}{\sqrt{1 + y'^2}} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น

$$T = wy \quad (2.18)$$

จากจุดต่ำสุดของสายเคเบิลที่แขวนที่มีแรงดึงของสายเคเบิลเป็นไปตามสมการที่ (2.18) จะมีสมการของการลดทอนสัญญาณคือ

$$\begin{aligned} \gamma_{bend} &= 10 \log \frac{\alpha + 2}{(2\alpha)(a/R\Delta)} \\ &= 10 \log \left(\frac{\alpha + 2}{2\alpha} \right) \left(\frac{\Delta}{a} \right) + 10 \log R \end{aligned} \quad (2.19)$$

เมื่อ a คือ แกนรัศมี Δ คือ ดัชนีของมุมเงย R คือ รัศมีความโค้งของสายเคเบิล และ α คือ โพรไฟล์ ของดัชนีหักเห

จากสมการที่ (2.19) เมื่อ $\kappa(t)$ คือ ค่าความโค้ง และ $\rho(t)$ คือ รัศมีของความโค้งของการแขวนสายเคเบิล ตามลำดับ เราสามารถแสดงสมการความโค้งได้คือ

$$\begin{aligned} \kappa(t) &= \frac{\|\vec{T}(t)\|}{\|\vec{r}(t)\|} \\ &= \frac{1}{c} \operatorname{sech}^2 \left(\frac{t}{c} \right) \end{aligned} \quad (2.20)$$

และมีรัศมีของความโค้งของสายเคเบิล คือ

$$\begin{aligned} \rho(t) &= \frac{1}{\kappa(t)} \\ &= c \cosh^2 \left(\frac{t}{c} \right) \end{aligned} \quad (2.21)$$

เมื่อ t เป็นตัวแปรของการแปลงระบบพิกัด

ซึ่ง $\cosh^2 \left(\frac{t}{c} \right) = 1$ เมื่อ $t = 0$ ดังนั้น $\rho(t) = c$.

จากสมการที่ (2.19) พิจารณาการลดทอนสัญญาณจากการแขวนสายเคเบิล เมื่อแทนค่า $\rho(t)$ เท่ากับ รัศมีความโค้ง R จะได้

$$\gamma_{bend} = 10 \log \left(\frac{\alpha + 2}{2\alpha} \right) \left(\frac{\Delta}{a} \right) + 10 \log c \quad (2.22)$$

โดยการลดทอนสัญญาณจากการโค้งของสายเคเบิลในเทอมของ a, α, Δ จะได้ดังความสัมพันธ์คือ

$$Loss = 10 \log c \quad (2.23)$$

ซึ่งความยาวของสายเคเบิลสามารถแสดงได้ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} l &= 2 \int_0^x \sqrt{1 + y'^2} dx \\ &= 2c \sinh \left(\frac{x}{c} \right) \end{aligned} \quad (2.24)$$

2.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

ในการทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงนี้ได้กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาขึ้น โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

2.4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

ประกอบด้วย

1. ใช้สายเคเบิลใยแก้วนำแสง 2 ชนิด คือ
 - (ก) สายเคเบิลแบบ ADSS และ
 - (ข) สายเคเบิลแบบ Figure-8
2. กำหนดให้มี ระยะสเปน(2x) 2 ค่า คือ 184.00 เมตร และ 92.00 เมตร
3. กำหนดให้มี ระยะแซก(h) ทั้งหมด 12 ค่า แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเสา และ ความยาวของสายเคเบิล (l) ด้วย

2.4.2 พารามิเตอร์ในการวัดการลดทอนสัญญาณ

ประกอบด้วย

1. ใช้เทคนิค OTDR ในการวัดการลดทอนสัญญาณ และใช้ความยาวคลื่น 2 ค่า คือ 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร
2. กำหนดเวลาของการวัดการลดทอนสัญญาณระหว่างวัน ดังนี้

เช้า	ระหว่างเวลา	5 :30 น. - 7:30 น.
กลางวัน	ระหว่างเวลา	11 :30 น. - 13:30 น.
เย็น	ระหว่างเวลา	17 :30 น. - 19:30 น. และ
กลางคืน	ระหว่างเวลา	23 :30 น. - 1:30 น.

โดยวัดอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมก่อน และ หลังการวัดสัญญาณ
3. อายุการใช้งานของสายเคเบิล โดยทำการวัดสัญญาณซ้ำทุก 1 สัปดาห์เป็นเวลา 12 สัปดาห์

2.5 การติดตั้งและการทดสอบ

การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแสงชนิดแกนนั้นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงนอกจากจะต้องติดตั้งให้ปราศจากผลกระทบต่างๆจากสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเสาสำหรับแขวนสายเคเบิล การประหยัดสายเคเบิล เพื่อให้มีการลดทอนสัญญาณต่ำอีกด้วย ซึ่งถ้านำเสาไฟฟ้าที่มีอยู่แล้วทั่วไปมาใช้สำหรับติดตั้งสายเคเบิลก็จะเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่แล้วให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเมื่อทราบระยะห่างระหว่างเสา ซึ่งกำหนดอยู่แล้วจากการแขวนสายไฟฟ้าทั่วไป และ ทราบระยะแทรกของการแขวนสายเคเบิลที่เหมาะสม หรือทราบอัตราส่วนระหว่างระยะแทรกต่อระยะสเปน ก็จะสามารถคำนวณหาค่าความยาวของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงได้จากสมการพาราโบลา คือ

$$l = 2x + \frac{8h^2}{6x} \quad (2.25)$$

โดย l คือ ความยาวของสายเคเบิล
 x คือ ครึ่งหนึ่งของระยะสเปน
 h คือ ระยะแทรก

เมื่อแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสงบนเสาไฟฟ้านั้น สายเคเบิลจะได้รับแรงดึงเนื่องจากน้ำหนักของตัวเองทำให้เกิดความโค้ง และ มีการลดทอนสัญญาณเนื่องจากความโค้งดังกล่าว ตามสมการที่ (2.19) และ พบว่ารัศมีความโค้งของการแขวนสายเคเบิลแปรผันตรงกับการลดทอนสัญญาณ

สมมติฐานของการทดสอบการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง จากข้างต้นการทดสอบนี้ได้ตั้งอยู่บนสมมติฐานดังนี้ คือ

1. ระยะแทรกของการแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสงมีผลต่อการลดทอนสัญญาณโดยระยะแทรกมากจะมีรัศมีความโค้งน้อย ซึ่งจะทำให้การลดทอนสัญญาณเนื่องจากความโค้งของสายเบิลน้อย
2. ระยะสเปนของการแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสงมีผลต่อการลดทอนสัญญาณโดยระยะสเปนยาวทำให้น้ำหนักของสายเคเบิลมาก ทำให้รัศมีความโค้ง และ แรงดึงมากซึ่งจะทำให้การลดทอนสัญญาณเนื่องจากความโค้งของสายเคเบิลมาก
3. เมื่อแขวนสายเคเบิลด้วยระยะเวลาาน แรงดึงที่กระทำต่อสายเคเบิลจะส่งผลให้การลดทอนสัญญาณเพิ่มขึ้นเนื่องจากการยืดตัวของสายเคเบิล

ซึ่งการทดสอบนี้อยู่บนพื้นฐานของการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60794-1-2 Basic Optical Cable Test Procedures [7] ซึ่งจะได้ทำการทดสอบเพื่อหาระยะแทรกที่เหมาะสมในบทต่อไป



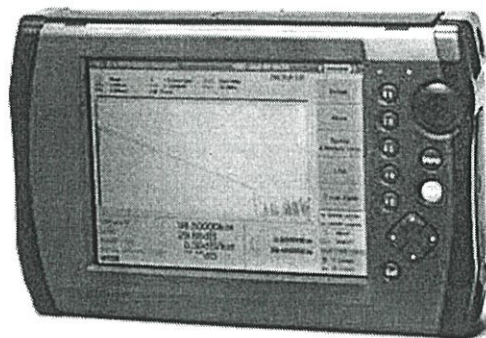
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือ

รายการ	จำนวน
3.1.1 เครื่องวัดสัญญาณแสง OTDR	1 เครื่อง
3.1.2 สายเคเบิลแบบ ADSS (All Dielectric Self Support)ความยาว	6 กิโลเมตร
3.1.3 สายเคเบิลแบบ Figure-8 (Figure 8 Cable) ความยาว	6 กิโลเมตร
3.1.4 เสาคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสง	3 ต้น
3.1.5 เทอร์โมมิเตอร์ อ่านค่าได้ 0 ถึง 50 °C	1 อัน
3.1.6 อุปกรณ์ และ เครื่องมือวัดการลดทอนสัญญาณ ประกอบด้วย	
- คีมปอกเส้นใยแก้วนำแสง	1 อัน
- ที่ตัดเส้นใยแก้วนำแสง	1 อัน
- ชุดเชื่อมต่อเชิงกล	1 ชุด
3.1.1 เครื่องวัดสัญญาณแสง OTDR	
เครื่อง OTDR Anritsu MW 9076C	
- สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดียว (SM Single Mode)	
- เลือกความยาวคลื่นได้ 3 ค่า คือ	1310 nm, 1550 nm และ 1625 nm
- ไดนามิกเรนจ์ (Dynamic range)	41.5 dB, 39.5 dB และ 37.0 dB
- ค่าเดดโซน (Fresnel back-scatterde)	1.6 / 8.0 เมตร
การปรับฟังก์ชันสำหรับวัดการลดทอนสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสง	
- ระยะของการวัด(Distance Range)	5 กิโลเมตร
- ความกว้างพัลส์(PW)	100 นาโนวินาที
- ความละเอียดของการวัด(Resolution)	0.20 เมตร
- ระยะเวลาในการวัดสัญญาณ(AVG)	15 วินาที
- โหมดของการวัดสัญญาณ	2PA
- เลือกวัดที่ความยาวคลื่น 2 ค่า คือ	1310 nm และ 1550 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดสัญญาณแสง OTDR

3.1.2 สายเคเบิลแบบ ADSS (All Dielectric Self Support)

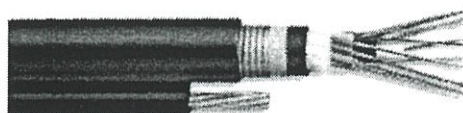
จำนวน 6 เส้น ความยาวเส้นละ 1 กิโลเมตร
 น้ำหนักต่อความยาว 198.80 กิโลกรัม / กิโลเมตร
 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง โหมดเดี่ยว(Single mode)1310/1550 nm
 (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ง)



รูปที่ 3.2 สายเคเบิลแบบ ADSS

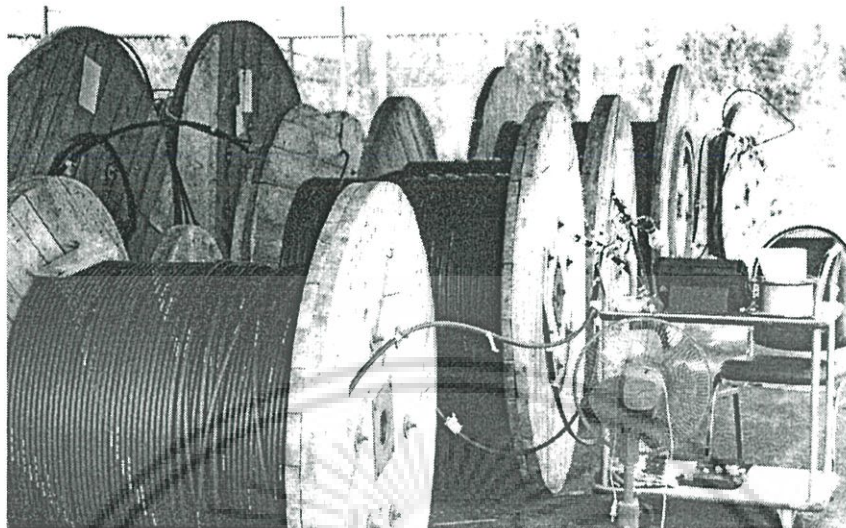
3.1.3 สายเคเบิลแบบ Figure 8 (Figure 8 Cable)

จำนวน 6 เส้น ความยาวเส้นละ 1 กิโลเมตร
 น้ำหนักต่อความยาว 345.86 กิโลกรัม / กิโลเมตร
 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง โหมดเดี่ยว(Single mode)1310/1550 nm
 (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ง)



รูปที่ 3.3 สายเคเบิลแบบ Figure 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 สายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ใช้ในการทดสอบ

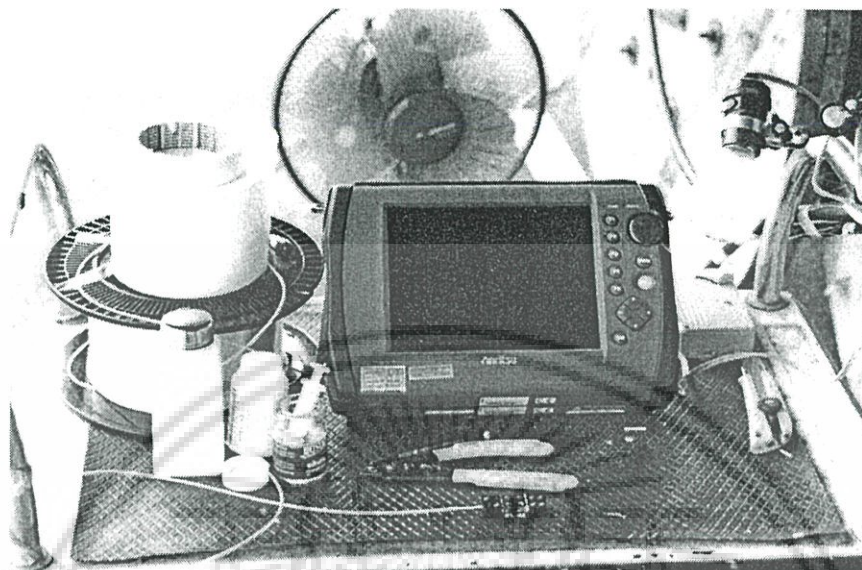
3.1.4 เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

สำหรับแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสง จำนวน 3 ต้น ปักห่างกันต้นละ 92.00 เมตร



รูปที่ 3.5 เสาคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ และ เครื่องมือวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

3.2 การออกแบบการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

ก่อนที่จะทำการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงนั้นจะต้องทำการออกแบบการติดตั้ง และทดสอบการใช้งานเสียก่อนทั้งนี้เพื่อความปลอดภัย และ หลีกเลี่ยงผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างวัน ลมพายุ และ ภัยจากฟ้าผ่า เป็นต้น อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงอายุการใช้งานที่ยาวนาน และ เพื่อความประหยัดอีกด้วย ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดแขวนโดยได้ทำการออกแบบการติดตั้งสายเคเบิลชนิดแขวน 2 ชนิดคือ แบบ ADSS และ Figure-8 โดยให้มีปัจจัยในการติดตั้งที่แตกต่างกัน ได้แก่ ระยะแขก และ ระยะสแปน โดยมีขั้นตอนในการติดตั้งดังนี้

1. เตรียมสายเคเบิลใยแก้วนำแสง 2 แบบ คือ แบบ ADSS และแบบ Figure-8 จำนวนแบบละ 6 เส้น ความยาวเส้นละ 1 กิโลเมตร

2. เตรียมเสาไฟฟ้าสำหรับแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยใช้เสาทั้งหมด 3 ต้น แต่ละต้นมีระยะห่าง 92.00 เมตร ซึ่งจะได้ระยะสแปน 2 ค่าคือ 92.00 เมตร และ 184.00 เมตรตามลำดับ

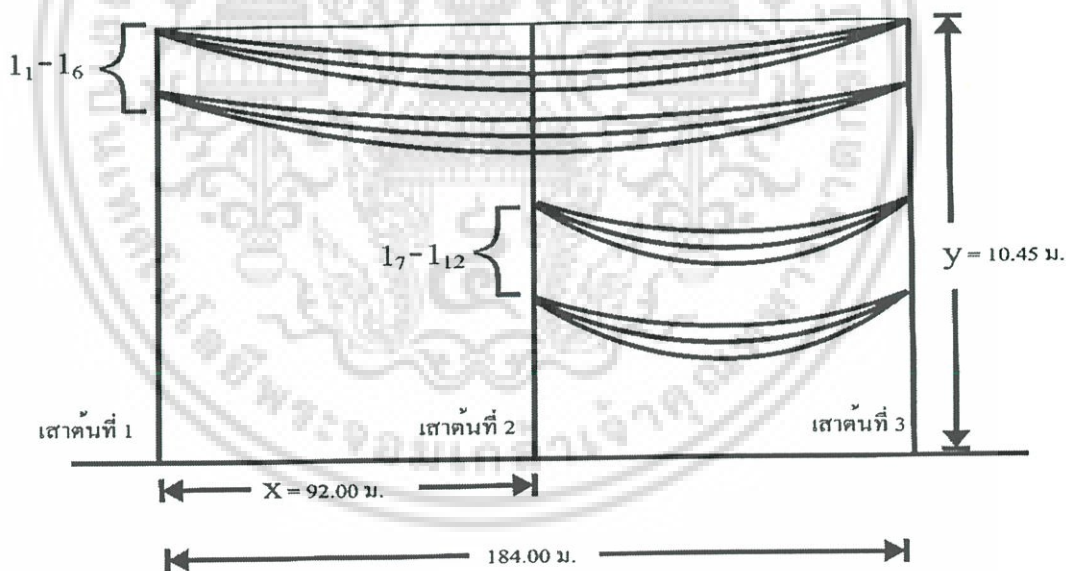
3. แขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสงโดยเริ่มแขวนสายเคเบิลแบบ ADSS จำนวน 3 เส้นที่ระยะสแปน 184.00 เมตร ให้มีระยะแขกต่างกัน 3 ค่า โดยให้เส้นบนสุดมีระยะแขกน้อยที่สุด และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดความยาวของสายเคเบิล(l)โดยอ่านที่ ซีตบอกระยะบนสายเคเบิล(Marker) ที่ปลายทั้ง 2 ข้าง กำหนดให้มีค่าเท่ากับ l_1 แล้วจึงแขวนสายเคเบิลชนิดเดียวกันเส้นถัดไปให้มีระยะแทรกเพิ่มขึ้น แล้วจึงวัดความยาวของสายเคเบิล และ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ l_2 และ l_3 ตามลำดับ

4. แขวนสายเคเบิลด้วยวิธีเช่นเดียวกับข้อ 3. ที่ระยะสเปนเดิม แต่เปลี่ยนเป็นสายเคเบิลแบบ Figure-8 แทน จากนั้นจึงวัดความยาวของสายเคเบิล และกำหนดให้มีค่าเท่ากับ l_4, l_5 และ l_6 ตามลำดับ

5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3. และ ข้อ 4. แต่เปลี่ยนระยะสเปนเป็น 92.00 เมตร โดยเริ่มแขวนสายเคเบิลแบบ ADSS เช่นเดิม จากนั้นจึงตามด้วยสายเคเบิลแบบ Figure-8 จำนวนแบบละ 3 เส้น โดยให้มีระยะแทรกจากน้อยไปมาก ทำการวัดความยาวของสายเคเบิล และ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ l_7, l_8, l_9 สำหรับสายเคเบิลแบบ ADSS และ l_{10}, l_{11}, l_{12} สำหรับสายเคเบิลแบบ Figure-8 ตามลำดับ

6. เมื่อแขวนสายเคเบิลทั้ง 12 เส้น แล้วจึงทำการวัดระยะแทรกและปัจจัยของการแขวนสายเคเบิลทุกเส้น บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.7 การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

สมบัติการส่งสัญญาณแสงในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงอาจเปลี่ยนแปลงไปได้ เมื่อสายเคเบิลใยแก้วนำแสงได้รับผลกระทบเนื่องจากปัจจัยภายนอก เช่น แรงดึงระหว่างการติดตั้ง อุณหภูมิที่เปลี่ยนไประหว่างวัน และ ระยะเวลาในการใช้งาน เป็นต้น ดังนั้นการที่เราทราบถึงปัจจัยที่เป็นผลกระทบต่างๆก่อนที่จะทำการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงจึงเป็นการช่วยให้เราสามารถหาวิธีป้องกัน และ หลีกเลี่ยงจากผลกระทบต่างๆเหล่านี้ได้

หลังจากทำการผลิตสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเรียบร้อยแล้ว ก่อนการติดตั้งสายเคเบิลบนเสาไฟฟ้าได้ทำการวัดการลดทอนสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสงทุกเส้นในสายเคเบิลแต่ละเส้นด้วยเครื่อง OTDR ที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร

และเมื่อติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงดังข้อ 3.2 เรียบร้อยแล้วจึงทำการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงทุกเส้นอีกครั้ง โดยสุ่มเลือก(Random) เส้นใยแก้วนำแสง (Fiber optic core) ในสายเคเบิลแต่ละเส้นออกมา 2 เส้น จากนั้นจึงใช้เครื่อง OTDR วัดการลดทอนสัญญาณที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร ณ เวลาต่างๆระหว่างวัน ดังนี้

1 เช้า	5: 30 – 7:30 น.
2 กลางวัน	11: 30 – 13:30 น.
3 เย็น	17: 30 – 19:30 น.
4 กลางคืน	23: 30 – 1:30 น.

และบันทึกอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมก่อน และ หลัง การทดลองด้วย จากนั้นจึงทำการทดลองซ้ำทุกๆสัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ บันทึกผลการทดลอง

หลังเก็บข้อมูลครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย โดยนำค่าการลดทอนสัญญาณที่วัดได้ตลอดทั้งวันในสัปดาห์นั้นมาหาค่าเฉลี่ยของการลดทอนสัญญาณแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างการลดทอนสัญญาณเฉลี่ยกับอายุการใช้งาน(สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแต่ละเส้น และเพื่อพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมต่อการลดทอนสัญญาณจึงนำค่าอุณหภูมิก่อนวัดการลดทอนสัญญาณ และ หลังวัดการลดทอนสัญญาณมาหาค่าเฉลี่ย แล้วนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแต่ละเส้นกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมต่อไป

บทที่ 4

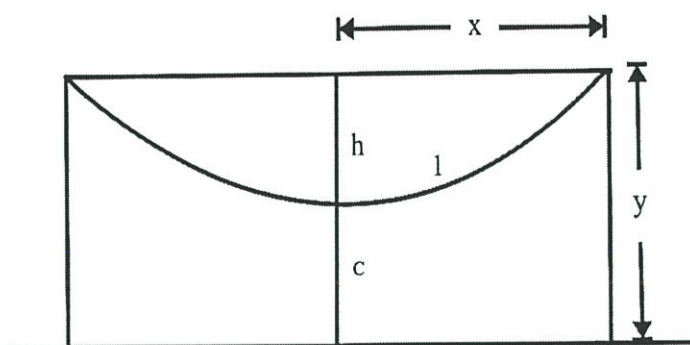
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

ได้ทำการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสง 2 แบบ คือ แบบ ADSS และ แบบ Figure-8 ทั้งหมดจำนวน 12 เส้น บนเสาไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.1- 4.3 โดยให้มีระยะแทรก และ ระยะสเปนแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.1

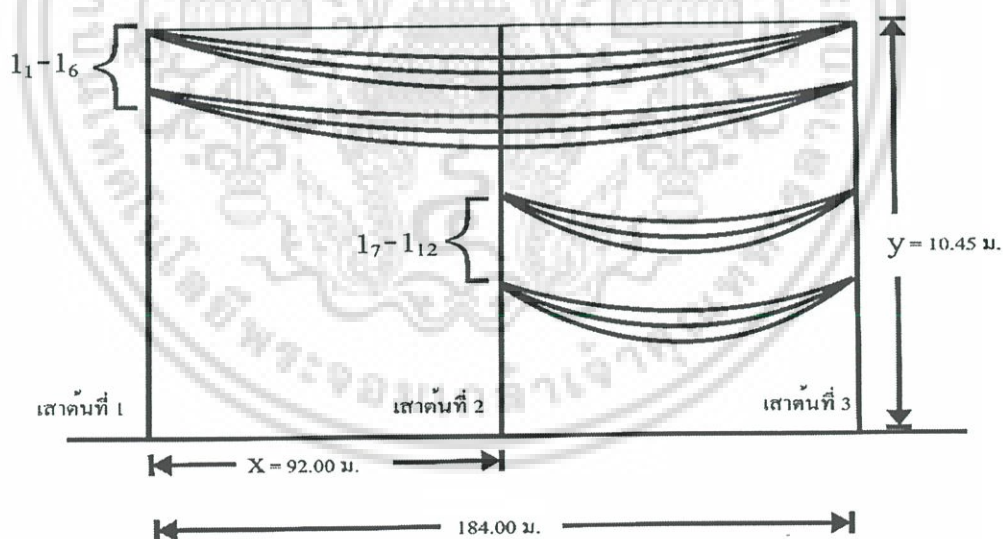
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสเปน และ แหก ของการแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

ลำดับ ที่	ระยะบนสายเคเบิล		ความยาว (l) (เมตร)	ครึ่งสเปน (x) (เมตร)	ความสูงเสา (y) (เมตร)	ระยะแทรก (h) (เมตร)	ระยะ (c) (เมตร)	ชนิดของ สาย เคเบิล
	เริ่มต้น	สิ้นสุด						
l_1	1018.00	834.00	184.00	92.00	10.45	3.30	7.15	ADSS
l_2	1017.00	832.00	185.00	92.00	10.45	4.40	6.05	ADSS
l_3	1023.00	837.00	186.00	92.00	10.45	4.95	5.50	ADSS
l_4	1015.00	830.00	185.00	92.00	8.75	5.55	3.20	Figure-8
l_5	1034.00	848.00	186.00	92.00	8.75	6.65	2.10	Figure-8
l_6	1011.00	824.00	187.00	92.00	8.75	7.45	1.30	Figure-8
l_7	1034.00	942.00	92.00	46.00	6.95	3.05	3.90	ADSS
l_8	1024.00	931.50	92.50	46.00	6.95	3.35	3.60	ADSS
l_9	1044.00	951.00	93.00	46.00	6.95	4.35	2.60	ADSS
l_{10}	1033.00	940.00	93.00	46.00	5.30	2.70	2.60	Figure-8
l_{11}	1001.00	907.50	93.50	46.00	5.30	3.10	2.20	Figure-8
l_{12}	1002.00	908.00	94.00	46.00	5.30	3.30	2.00	Figure-8



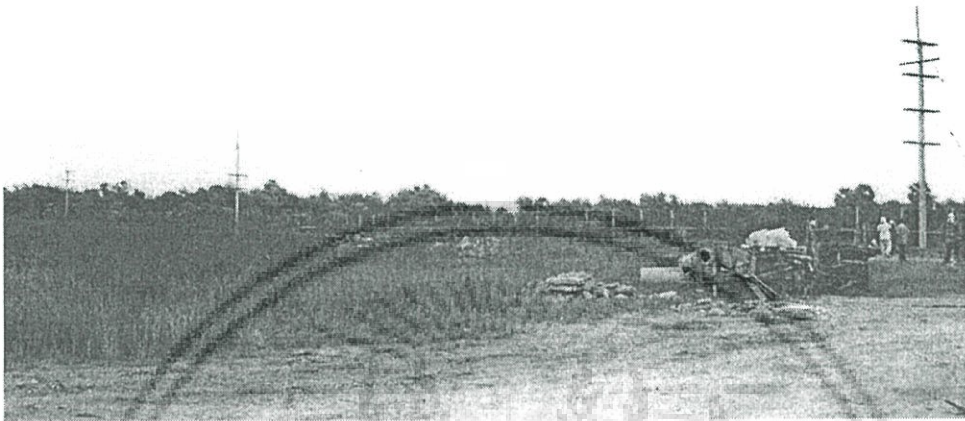
รูปที่ 4.1 ปัจจัยต่างๆของการแขวนสายเคเบิลโยแคว่นำแสง

- กำหนดให้
- x คือ ครึ่งหนึ่งของระยะสเปน
 - y คือ ความสูงของสายเคเบิล
 - l คือ ความยาวของสายเคเบิล
 - h คือ ระยะแซก
 - c คือ ระยะระหว่างจุดต่ำสุดของการแขวนสายเคเบิลและพื้นดิน



รูปที่ 4.2 รูปแบบการแขวนสายเคเบิลโยแคว่นำแสงที่ทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

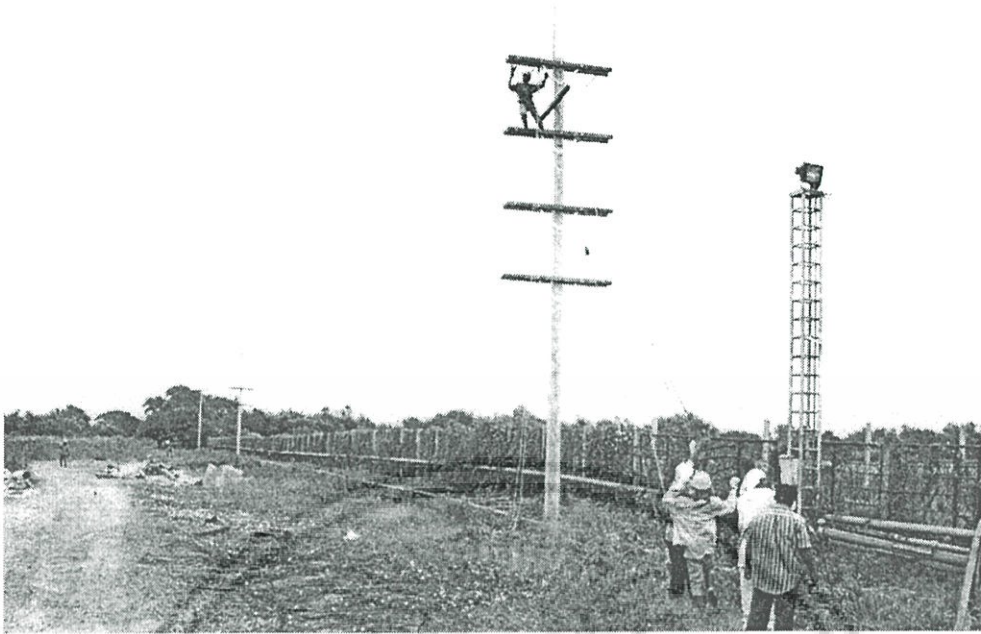


รูปที่ 4.3 (ก) การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงในสถานที่ทดลอง



รูปที่ 4.3 (ข) การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงในสถานที่ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (ค) การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงในสถานที่ทดลอง



รูปที่ 4.3 (ง) การติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงในสถานที่ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเรียบร้อยแล้วได้เปรียบเทียบความยาวของสายเคเบิล (l) จากการคำนวณ ตามสมการที่ (2.25) และ ความยาวของสายเคเบิลที่อ่านจากซีดบอกระบบสายเคเบิล พบว่าค่าที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบความยาวของสายเคเบิลจากการคำนวณ

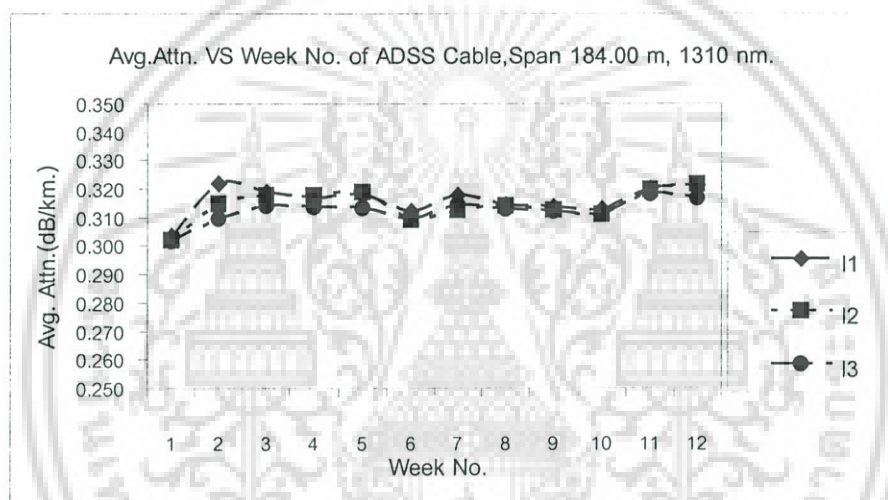
ลำดับที่	ความยาวที่อ่านจากซีดบอกระบบสายเคเบิล (l) (เมตร)	ความยาวที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ (2.25) (เมตร)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)	ชนิดของสายเคเบิล
l ₁	184.00	184.16	0.09	ADSS
l ₂	185.00	184.28	0.39	ADSS
l ₃	186.00	184.36	0.88	ADSS
l ₄	185.00	184.45	0.30	Figure-8
l ₅	186.00	184.64	0.73	Figure-8
l ₆	187.00	184.80	1.17	Figure-8
l ₇	92.00	92.27	0.29	ADSS
l ₈	92.50	92.33	0.19	ADSS
l ₉	93.00	92.55	0.49	ADSS
l ₁₀	93.00	92.21	0.85	Figure-8
l ₁₁	93.50	92.28	1.31	Figure-8
l ₁₂	94.00	92.32	1.79	Figure-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

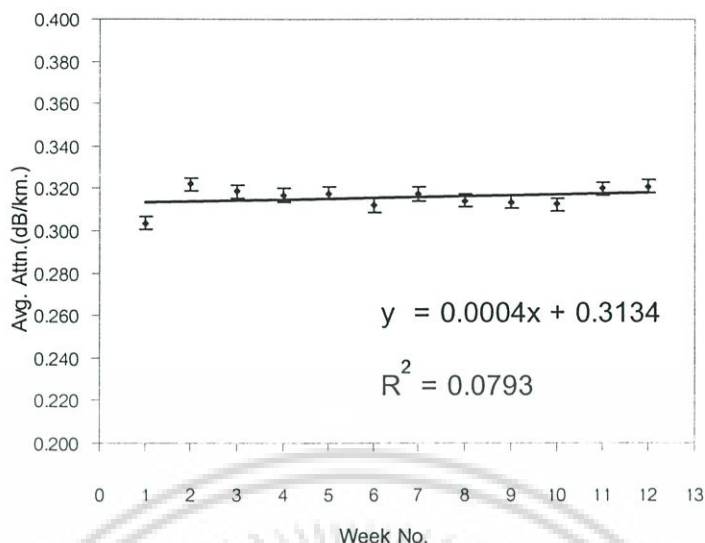
4.2 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง กับ อายุการใช้งาน

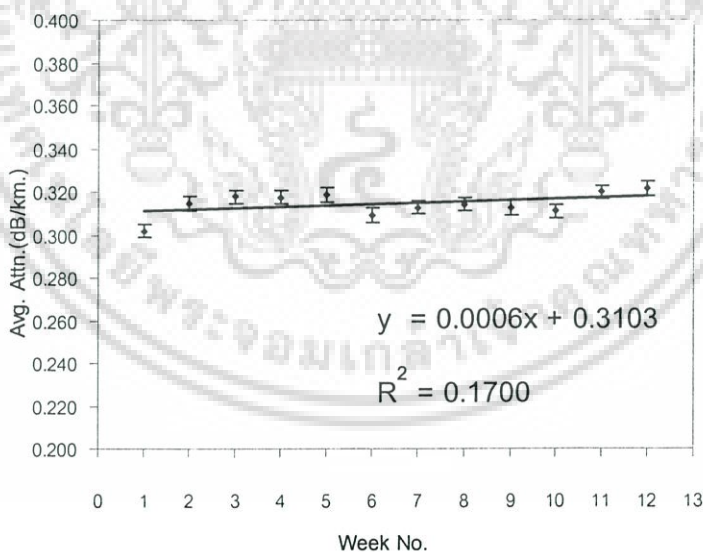
หลังจากทำการทดลองตามที่กำหนดแล้วได้นำข้อมูลทั้งหมดมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงกับอายุการใช้งานดังรูปที่ 4.4 – 4.11 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (MS Excel 97) และใช้การประมาณเส้นแนวโน้มด้วยความสัมพันธ์แบบเส้นตรง กำหนดให้มีค่าแถบความผิดพลาดในแนวแกนตั้ง (แกน Y) เท่ากับ 1 % และค่า R^2 คือ สัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด (R-squared)



รูปที่ 4.4(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I_1 , I_2 และ I_3 ระยะแขง 3.05, 3.35 และ 4.35 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

Avg.Atth. VS Week No. of ADSS Cable (I₁), Span 184.00 m, 1310 nm.

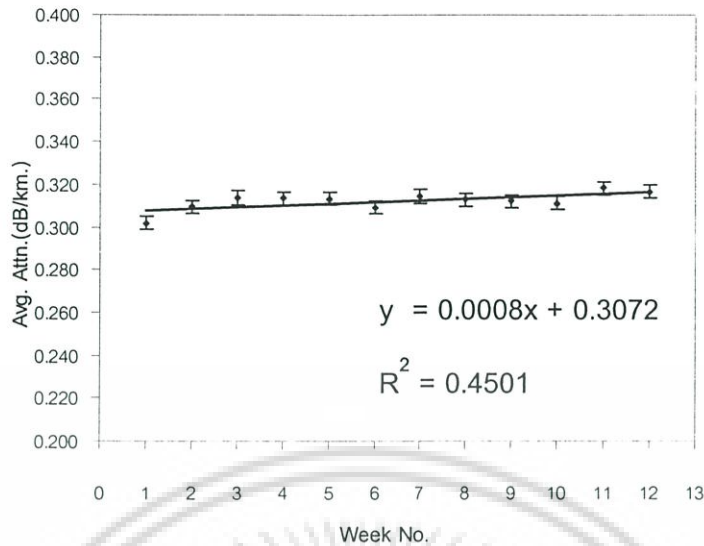
รูปที่ 4.4(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₁ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

Avg.Atth. VS Week No. of ADSS Cable (I₂), Span 184.00 m, 1310 nm.

รูปที่ 4.4(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₂ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Avg.Atth. VS Week No. of ADSS Cable (I3), Span 184.00 m, 1310 nm.



รูปที่ 4.4(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₃ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

สมการที่ (4.1) ถึง (4.3) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบเส้นตรง สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS เส้นที่ I₁, I₂ และ I₃, ระยะสเปก เท่ากับ 3.05, 3.35 และ 4.35 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และระยะสเปน เท่ากับ 184.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดเท่ากับ 0.0793, 0.1700 และ 0.4501 ตามลำดับ

เมื่อ γ_{avg} คือ การลดทอน (dB/km)

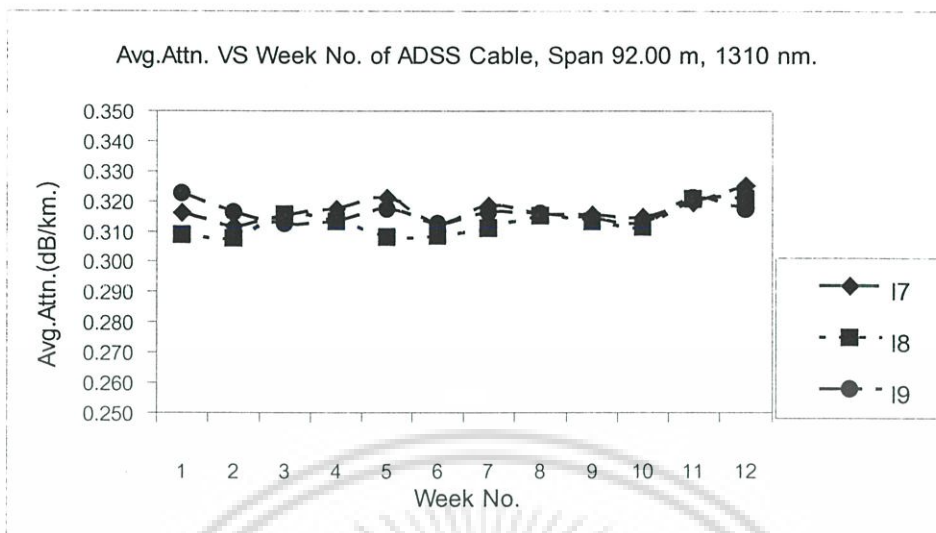
t คือ อายุการใช้งาน (สัปดาห์)

$$\gamma_{1Aavg} = 0.0004t + 0.313 \quad (4.1)$$

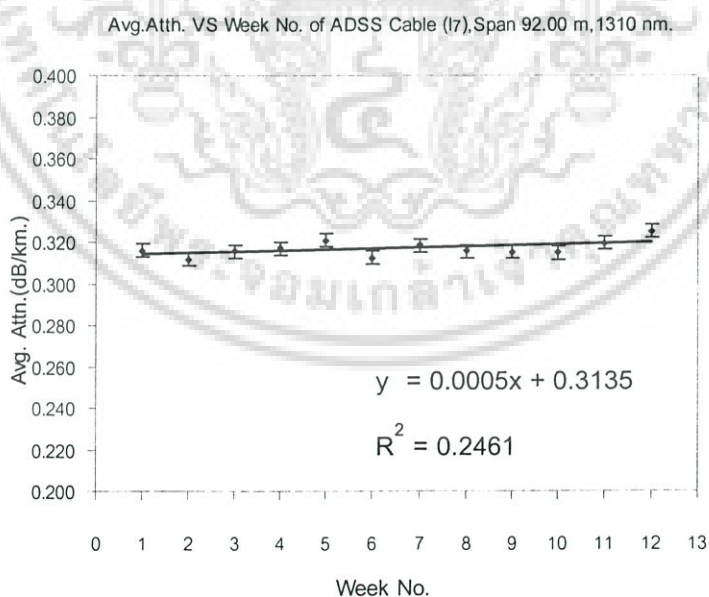
$$\gamma_{2Aavg} = 0.0006t + 0.310 \quad (4.2)$$

$$\gamma_{3Aavg} = 0.0008t + 0.307 \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

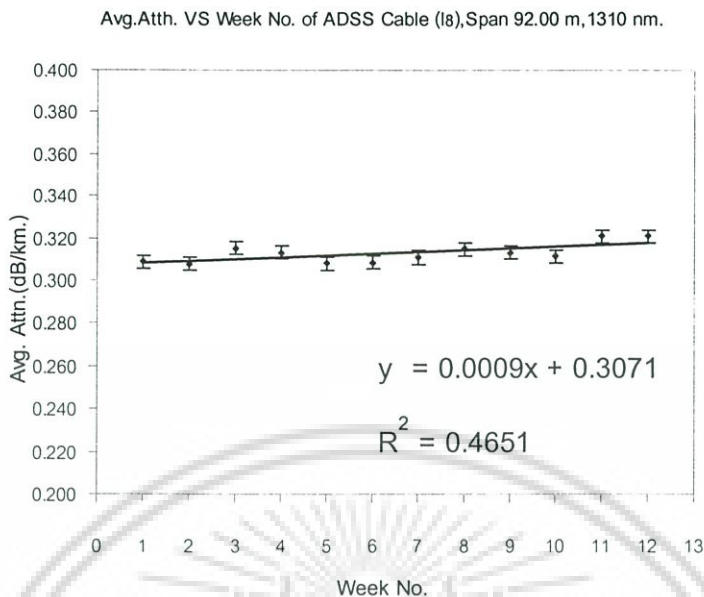


รูปที่ 4.5(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ 17, 18 และ 19 ระยะแขก 3.30, 4.40 และ 4.95 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

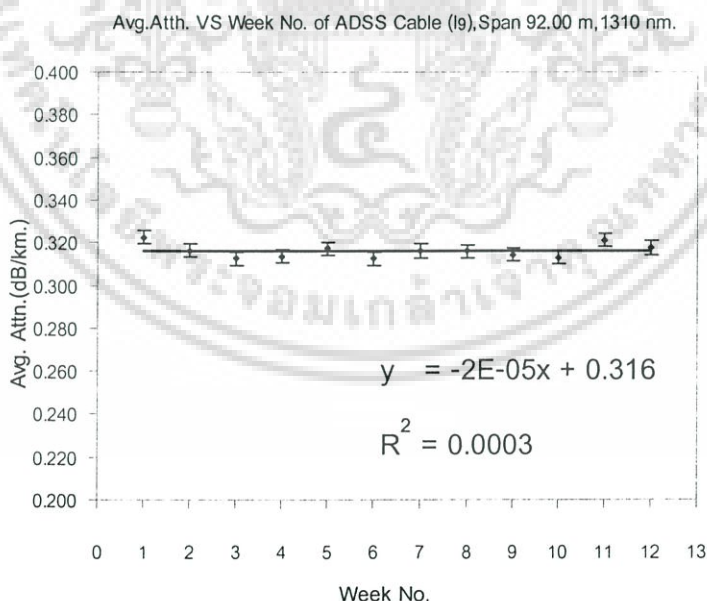


รูปที่ 4.5(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ 17 ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₈ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร



รูปที่ 4.5(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₉ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

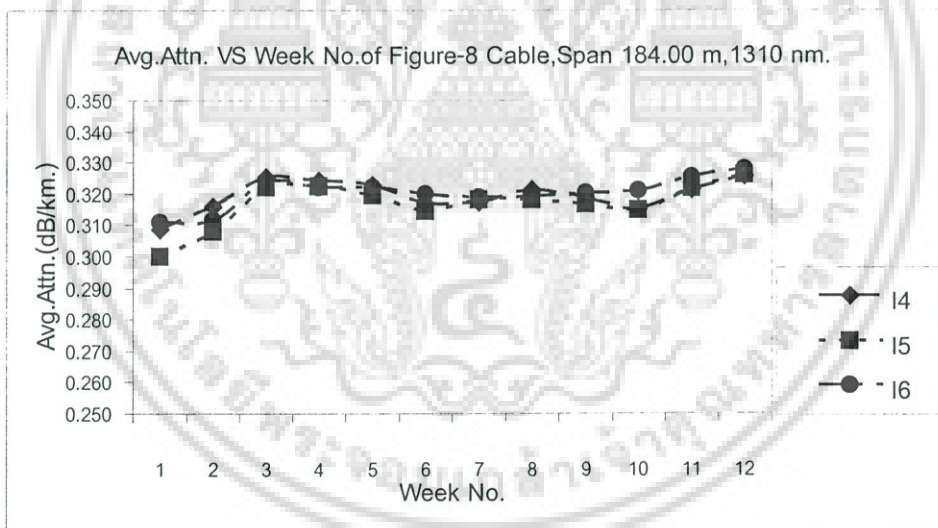
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูทิดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (4.4) ถึง (4.6) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบเส้นตรง สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS เส้นที่ l_7 , l_8 และ l_9 ระยะแขก เท่ากับ 3.30, 4.40 และ 4.95 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ ระยะสเปน เท่ากับ 92.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด เท่ากับ 0.2461, 0.4651 และ 0.0003 ตามลำดับ

$$\gamma_{7Aavg} = 0.0005t + 0.314 \quad (4.4)$$

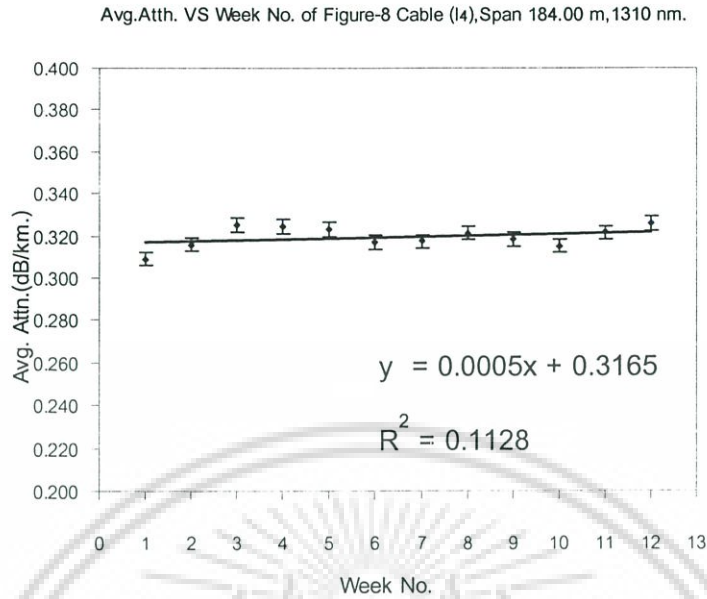
$$\gamma_{8Aavg} = 0.0009t + 0.307 \quad (4.5)$$

$$\gamma_{9Aavg} = -0.00002t + 0.316 \quad (4.6)$$

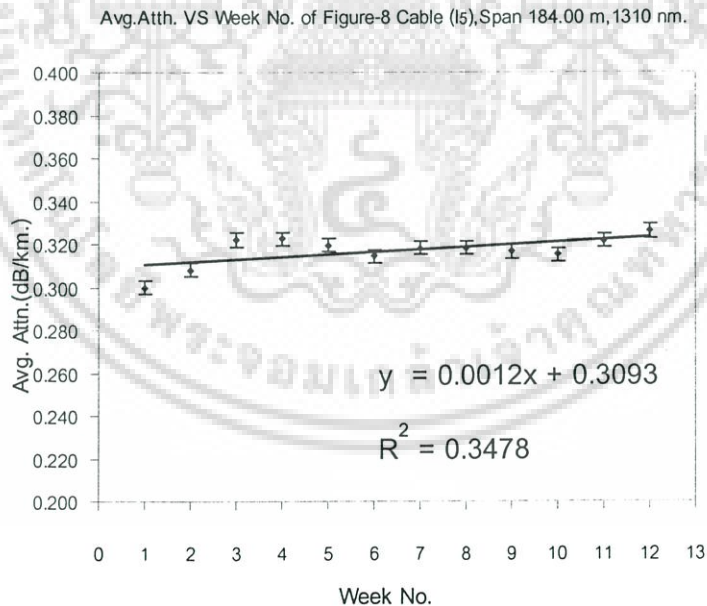


รูปที่ 4.6(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ l_4 , l_5 และ l_6 ระยะแขก 5.55, 6.65 และ 7.45 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

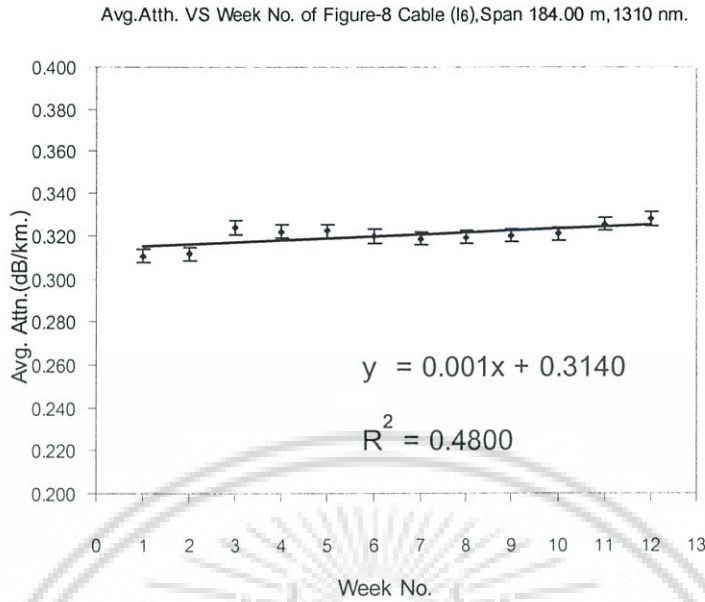


รูปที่ 4.6(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₄ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร



รูปที่ 4.6(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₅ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₆ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

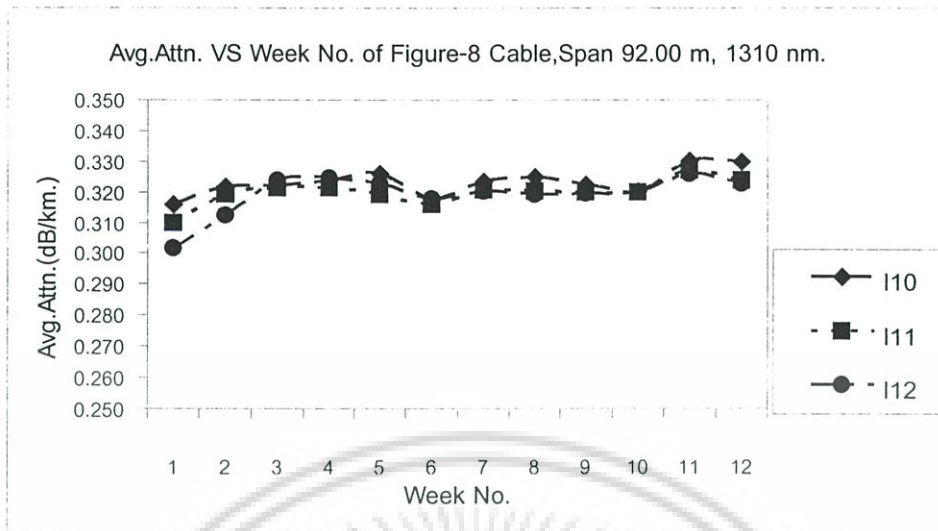
สมการที่ (4.7) ถึง (4.9) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน(สัปดาห์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบเส้นตรง สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 เส้นที่ I₄, I₅ และ I₆ ระยะสเปน เท่ากับ 5.55, 6.65, และ 7.45 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ ระยะสเปน เท่ากับ 184.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด เท่ากับ 0.1128, 0.3478 และ 0.4800 ตามลำดับ

$$\gamma_{4\text{Avg}} = 0.0005t + 0.317 \quad (4.7)$$

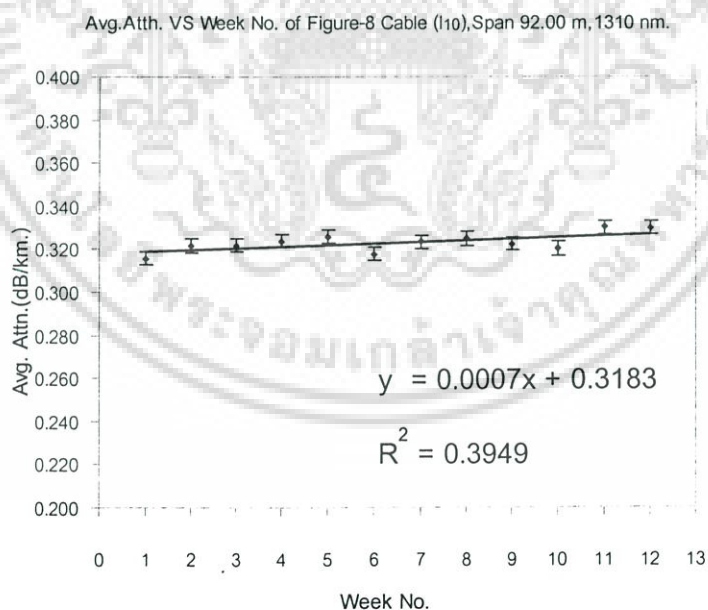
$$\gamma_{5\text{Avg}} = 0.0012t + 0.309 \quad (4.8)$$

$$\gamma_{6\text{Avg}} = 0.0010t + 0.314 \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

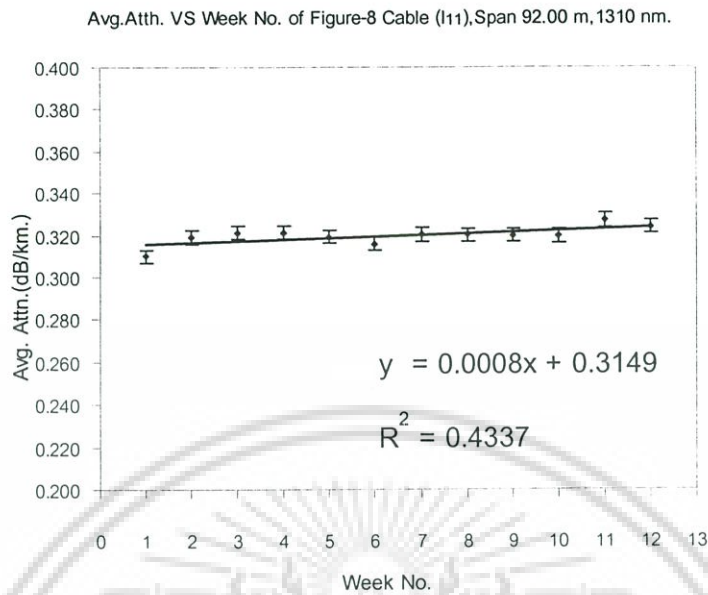


รูปที่ 4.7(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₁₀, I₁₁ และ I₁₂ ระยะสเปก 2.70, 3.10 และ 3.30 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปก 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

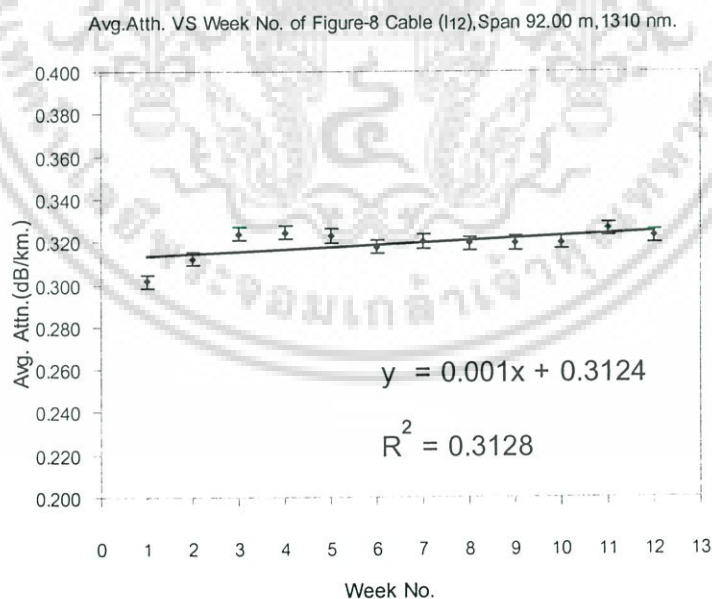


รูปที่ 4.7(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₁₀ ระยะสเปก 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₁₁ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร



รูปที่ 4.7(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₁₂ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

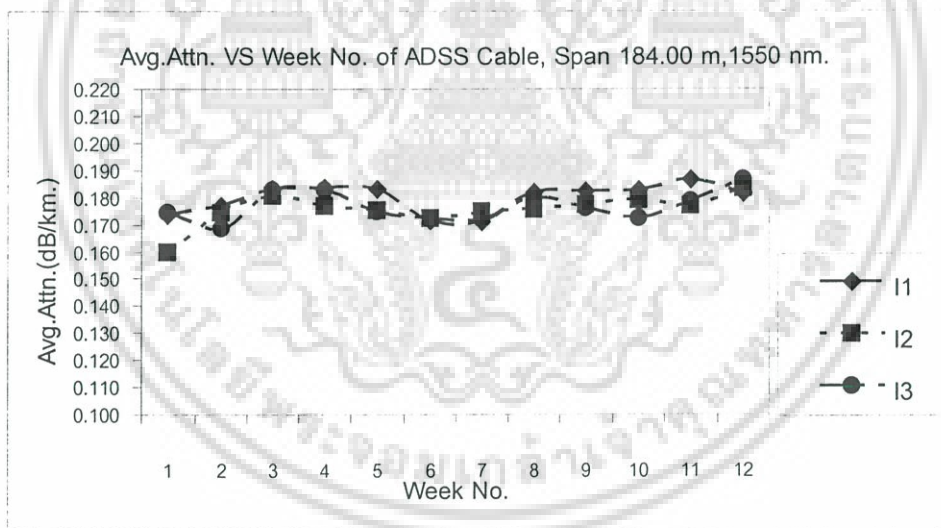
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (4.10) ถึง (4.12) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบเส้นตรง สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 เส้นที่ I_{10} , I_{11} และ I_{12} ระยะแยก เท่ากับ 2.70, 3.10 และ 3.30 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ ระยะสเปกน เท่ากับ 92.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด เท่ากับ 0.3949, 0.4337 และ 0.3128 ตามลำดับ

$$\gamma_{10 \text{ Aavg}} = 0.0007t + 0.318 \quad (4.10)$$

$$\gamma_{11 \text{ Aavg}} = 0.0008t + 0.315 \quad (4.11)$$

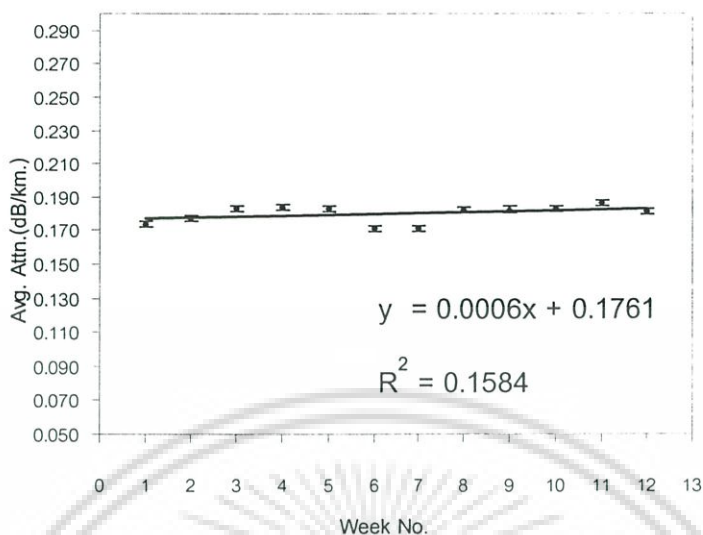
$$\gamma_{12 \text{ Aavg}} = 0.0010t + 0.312 \quad (4.12)$$



รูปที่ 4.8(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I_1 , I_2 และ I_3 ระยะแยก 3.05, 3.35 และ 4.35 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปกน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

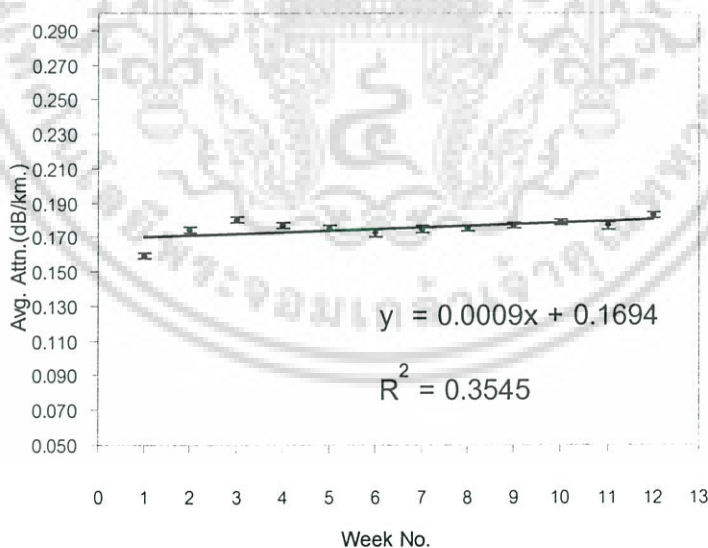
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Avg.Atth. VS Week No. of ADSS Cable (I1), Span 184.00 m, 1550 nm.



รูปที่ 4.8(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ 1, ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

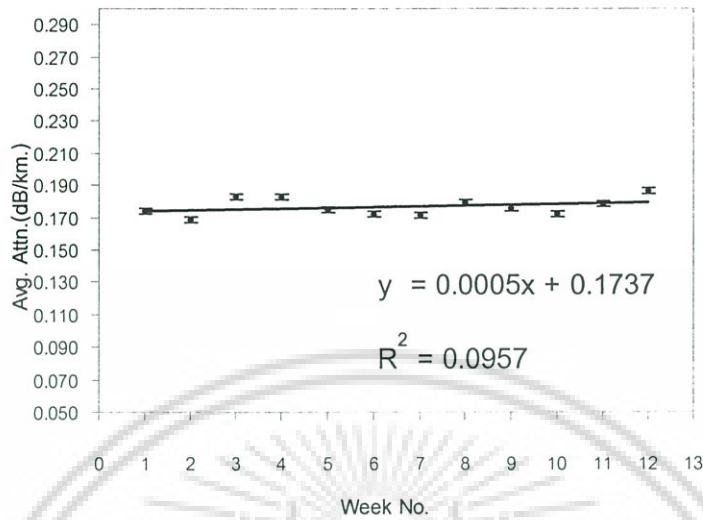
Avg.Atth. VS Week No. of ADSS Cable (I2), Span 184.00 m, 1550 nm.



รูปที่ 4.8(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ 2, ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Avg.Atth. VS Week No. of ADSS Cable (I3), Span 184.00 m, 1550 nm.



รูปที่ 4.8(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₃ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

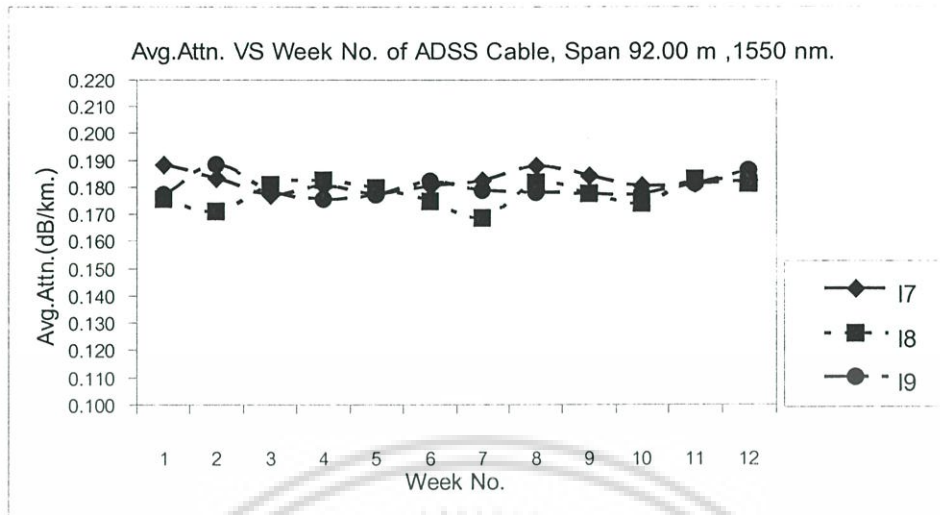
สมการที่ (4.13) ถึง (4.15) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบเส้นตรง สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS เส้นที่ I₁, I₂ และ I₃, ระยะสเปก เท่ากับ 3.05, 3.35 และ 4.35 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร และ ระยะสเปน เท่ากับ 184.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดเท่ากับ 0.1584, 0.3545 และ 0.0957 ตามลำดับ

$$\gamma_{1Bavg} = 0.0006t + 0.176 \quad (4.13)$$

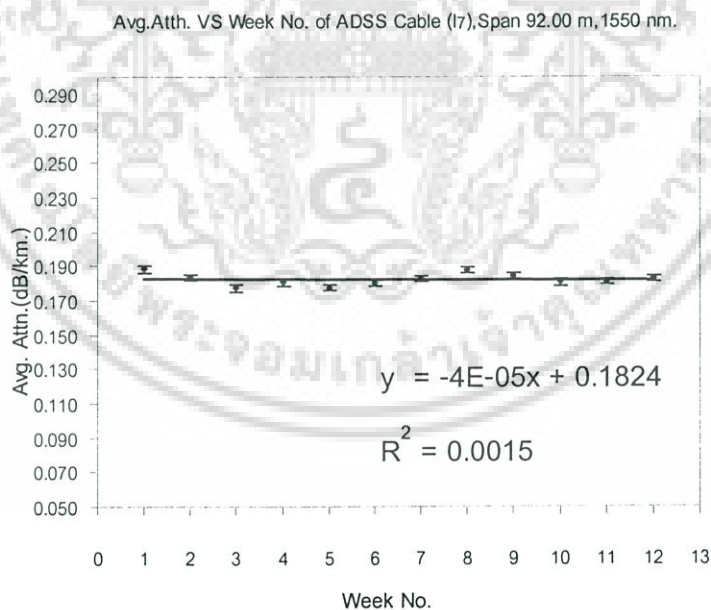
$$\gamma_{2Bavg} = 0.0009t + 0.169 \quad (4.14)$$

$$\gamma_{3Bavg} = 0.0005t + 0.173 \quad (4.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

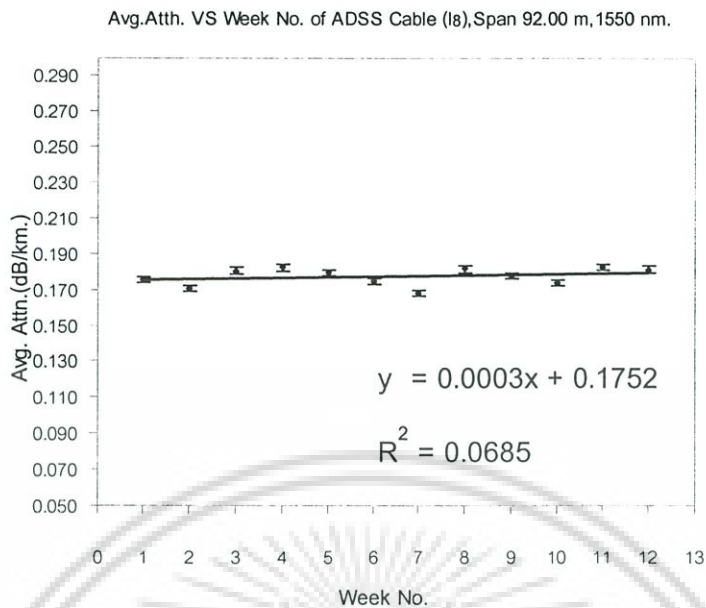


รูปที่ 4.9(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ 17, 18 และ 19 ระยะแขง 3.30, 4.40 และ 4.95 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอน ที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

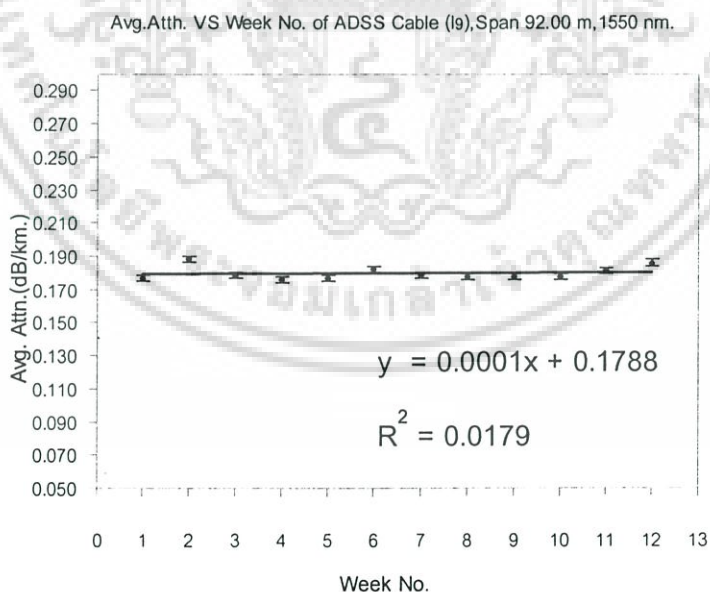


รูปที่ 4.9(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ 17 ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₈ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร



รูปที่ 4.9(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₉ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

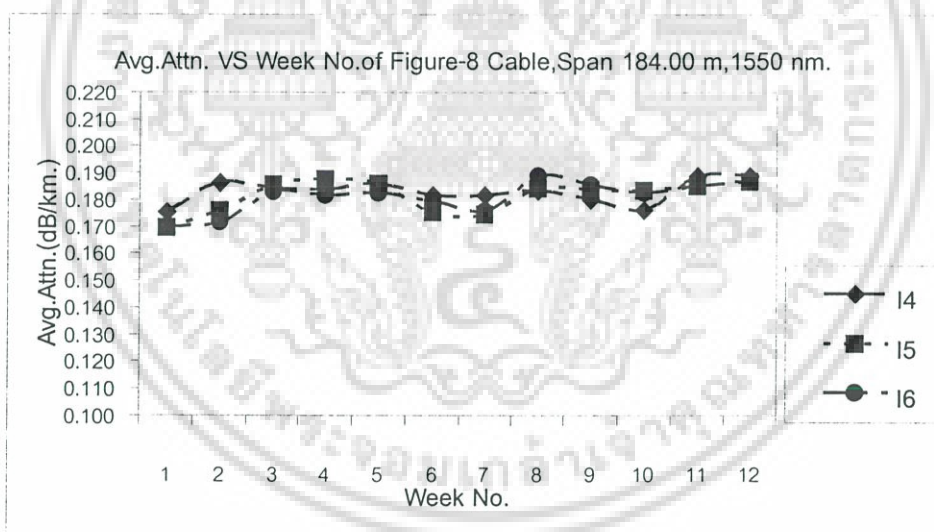
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (4.16) ถึง (4.18) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบเส้นตรง สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS เส้นที่ I_7 , I_8 และ I_9 ระยะแขก เท่ากับ 3.30, 4.40 และ 4.95 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร และ ระยะสเปน เท่ากับ 92.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด เท่ากับ 0.0015, 0.0685 และ 0.0179 ตามลำดับ

$$\gamma_{7 \text{ Bavg}} = -0.00004 t + 0.182 \quad (4.16)$$

$$\gamma_{8 \text{ Bavg}} = 0.0003t + 0.175 \quad (4.17)$$

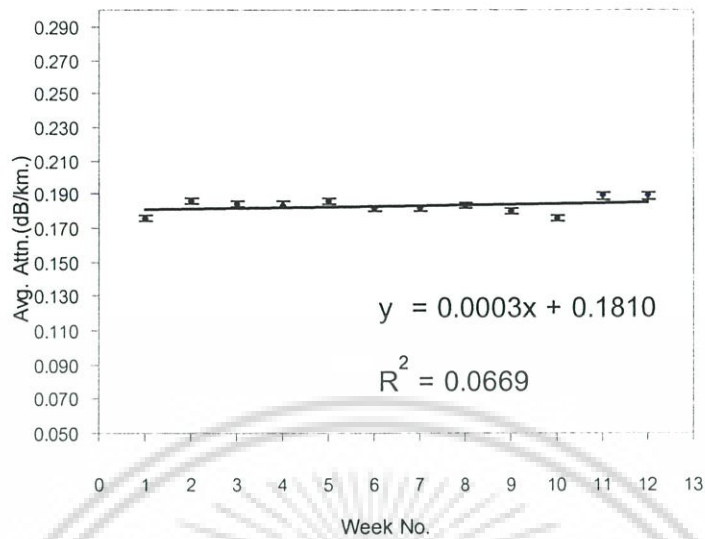
$$\gamma_{9 \text{ Bavg}} = 0.0001t + 0.179 \quad (4.18)$$



รูปที่ 4.10(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I_4 , I_5 และ I_6 ระยะแขก 5.55, 6.65 และ 7.45 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

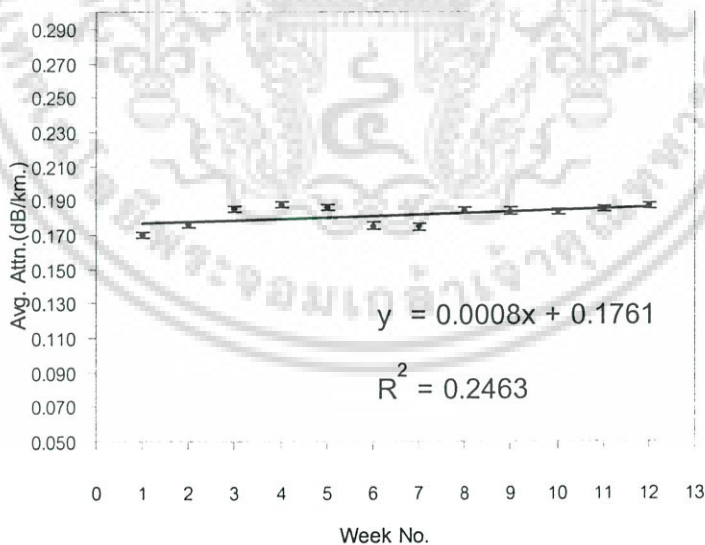
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Avg.Attn. VS Week No. of Figure-8 Cable (I4), Span 184.00 m, 1550 nm.



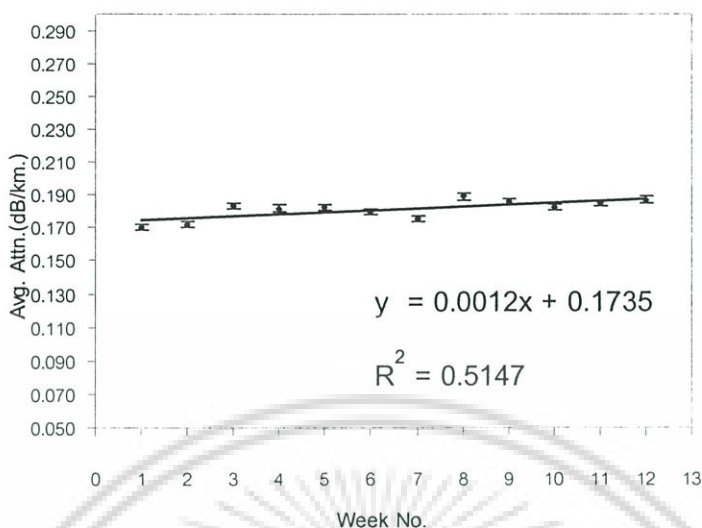
รูปที่ 4.10(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₄ ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

Avg.Attn. VS Week No. of Figure-8 Cable (I5), Span 184.00 m, 1550 nm.



รูปที่ 4.10(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₅ ระยะสเปน 184.00 เมตรวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Avg.Attn. VS Week No. of Figure-8 Cable (I₆), Span 184.00 m, 1550 nm.

รูปที่ 4.10(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₆ ระยะสเปน 184.00 เมตรวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

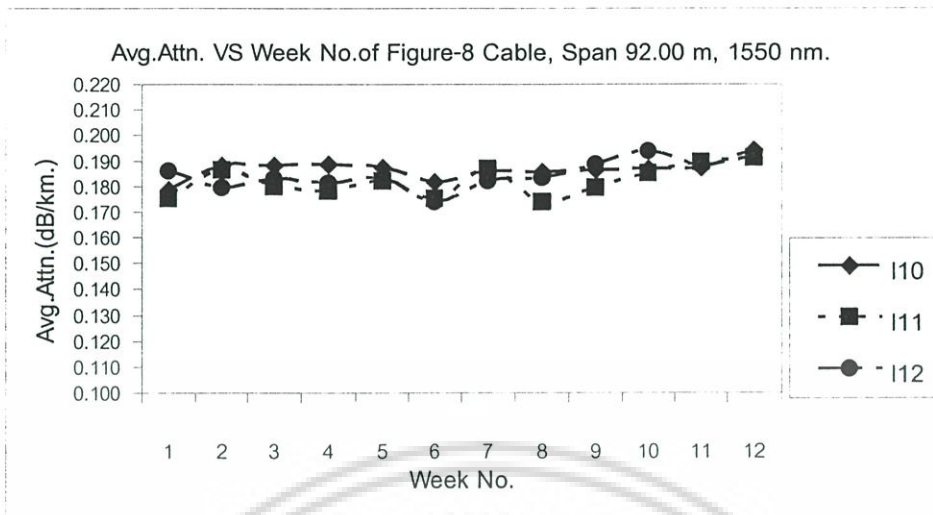
สมการที่ (4.19) ถึง (4.21) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบเส้นตรง สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 เส้นที่ I₄, I₅ และ I₆ ระยะสเปนเท่ากับ 5.55, 6.65, และ 7.45 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร และ ระยะสเปนเท่ากับ 184.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด เท่ากับ 0.0669, 0.2463 และ 0.5147 ตามลำดับ

$$\gamma_{4\text{Bavg}} = 0.0003t + 0.181 \quad (4.19)$$

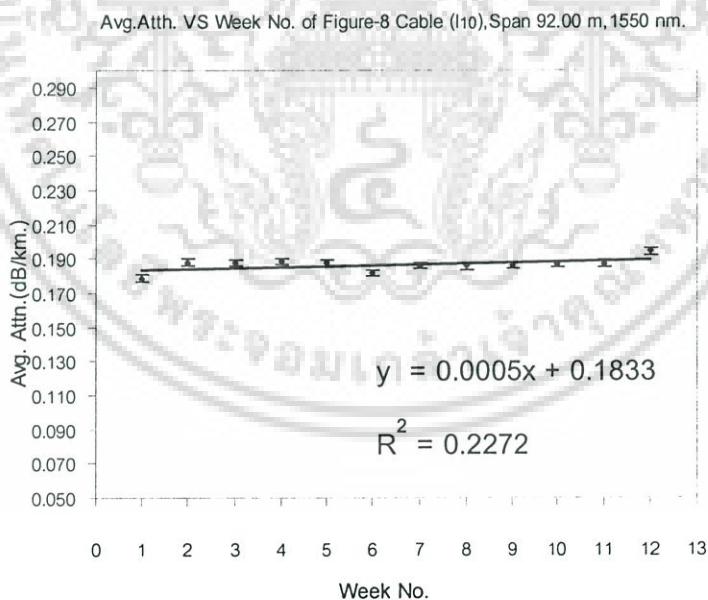
$$\gamma_{5\text{Bavg}} = 0.0008t + 0.176 \quad (4.20)$$

$$\gamma_{6\text{Bavg}} = 0.0012t + 0.173 \quad (4.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



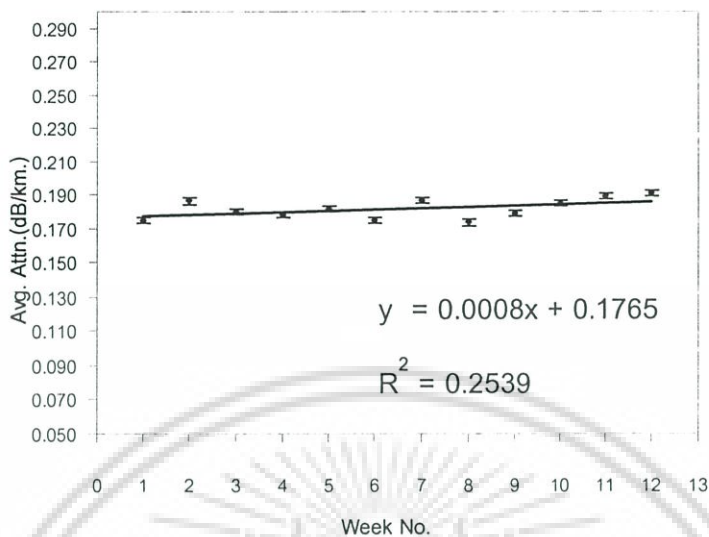
รูปที่ 4.11(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ l₁₀, l₁₁ และ l₁₂ ระยะแซก 2.70, 3.10 และ 3.30 เมตร ตามลำดับ ระยะสแปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร



รูปที่ 4.11(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ l₁₀ ระยะสแปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

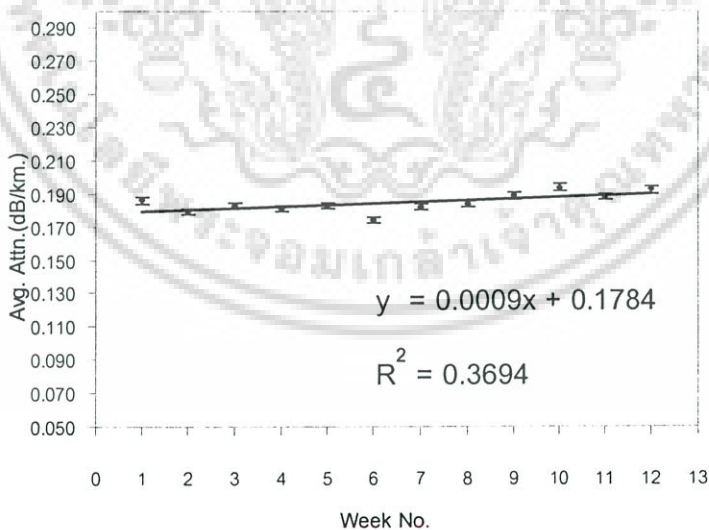
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Avg.Attn. VS Week No. of Figure-8 Cable (I11),Span 92.00 m,1550 nm.



รูปที่ 4.11(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₁₁ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

Avg.Attn. VS Week No. of Figure-8 Cable (I12),Span 92.00 m,1550 nm.



รูปที่ 4.11(ง) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₁₂ ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (4.22) ถึง (4.24) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบเส้นตรง สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 เส้นที่ I_{10} , I_{11} และ I_{12} ระยะแยก เท่ากับ 2.70, 3.10 และ 3.30 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ ระยะสเปกน เท่ากับ 92.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด เท่ากับ 0.2272, 0.2539 และ 0.3694 ตามลำดับ

$$\gamma_{10\text{Bavg}} = 0.0005t + 0.183 \quad (4.22)$$

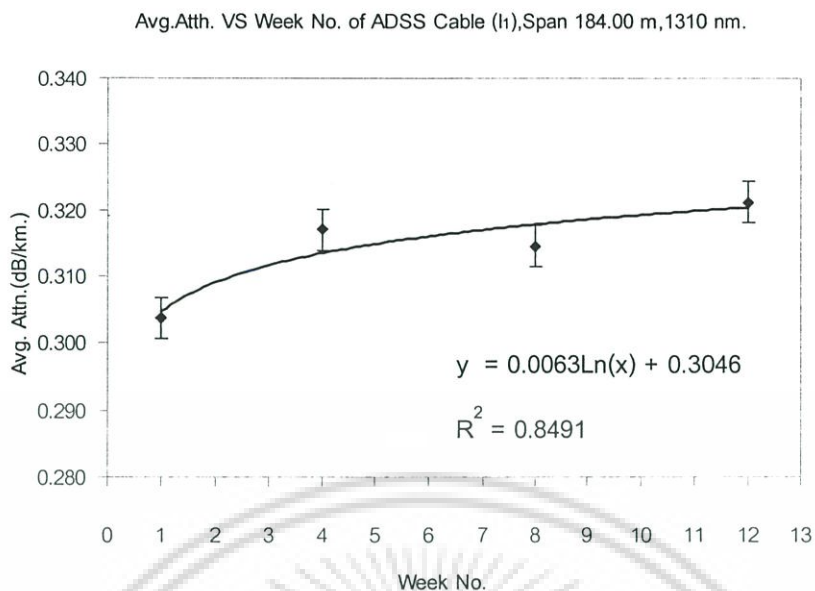
$$\gamma_{11\text{Bavg}} = 0.0008t + 0.177 \quad (4.23)$$

$$\gamma_{12\text{Bavg}} = 0.0009t + 0.178 \quad (4.24)$$

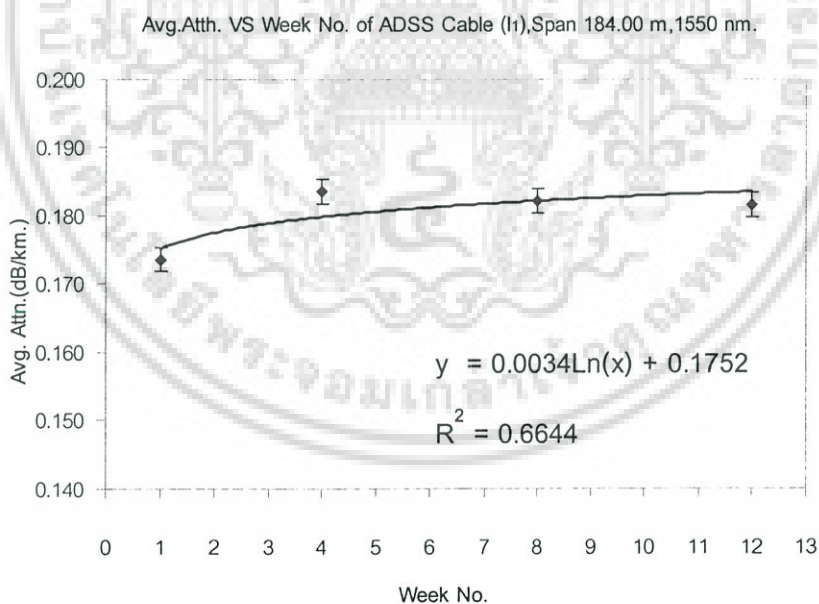
จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.11 พบว่าข้อมูลมีความไม่สม่ำเสมอของเพียงพอที่จะทำนายความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงกับอายุการใช้งาน ด้วยกราฟของความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดต่างจาก 1 มาก เนื่องจากเป็นการเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมของการใช้งานจริง จึงยังไม่เหมาะสมที่จะประมาณความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งานของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงด้วยเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบเส้นตรง อย่างไรก็ตามหากทำการทดลองในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมตัวแปรอย่างดีแล้ว กล่าวได้ว่าในตอนเริ่มแรกสายเคเบิลจะมีการลดทอนเนื่องจากการติดตั้งค่าหนึ่ง ซึ่งเกิดจากวิธีในการติดตั้ง เช่น การดึงสายเคเบิลให้ได้ระยะแยกที่ต้องการ เป็นต้น แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป การลดทอนสัญญาณจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 1 ถึง สัปดาห์ที่ 4 ซึ่งมีอัตราการเพิ่มของการลดทอนมาก แต่เมื่อผ่านสัปดาห์ที่ 6 ไปแล้ว อัตราการเพิ่มของการลดทอนจะน้อยลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะในช่วงแรกหลังจากการติดตั้งแล้วสายเคเบิลมีการยืดตัวจากแรงดึง เนื่องจากน้ำหนักของสายเคเบิลเอง แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป การยืดตัวถึงขีดจำกัดค่าหนึ่งทำให้สายเคเบิลไม่ยืดออกอีก ซึ่งทำให้มีการลดทอนสัญญาณเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่น้อยลง

จากที่กล่าวมาข้างต้นความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งานของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงน่าจะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม จึงได้ทำการตัดข้อมูลออกบางส่วนแล้วทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งานของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงด้วยเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ กำหนดให้มีค่าแถบความผิดพลาดในแนวแกนตั้ง เท่ากับ 1 % และ ค่า R^2 คือ สัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด ดังรูปที่ 4.12 ถึง 4.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

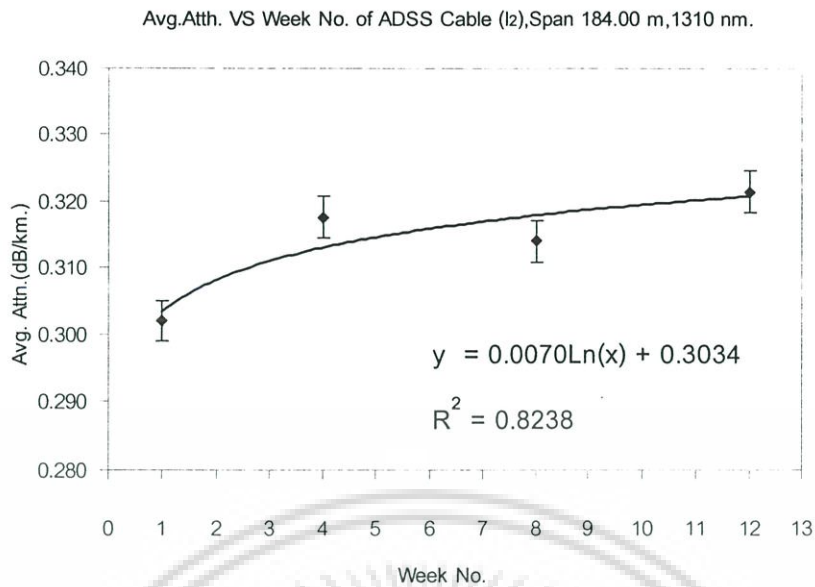


รูปที่ 4.12(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ 1, ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบ ลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

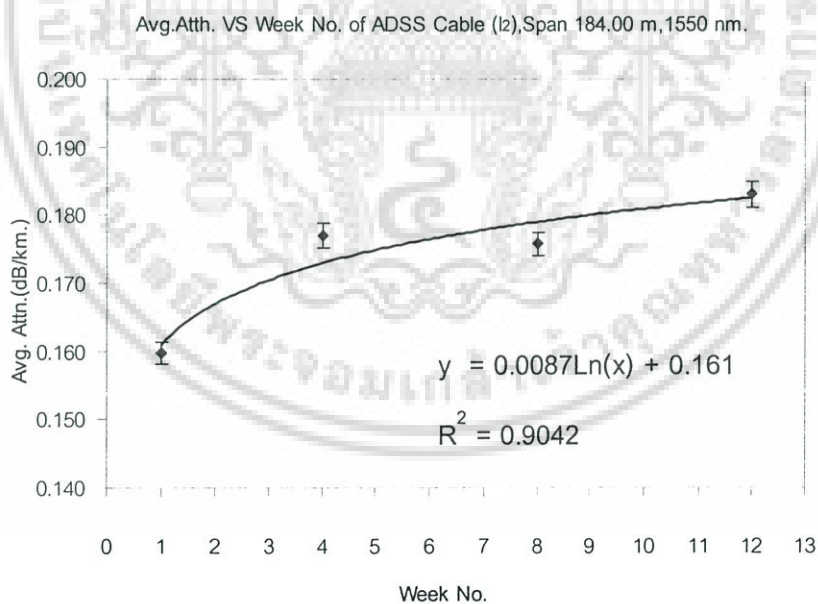


รูปที่ 4.12(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ 1, ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบ ลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

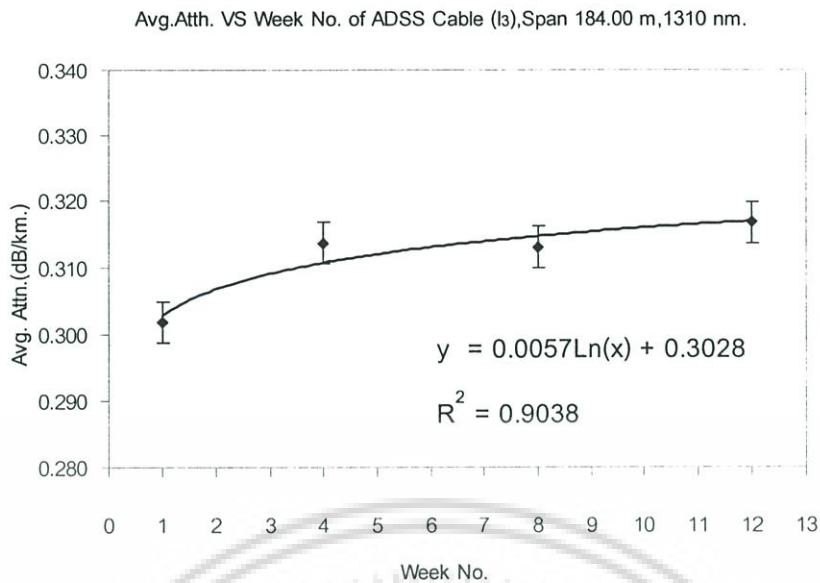


รูปที่ 4.13(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₂ ระยะสเปาน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

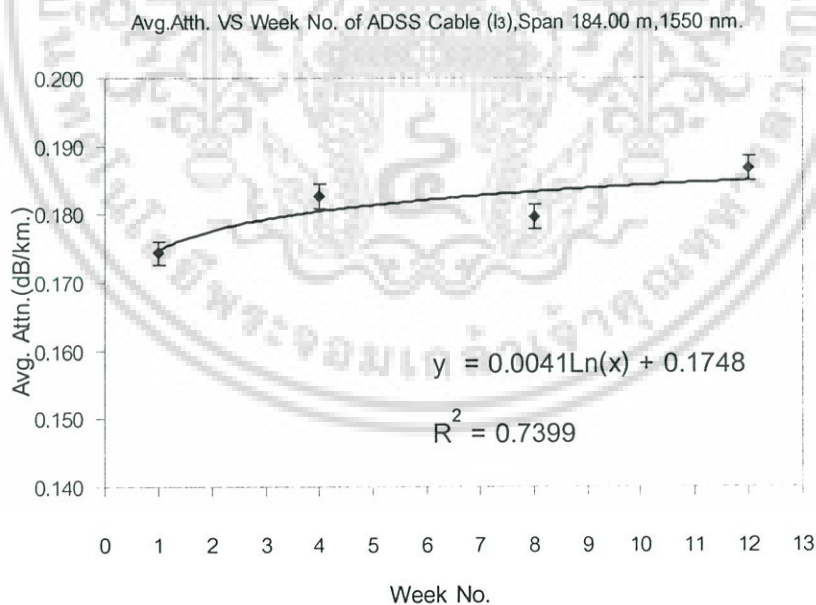


รูปที่ 4.13(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₂ ระยะสเปาน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

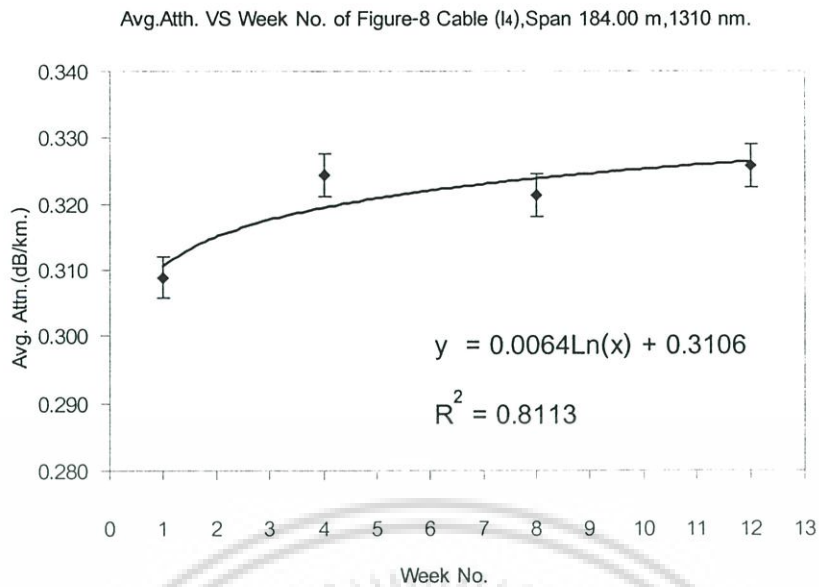


รูปที่ 4.14(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₃ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

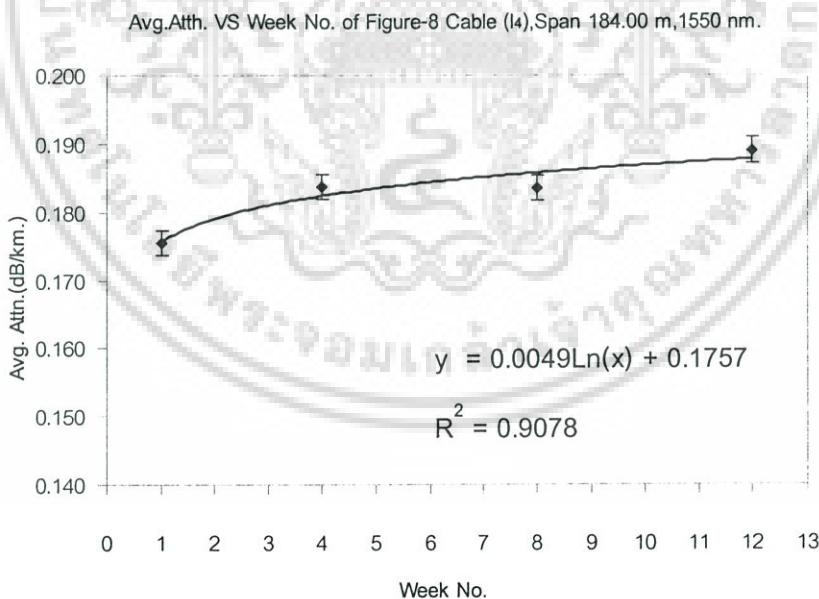


รูปที่ 4.14(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₃ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

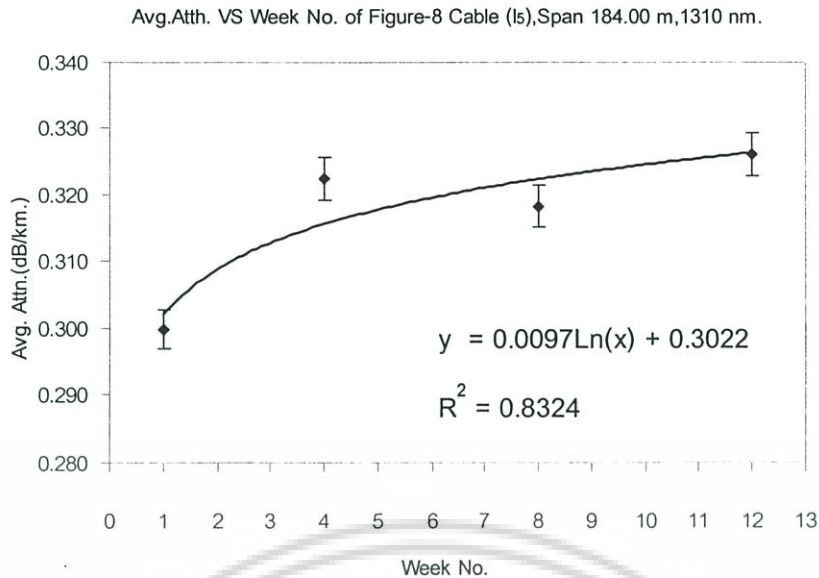


รูปที่ 4.15(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₄ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

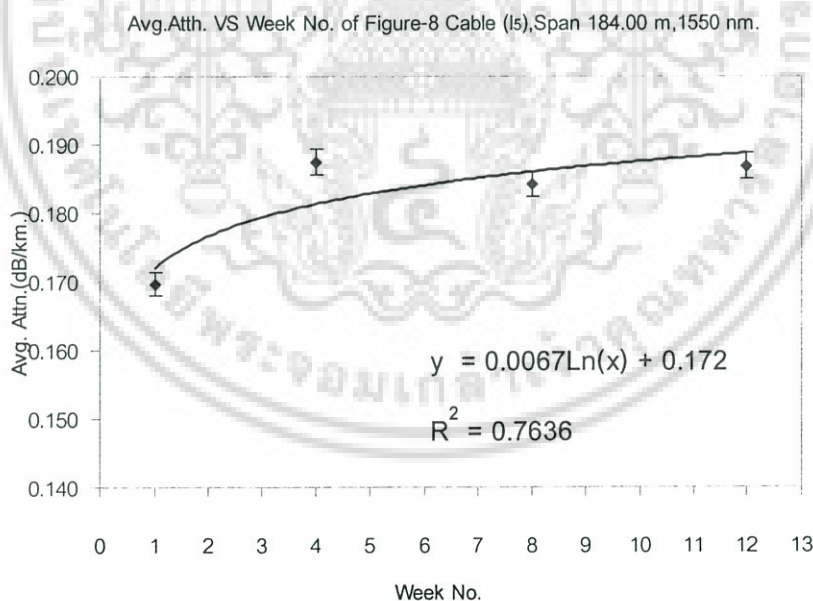


รูปที่ 4.15(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₄ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

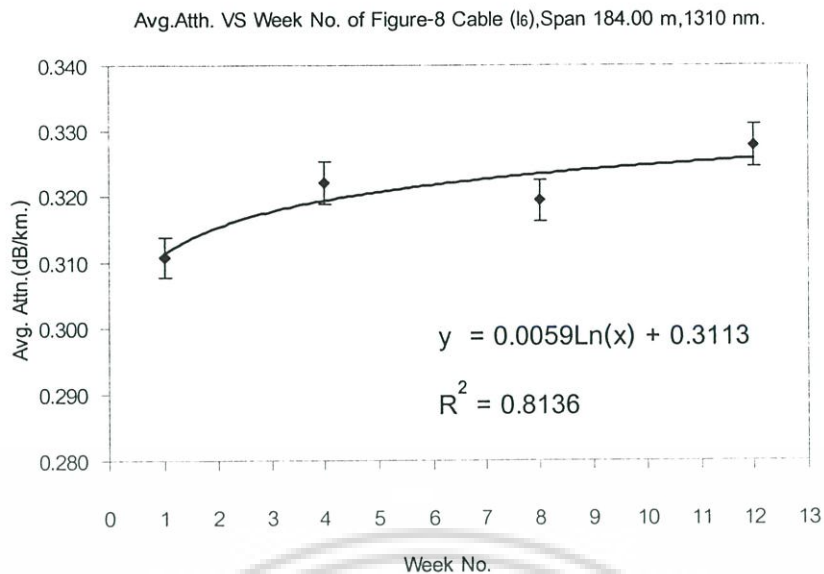


รูปที่ 4.16(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₅ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

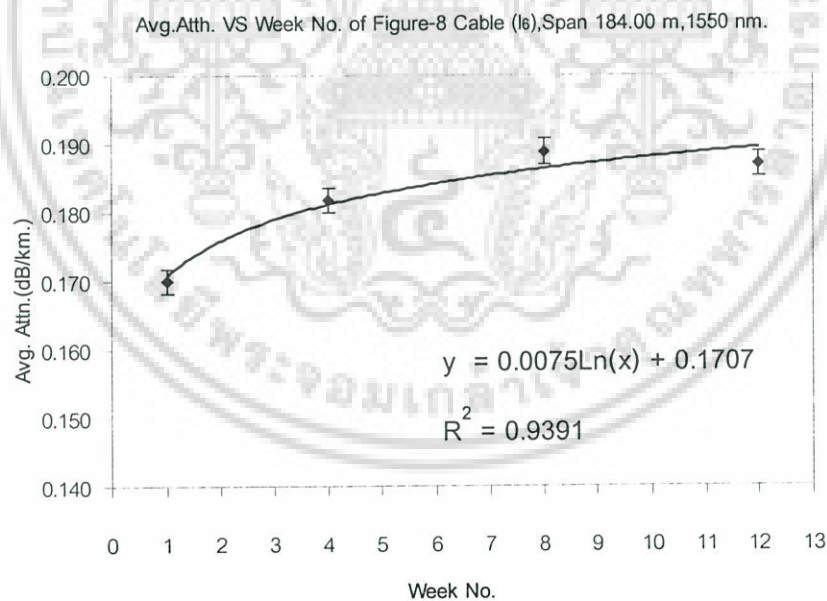


รูปที่ 4.16(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₅ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

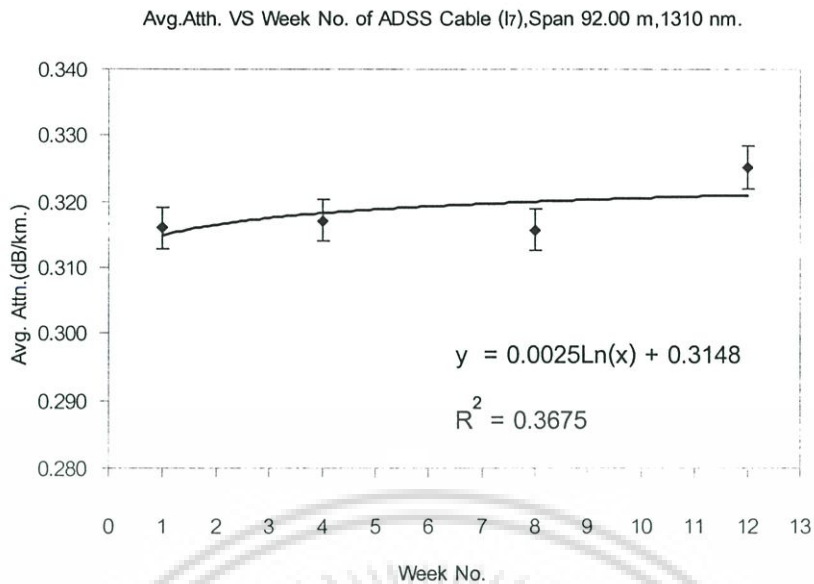


รูปที่ 4.17(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₆ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

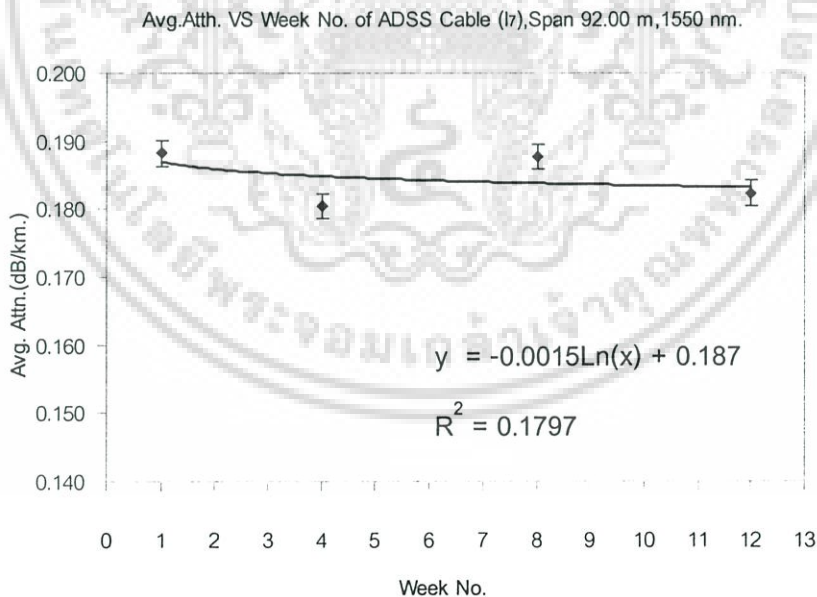


รูปที่ 4.17(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₆ ระยะสเปน 184.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

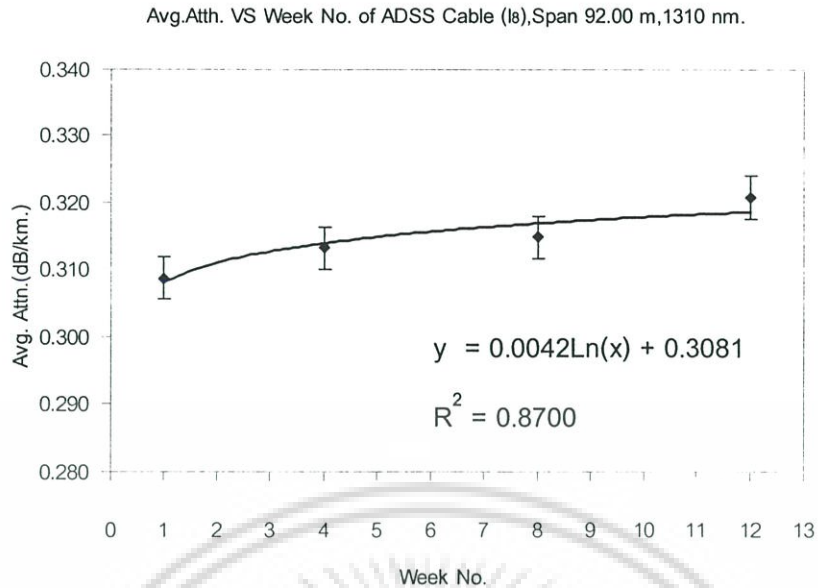


รูปที่ 4.18(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ 1, ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

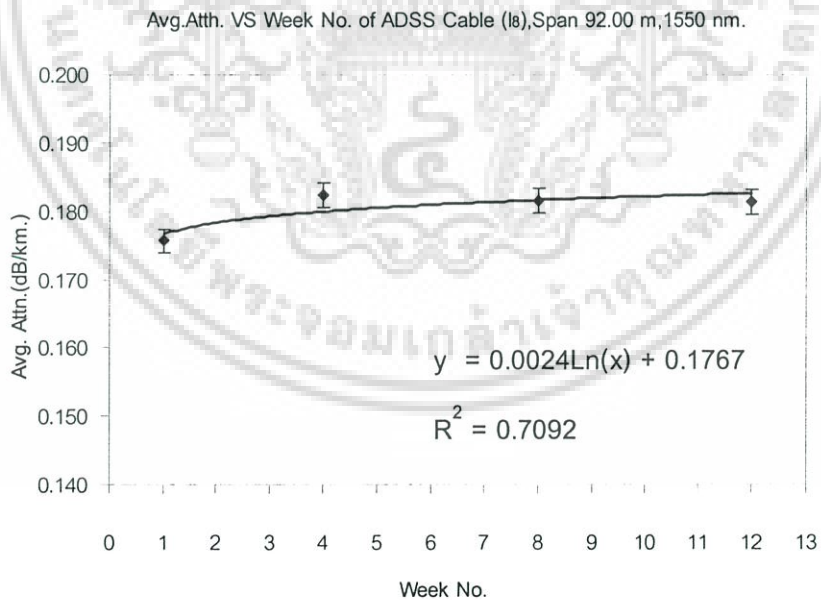


รูปที่ 4.18(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ 1, ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

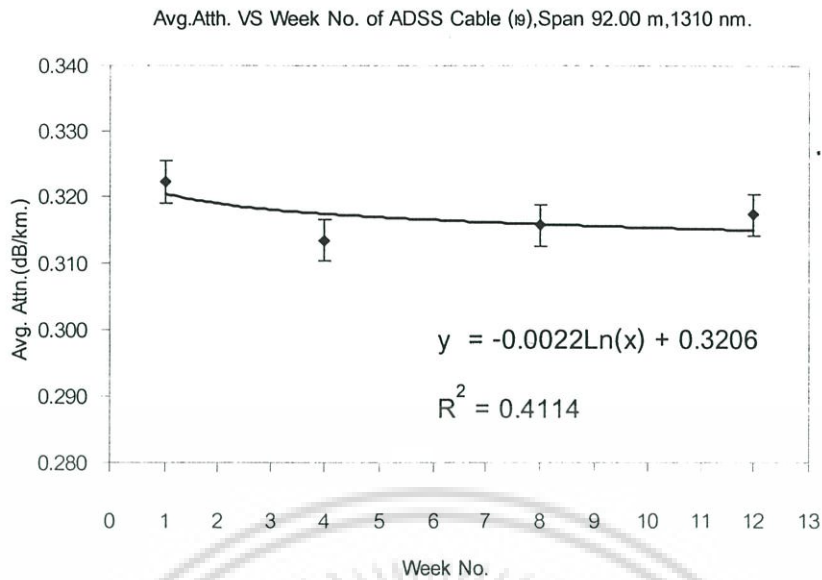
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



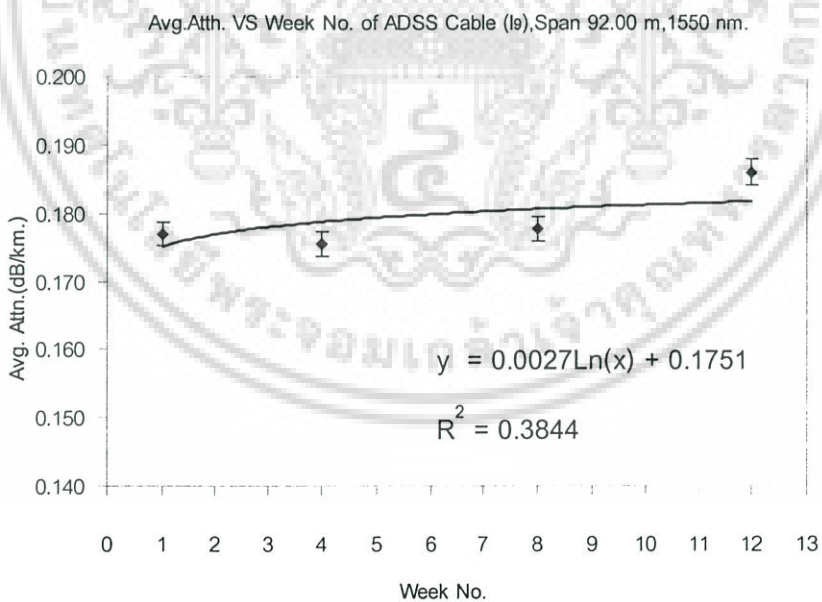
รูปที่ 4.19(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₈ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร



รูปที่ 4.19(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ I₈ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

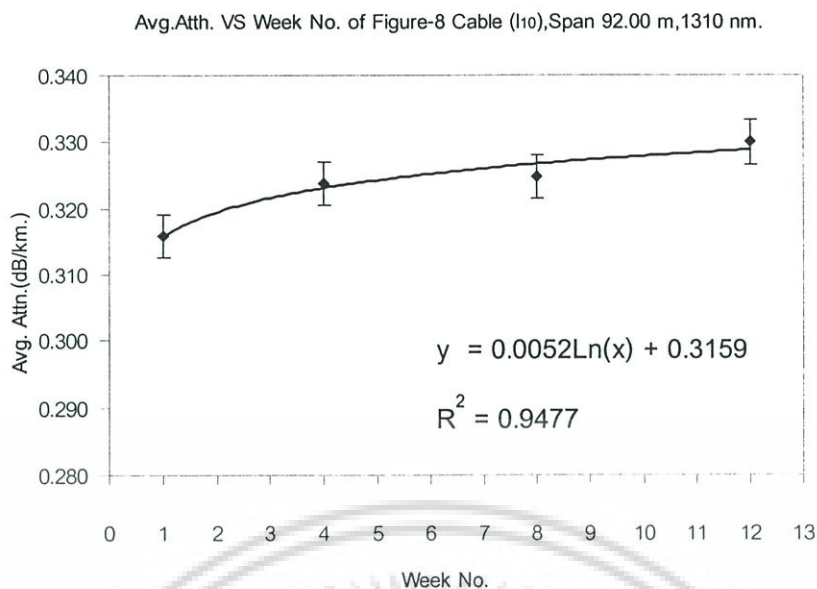


รูปที่ 4.20(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ 1_๑ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

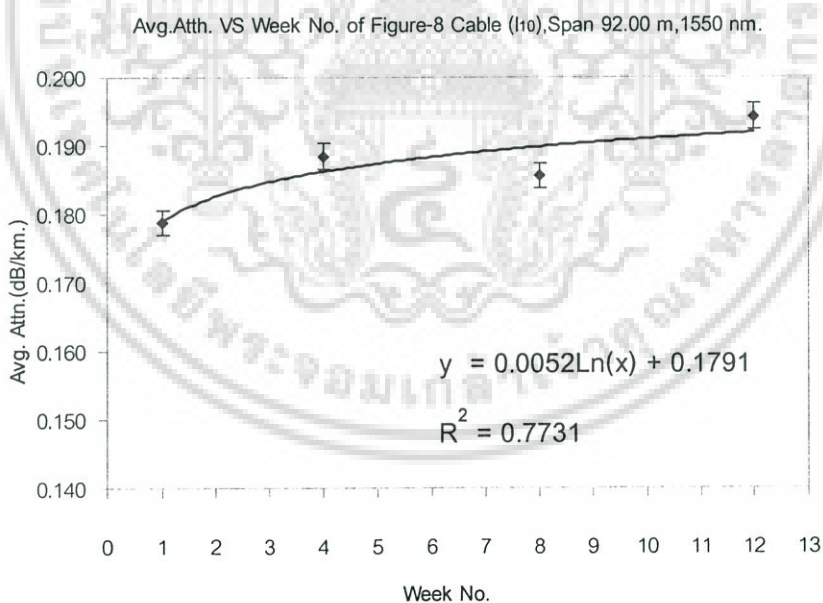


รูปที่ 4.20(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS สายเคเบิลเส้นที่ 1_๑ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

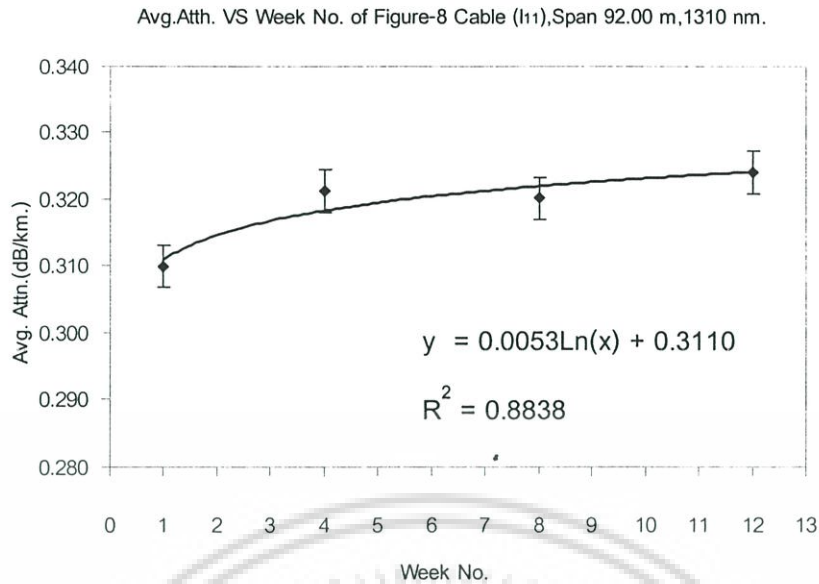


รูปที่ 4.21(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₁₀ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

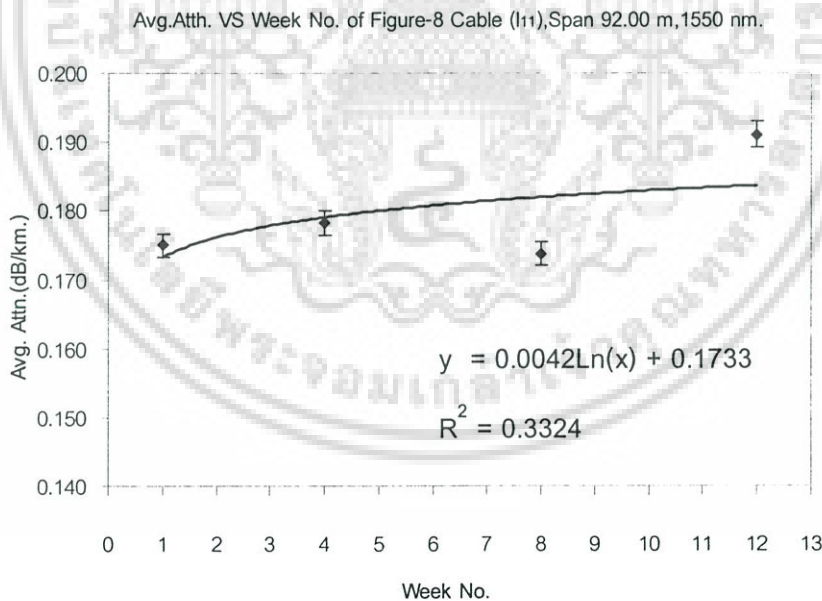


รูปที่ 4.21(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₁₀ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

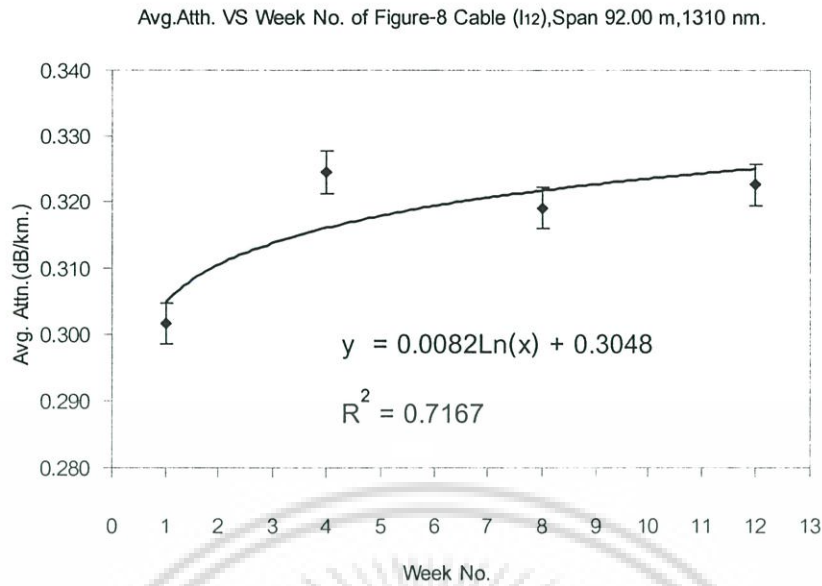


รูปที่ 4.22(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₁₁ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

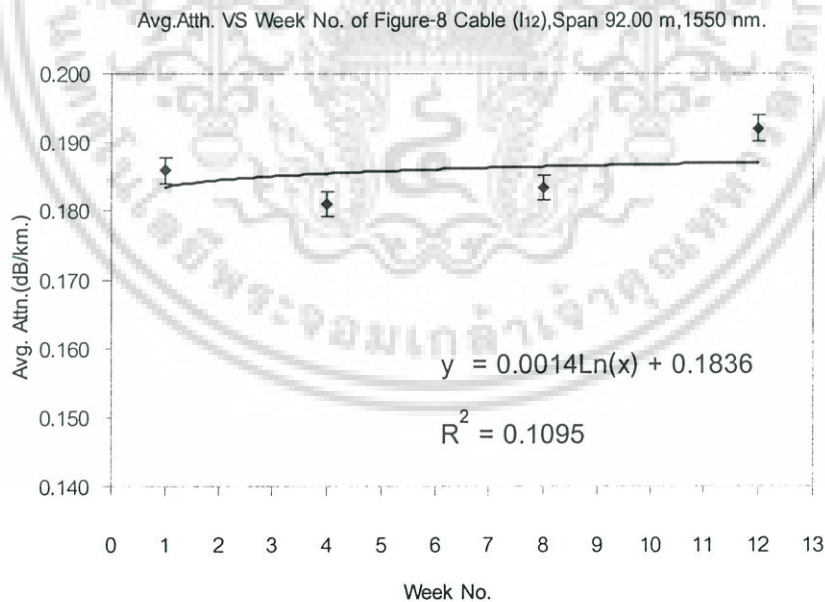


รูปที่ 4.22(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₁₁ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₁₂ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร



รูปที่ 4.23(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 สายเคเบิลเส้นที่ I₁₂ ระยะสเปน 92.00 เมตร โดยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (4.25) ถึง (4.27) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สปีดาร์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS เส้นที่ l_1 , l_2 และ l_3 ระยะแขก เท่ากับ 3.05, 3.35 และ 4.35 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และระยะสเปน เท่ากับ 184.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดเท่ากับ 0.8491, 0.8238 และ 0.9038 ตามลำดับ

เมื่อ γ_{avg} คือ การลดทอน (dB/km)

t คือ อายุการใช้งาน (สปีดาร์)

$$\gamma_{1Cavg} = 0.0063\ln(t) + 0.3046 \quad (4.25)$$

$$\gamma_{2Cavg} = 0.0070\ln(t) + 0.3034 \quad (4.26)$$

$$\gamma_{3Cavg} = 0.0057\ln(t) + 0.3028 \quad (4.27)$$

สมการที่ (4.28) ถึง (4.30) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สปีดาร์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS เส้นที่ l_7 , l_8 และ l_9 ระยะแขก เท่ากับ 3.30, 4.40 และ 4.95 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ ระยะสเปน เท่ากับ 92.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด เท่ากับ 0.3675, 0.8700 และ 0.4114 ตามลำดับ

$$\gamma_{7Cavg} = 0.0025\ln(t) + 0.3148 \quad (4.28)$$

$$\gamma_{8Cavg} = 0.0042\ln(t) + 0.3081 \quad (4.29)$$

$$\gamma_{9Cavg} = -0.0022\ln(t) + 0.3206 \quad (4.30)$$

สมการที่ (4.31) ถึง (4.33) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สปีดาร์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 เส้นที่ l_4 , l_5 และ l_6 ระยะแขก เท่ากับ 5.55, 6.65, และ 7.45 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ ระยะสเปน เท่ากับ 184.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด เท่ากับ 0.8133, 0.8324 และ 0.8136 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma_{4\text{Cavg}} = 0.0064\ln(t) + 0.3016 \quad (4.31)$$

$$\gamma_{5\text{Cavg}} = 0.0097\ln(t) + 0.3022 \quad (4.32)$$

$$\gamma_{6\text{Cavg}} = 0.0059\ln(t) + 0.3113 \quad (4.33)$$

สมการที่ (4.10) ถึง (4.12) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สปีดาร์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 เส้นที่ l_{10} , l_{11} และ l_{12} ระยะแซก เท่ากับ 2.70, 3.10 และ 3.30 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ ระยะสเปน เท่ากับ 92.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด เท่ากับ 0.9477, 0.8838 และ 0.7167 ตามลำดับ

$$\gamma_{10\text{Cavg}} = 0.0052\ln(t) + 0.3159 \quad (4.34)$$

$$\gamma_{11\text{Cavg}} = 0.0053\ln(t) + 0.3110 \quad (4.35)$$

$$\gamma_{12\text{Cavg}} = 0.0082\ln(t) + 0.3048 \quad (4.36)$$

สมการที่ (4.37) ถึง (4.39) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สปีดาร์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS เส้นที่ l_1 , l_2 และ l_3 , ระยะแซก เท่ากับ 3.05, 3.35 และ 4.35 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร และ ระยะสเปน เท่ากับ 184.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดเท่ากับ 0.6644, 0.9042 และ 0.7399 ตามลำดับ

$$\gamma_{1\text{Davg}} = 0.0034\ln(t) + 0.1752 \quad (4.37)$$

$$\gamma_{2\text{Davg}} = 0.0087\ln(t) + 0.1610 \quad (4.38)$$

$$\gamma_{3\text{Davg}} = 0.0041\ln(t) + 0.1748 \quad (4.39)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (4.40) ถึง (4.42) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS เส้นที่ I_7 , I_8 และ I_9 ระยะแซก เท่ากับ 3.30, 4.40 และ 4.95 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร และ ระยะสเปน เท่ากับ 92.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด เท่ากับ 0.1797, 0.7092 และ 0.3844 ตามลำดับ

$$\gamma_{7 \text{ Davg}} = -0.0015 \ln(t) + 0.1870 \quad (4.40)$$

$$\gamma_{8 \text{ Davg}} = 0.0024 \ln(t) + 0.1767 \quad (4.41)$$

$$\gamma_{9 \text{ Davg}} = 0.0027 \ln(t) + 0.1751 \quad (4.42)$$

สมการที่ (4.43) ถึง (4.45) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 เส้นที่ I_4 , I_5 และ I_6 ระยะแซก เท่ากับ 5.55, 6.65, และ 7.45 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร และ ระยะสเปน เท่ากับ 184.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด เท่ากับ 0.9078, 0.7636 และ 0.9391 ตามลำดับ

$$\gamma_{4 \text{ Davg}} = 0.0049 \ln(t) + 0.1757 \quad (4.43)$$

$$\gamma_{5 \text{ Davg}} = 0.0067 \ln(t) + 0.1720 \quad (4.44)$$

$$\gamma_{6 \text{ Davg}} = 0.0075 \ln(t) + 0.1707 \quad (4.45)$$

สมการที่ (4.46) ถึง (4.48) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอายุการใช้งาน (สัปดาห์) ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 เส้นที่ I_{10} , I_{11} และ I_{12} ระยะแซก เท่ากับ 2.70, 3.10 และ 3.30 เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ ระยะสเปน เท่ากับ 92.00 เมตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด เท่ากับ 0.7731, 0.3324 และ 0.1095 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma_{10\text{Davg}} = 0.0052\ln(t) + 0.1791 \quad (4.46)$$

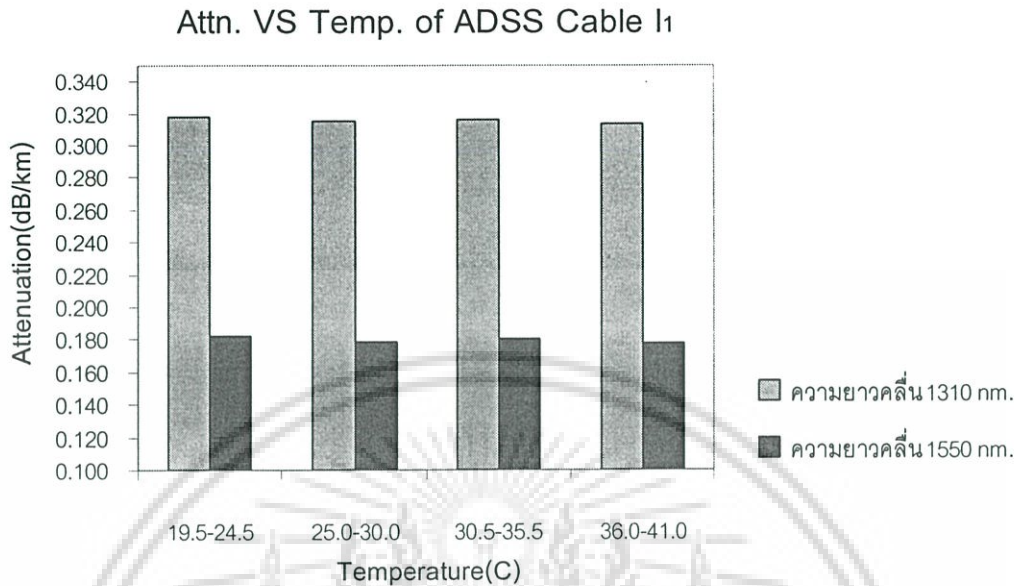
$$\gamma_{11\text{Davg}} = 0.0042\ln(t) + 0.1733 \quad (4.47)$$

$$\gamma_{12\text{Davg}} = 0.0014\ln(t) + 0.1836 \quad (4.48)$$

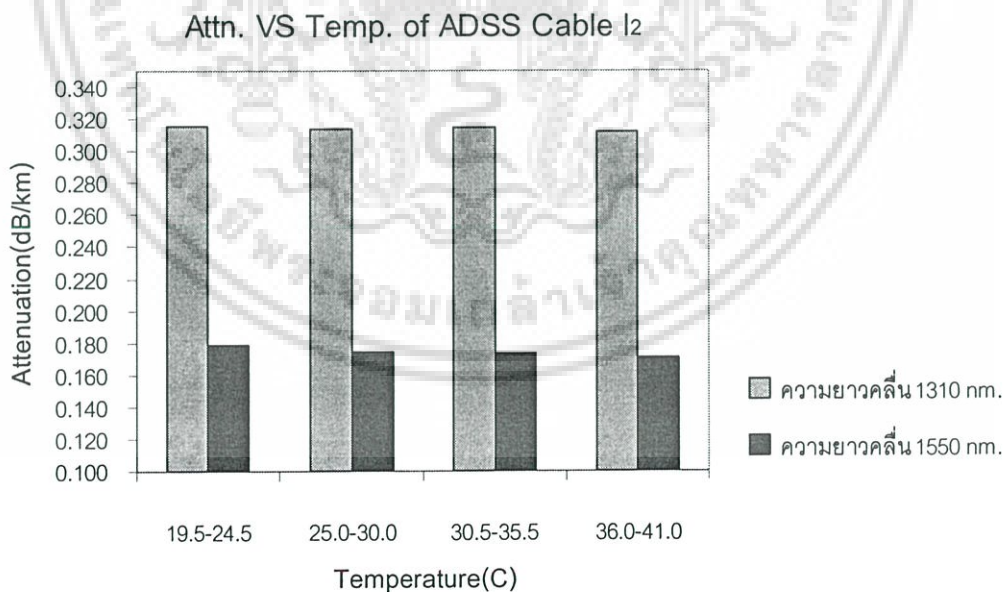
จาก รูปที่ 4.12 ถึง 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงกับอายุการใช้งาน ด้วยการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบลอการิทึม พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนด มีค่าใกล้เคียงกับ 1 มากกว่าการประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ดังนั้น จึงมีความเหมาะสมที่จะประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงกับอายุการใช้งาน ด้วยความสัมพันธ์แบบลอการิทึม ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

จากรูปที่ 4.5, 4.18 และ 4.20 สำหรับสายเคเบิลแบบ ADSS เส้นที่ I_7 และ I_9 พบว่าไม่สามารถประมาณเส้นแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงกับอายุการใช้งานได้ ทั้งความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และ ความสัมพันธ์แบบลอการิทึม เพราะมีสัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดต่ำกว่า 1 มาก

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง กับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

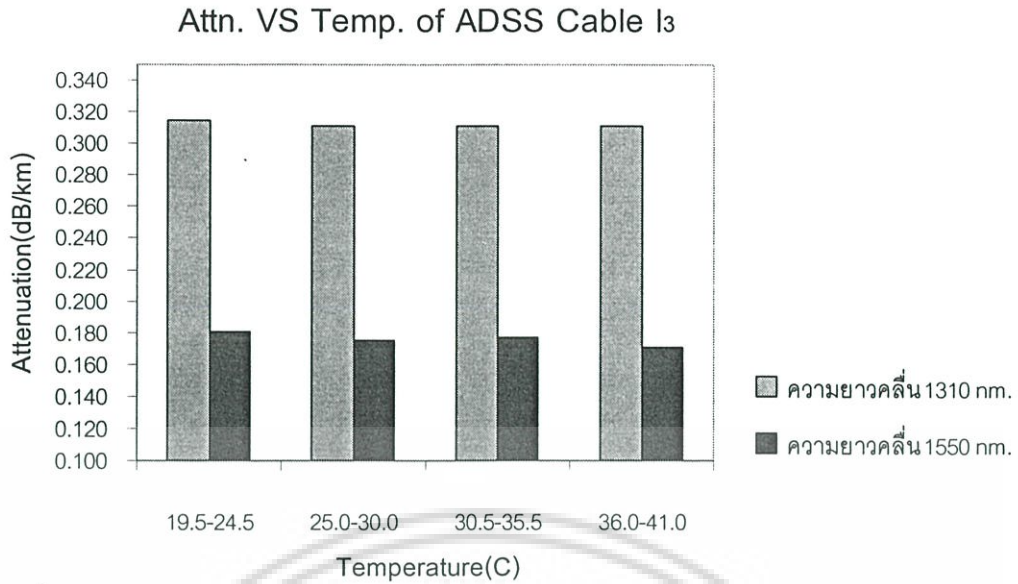


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I₁ สายเคเบิลแบบ ADSS ระยะแชก 3.30 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร

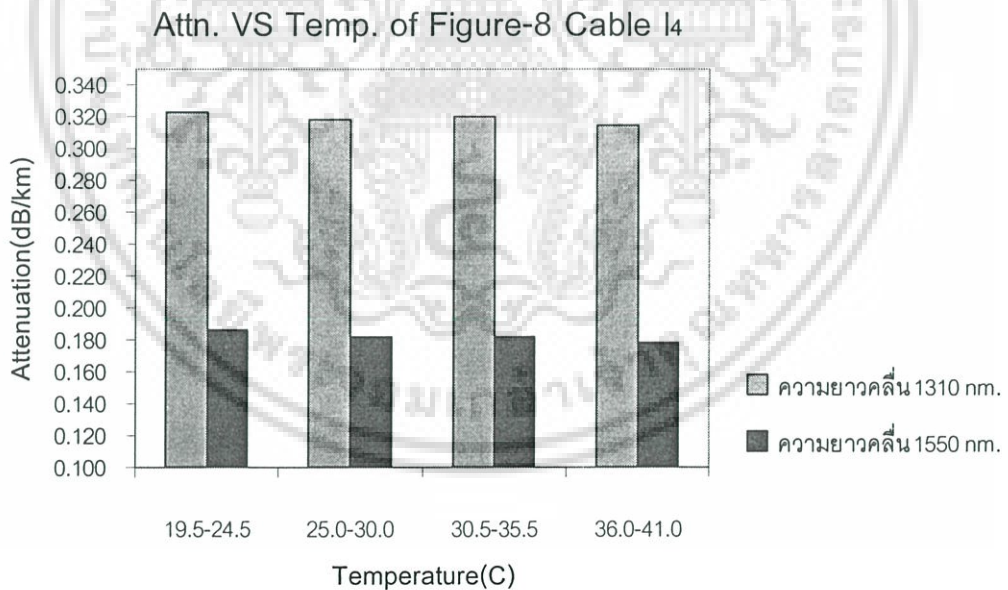


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I₂ สายเคเบิลแบบ ADSS ระยะแชก 4.40 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



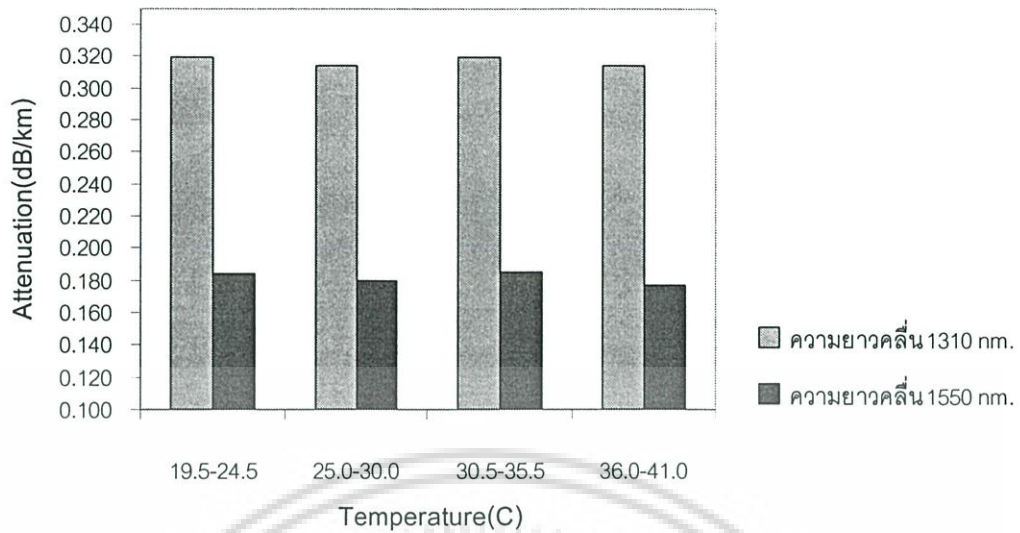
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I₃ สายเคเบิลแบบ ADSS ระยะแขง 4.95 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I₄ สายเคเบิลแบบ Figure-8 ระยะแขง 5.55 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร

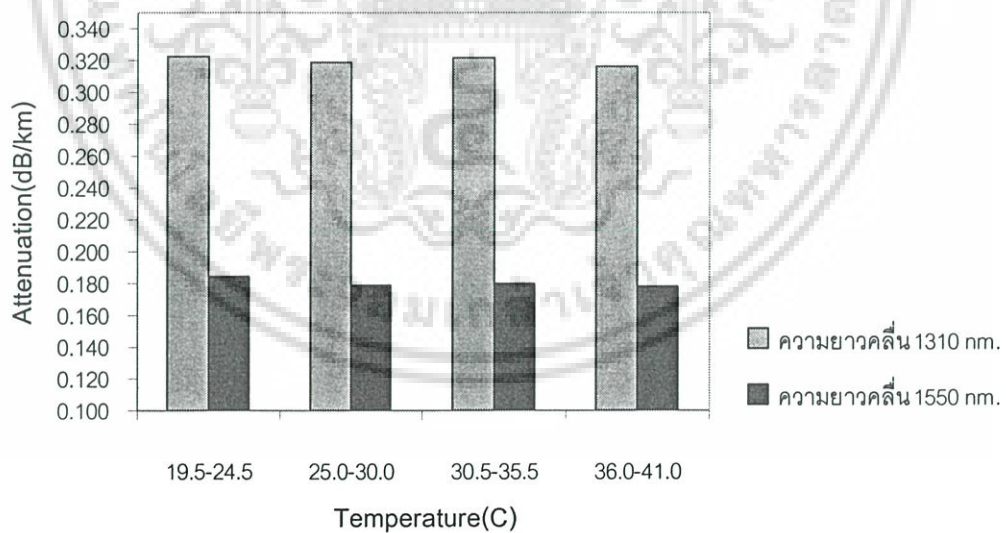
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Attn. VS Temp. of Figure-8 Cable I5



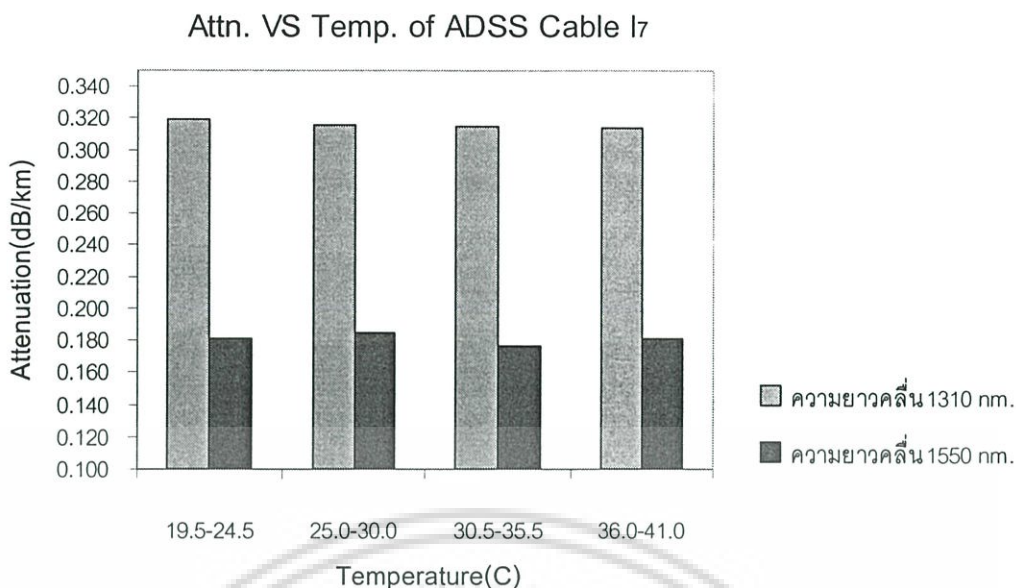
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I₅ สายเคเบิลแบบ Figure-8 ระยะแชก 6.65 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร

Attn. VS Temp. of Figure-8 Cable I6

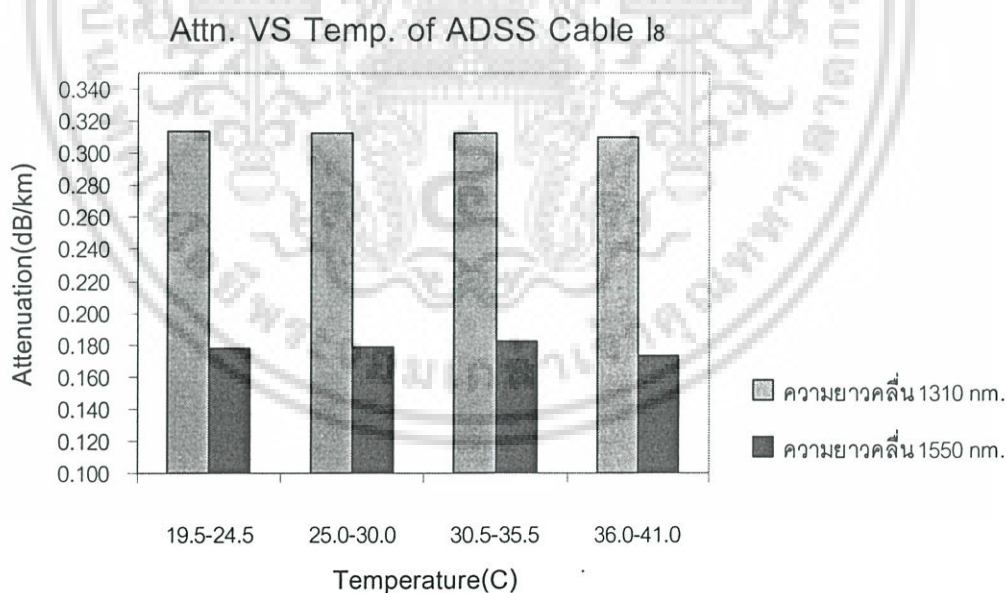


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I₆ สายเคเบิลแบบ Figure-8 ระยะแชก 7.45 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

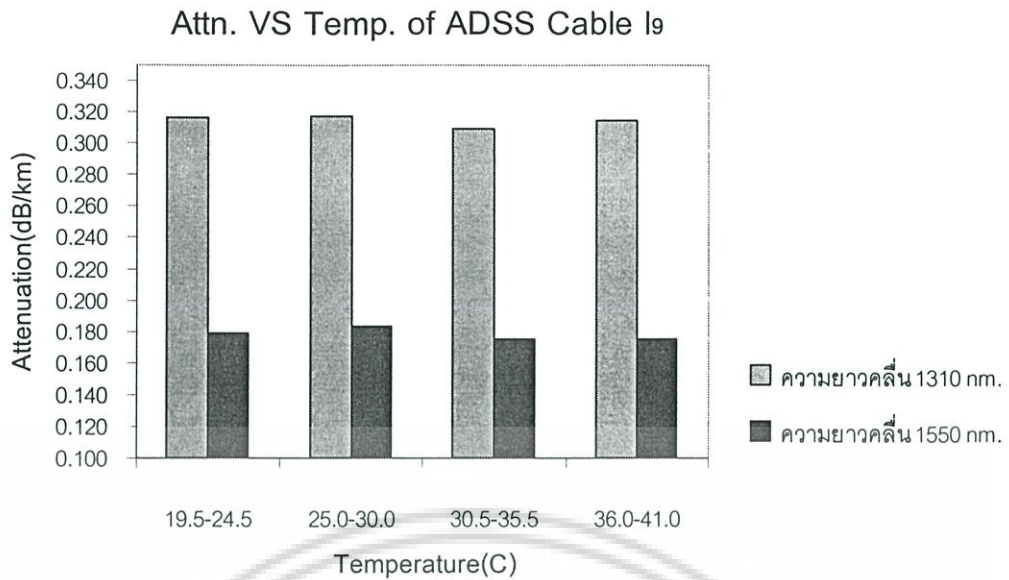


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I₇ สายเคเบิลแบบ ADSS ระยะแชก 3.05 เมตร ระยะสแปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร

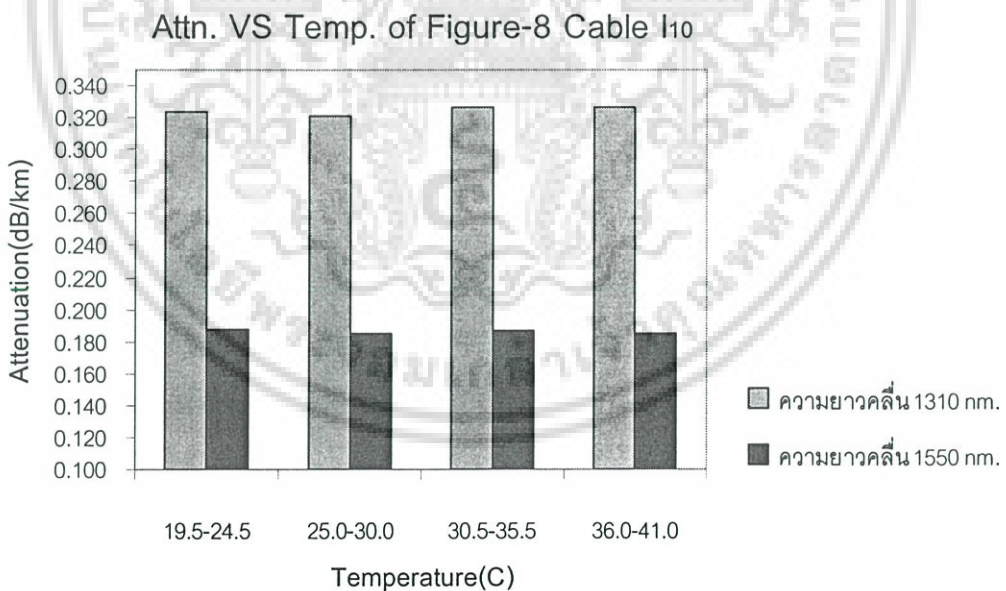


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I₈ สายเคเบิลแบบ ADSS ระยะแชก 3.35 เมตร ระยะสแปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

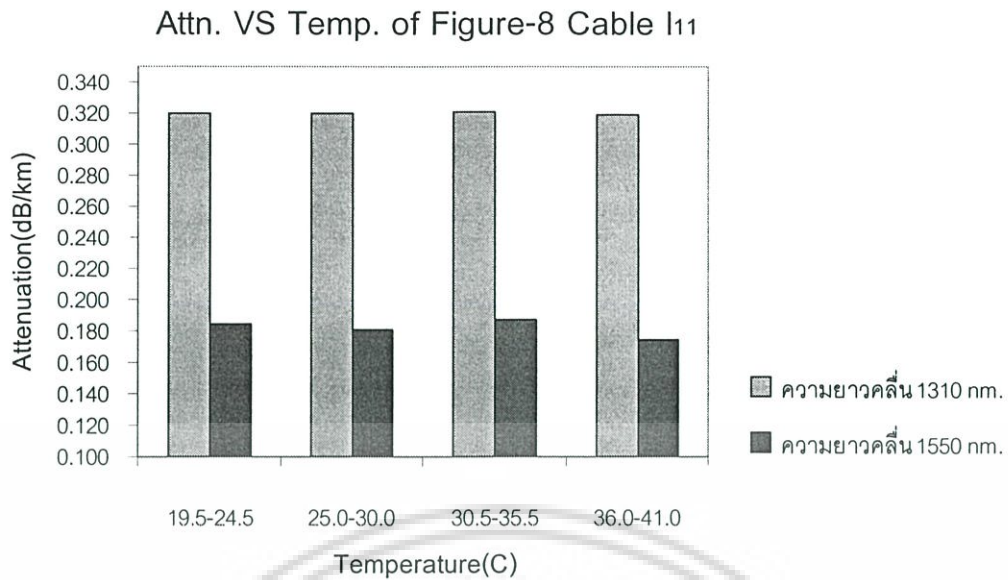


รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I₉ สายเคเบิลแบบ ADSS ระยะแชก 4.35 เมตร ระยะสแปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร

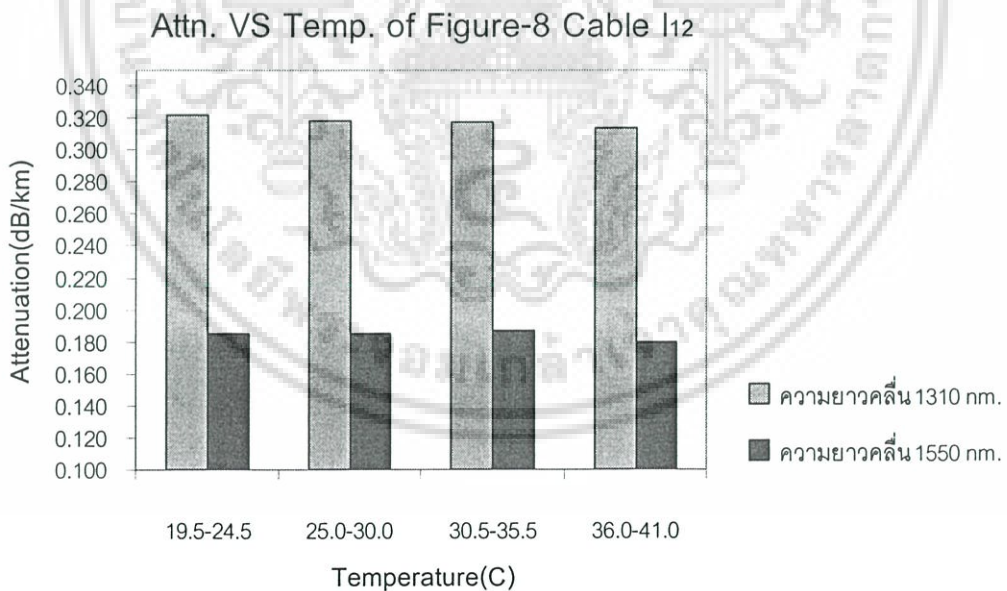


รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I₁₀ สายเคเบิลแบบ Figure-8 ระยะแชก 2.70 เมตร ระยะสแปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I₁₁ สายเคเบิลแบบ Figure-8 ระยะแฉก 3.10 เมตร ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I₁₂ สายเคเบิลแบบ Figure-8 ระยะแฉก 3.30 เมตร ระยะสเปน 92.00 เมตร วัดการลดทอนที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และ 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การลดทอนสัญญาณเฉลี่ยกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

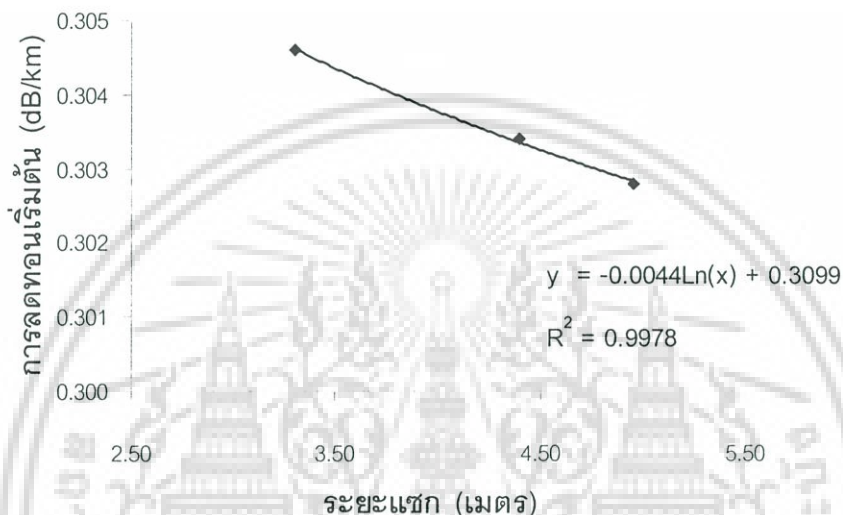
สายเคเบิลเส้นที่	การลดทอน(dB/km)			
	ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร		ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร	
	ค่าเฉลี่ยของ การลดทอน	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยของ การลดทอน	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
I ₁	0.316	0.011	0.180	0.008
I ₂	0.314	0.009	0.176	0.011
I ₃	0.312	0.007	0.177	0.009
I ₄	0.314	0.009	0.176	0.011
I ₅	0.314	0.009	0.176	0.011
I ₆	0.320	0.008	0.181	0.009
I ₇	0.317	0.006	0.182	0.007
I ₈	0.313	0.006	0.177	0.007
I ₉	0.316	0.005	0.180	0.010
I ₁₀	0.323	0.006	0.186	0.006
I ₁₁	0.320	0.006	0.182	0.010
I ₁₂	0.319	0.009	0.185	0.010

จากรูปที่ 4.24 ถึง 4.35 และ ตารางที่ 4.3 พบว่าการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปซึ่งอยู่ในช่วง 19.5 ถึง 38.0 องศาเซลเซียส โดยมีค่าการลดทอนเปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด (ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุด) คือ 0.011dB/km หรือ อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 1.0 องศาเซลเซียส การลดทอนเปลี่ยนแปลงไป 6×10^{-4} dB/km เท่านั้น

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณ เนื่องจากการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงกับระยะแชก

รูปที่ 4.36 กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนเนื่องจากการติดตั้งสายเคเบิลกับระยะแชกของสายเคเบิลเส้นที่ 1, ถึง 1₃ ที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การลดทอนเริ่มต้นกับระยะแชก

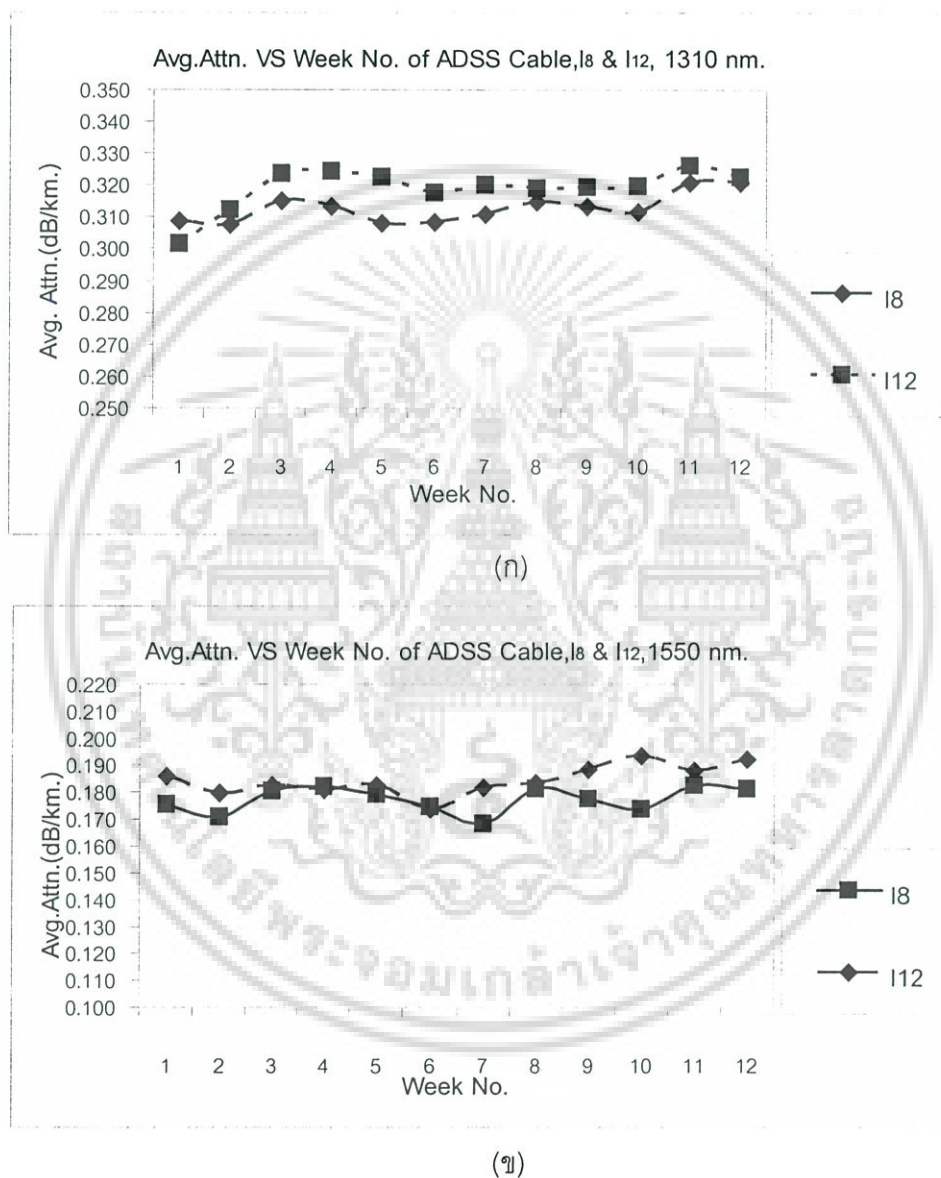
พิจารณการลดทอนเนื่องจากการติดตั้งสายเคเบิล จากรูปที่ 4.36 พบว่าสายเคเบิลเส้นที่ติดตั้งด้วยระยะแชกสั้น(สายเคเบิลเส้นที่ 1, ระยะแชก 3.30 เมตร) มีค่าการลดทอนเนื่องจากการติดตั้งสายเคเบิลมากที่สุด เนื่องจากการติดตั้งสายเคเบิลเพื่อให้มีระยะแชกน้อยนั้นจะต้องใช้แรงดึงสายเคเบิลมาก ซึ่งแรงดึงนี้ทำให้สายเคเบิลใยแก้วนำแสงเกิดการยืด และทำให้การลดทอนเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง

จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.23 พบว่าสายเคเบิลที่ติดตั้งด้วยระยะแชกน้อยในตอนแรกจะมีการลดทอนสูงเนื่องจากได้รับแรงดึงในระหว่างการติดตั้งมากซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.19) และ (2.24) แต่เมื่อใช้งานไปเป็นระยะเวลาานจะมีการเปลี่ยนแปลงการลดทอนน้อยกว่าสายเคเบิลที่มีระยะแชก มาก ทั้งนี้เพราะสายเคเบิลที่มีระยะแชกมากจะมีความยาวมากและมีน้ำหนักที่ตกลงมากกว่า ทำให้น้ำหนักของสายเคเบิลที่หึงตัวลงมานี้ทำให้สายเคเบิลเกิดการยืดตัวมากขึ้น และมีการลดทอนเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การเปรียบเทียบปัจจัยที่ใช้ในการติดตั้งสายเคเบิลแต่ละแบบ

ได้ทำการเปรียบเทียบปัจจัยที่ใช้ในการติดตั้งสายเคเบิลแบบ ADSS และ แบบ Figure-8 สำหรับ การลดทอนสัญญาณ ระยะสเปน ระยะแซกและอายุการใช้งานของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยใช้สายเคเบิลเส้นที่ I_8 ซึ่งเป็นสายเคเบิลแบบ ADSS และ I_{12} ซึ่งเป็นสายเคเบิลแบบ Figure-8 และ แต่ละเส้นมีปัจจัยต่างๆ ดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่าง การลดทอนสัญญาณ ระยะสเปน ระยะแซก และ อายุการใช้งานของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเส้นที่ I_8 กับ I_{12} ระยะแซก เท่ากับ 3.35 และ 3.30 เมตร ตามลำดับ ระยะสเปน เท่ากัน คือ 92.00 เมตร
(ก) ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร (ข) ความยาวคลื่น 1550 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ปัจจัยที่ใช้ในการติดตั้งสายเคเบิลแบบ ADSS และ แบบ Figure-8

ลำดับที่	ระยะสเปน (2x) (เมตร)	ครึ่งสเปน (x) (เมตร)	ความสูงเสา (y) (เมตร)	ระยะแซก (h) (เมตร)	ชนิดของสาย เคเบิล
I ₈	92.00	46.00	6.95	3.35	ADSS
I ₁₂	9.200	46.00	5.30	3.30	Figure-8

จากตารางที่ 4.4 สายเคเบิลทั้ง 2 เส้นมีระยะสเปนเท่ากัน คือ 92.00 เมตร และมีระยะแซกที่ใกล้เคียงกัน คือ 3.35 เมตร และ 3.30 เมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.37 พบว่าสายเคเบิลแบบ ADSS มีการลดทอนเนื่องจากการติดตั้ง และการเปลี่ยนแปลงการลดทอนเนื่องจากเวลาการใช้งาน น้อยกว่าสายเคเบิลแบบ Figure-8 เพราะสายเคเบิลแบบ ADSS มีน้ำหนักเบากว่าสายเคเบิลแบบ Figure-8 ซึ่งในการติดตั้งสายเคเบิลนั้น สายเคเบิลที่มีน้ำหนักมากจะต้องถูกดึงด้วยแรงที่มากกว่าเมื่อต้องการติดตั้งให้มีระยะแซกเท่ากัน

ดังนั้นสายเคเบิลแบบ ADSS จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นสายเคเบิลสำหรับแขวนบนเสาไฟฟ้ามากกว่าสายเคเบิลแบบ Figure-8 เมื่อติดตั้งด้วยเงื่อนไขเดียวกัน

บทที่ 5

บทสรุป

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณ ระยะแยก และอายุการใช้งานของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง พบว่าสายเคเบิลที่ติดตั้งด้วยระยะแยกน้อยในตอนแรกจะมีการลดทอนสัญญาณสูงเนื่องจากได้รับแรงตึงในระหว่างการติดตั้งมาก แต่เมื่อใช้งานไปเป็นระยะเวลาอันยาวนานจะมีการเปลี่ยนแปลงการลดทอนสัญญาณน้อยกว่าสายเคเบิลที่มีระยะแยกมาก ดังรูปที่ 4.4 ถึง 4.23 ทั้งนี้เพราะสายเคเบิลที่มีระยะแยกมากจะมีความยาวมากและมีน้ำหนักมาก ซึ่งน้ำหนักของสายเคเบิลที่หึงตัวลงมานี้ ทำให้สายเคเบิลเกิดการยืดตัวมากและมีการลดทอนเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง

จากการทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิดแกนด้วยการติดตั้งในสถานการณ์จริง พบว่าระยะแยก และ ระยะสเปนของการติดตั้งสายเคเบิลมีผลต่อการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงโดยสายเคเบิลที่ติดตั้งด้วย ระยะแยก และ ระยะสเปนที่เหมาะสมจะมีการเปลี่ยนแปลงการลดทอนสัญญาณน้อย และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS ระยะแยก และ ระยะสเปนที่เหมาะสม คือ สายเคเบิลเส้นที่ 1, ระยะแยก 3.30 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร และ สำหรับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ Figure-8 ระยะแยก และระยะสเปนที่เหมาะสม คือ สายเคเบิลเส้นที่ 1, ระยะแยก 5.55 เมตร ระยะสเปน 184.00 เมตร และพบว่าการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS ที่ระยะแยก 3.30 เมตร และ ระยะสเปน 184.00 เมตร มีการลดทอนสัญญาณน้อยที่สุด

นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมในช่วง 19.5 ถึง 38.0 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง โดยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป 1.0 องศาเซลเซียส การลดทอนเปลี่ยนแปลงไป เพียง 6×10^{-4} dB/km เท่านั้น

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสายเคเบิลใยแก้วชนิดแกนก่อนการผลิต และจำหน่าย จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนสัญญาณ ระยะแยก และอายุการใช้งานของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง พบว่าระยะแยกของการแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแปรผันกับการลดทอนสัญญาณ ส่วนระยะสเปนของการแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแปรผันกับการลดทอนสัญญาณ นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมไม่มีผลต่อการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง นั่นคือมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เสาไฟฟ้าแรงสูงเป็นเสาสำหรับแขวนสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเพื่อการสื่อสาร

5.2 ปัญหาในการดำเนินงาน

ในการทำวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญหลายประการ เช่น สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ และ ติดตั้งสายเคเบิลสายเคเบิลใยแก้วนำแสง และ ช่วงระยะเวลาในการวัดสัญญาณ ซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือกันจากหลายฝ่ายในการทำให้งานสำเร็จลงได้ ดังนั้นจึงมีความล่าช้าในการประสานงานอยู่บ้าง อนึ่งในการทำนายค่าการลดทอนสัญญาณเมื่อมีอายุการใช้งานเป็นเวลานานด้วยความพันธ์แบบเส้นตรงนั้น เพื่อให้ผลการทำนายมีความแม่นยำมากขึ้น อาจทำได้โดยเพิ่มจำนวนการเก็บข้อมูลให้มากขึ้นเป็น 50 ครั้ง เป็นต้น สำหรับการทดสอบสายเคเบิลใยแก้วนำแสงในสถานที่จริงนั้นเป็นการทำงานที่ค่อนข้างยากลำบาก ซึ่งต้องเผชิญกับปัญหาต่างๆในระหว่างปฏิบัติงานเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนที่มีฝนตก ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องมือวัดสัญญาณราคาแพงได้ จึงจำเป็นที่จะต้องหลีกเลี่ยงช่วงระยะเวลาดังกล่าว ซึ่งก็เป็นสาเหตุหนึ่งของอุปสรรคในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ก็สำเร็จลงได้ด้วยดี

5.3 การพัฒนาและแนวทางในการดำเนินงานในอนาคต

สำหรับการพัฒนาและแนวทางในการดำเนินงานในอนาคต หากพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการนำเสาไฟฟ้าที่มีอยู่แล้วทั่วประเทศไทยมาเป็นเสาสำหรับแขวน สายเคเบิลใยแก้วนำแสงแล้วก็จะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเสาได้ ซึ่งยังมีข้อที่ต้องคำนึงถึงอีกหลายประการ เช่น ผลกระทบที่เกิดการแรงลมพายุ และ ผลกระทบเนื่องจากการที่สายเคเบิลใยแก้วนำแสงถูกฟ้าผ่าโดยตรง ซึ่งก็เป็นปัญหาที่น่าสนใจในการดำเนินงานวิจัยในขั้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Line D. O. Proctor. "Installation of ADSS Roseville 60-KV Fiber Optic System on Transmission." IEEE Power Engineering Society Summer Meeting.,vol.1, 15-19 July 2001.pp.84 – 87.
- [2] David C. Sunkle, John J. Olenk and Matthew D. Fullerman. "Determination of Damping Effectiveness of Impact Damper on ADSS Cable." IEEE ESMO 9th International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance Proceedings., 8-12 Oct. 2000. pp. 195 – 201.
- [3] Gene C. Weitz. "Prediction and Minimization of Fiber Optic Cable Pulling Tensions." IEEE Journal on Selected Areas in Communications., vol. 4.,Issue 5 , Aug. 1986.pp.686 – 690.
- [4] K. Namngam, P.P. Yupapin and P. Chitsakul. "Fiber Optic Cable and Radius of Curvature Effect." Porc. On ICEMC., Bangkok, 2002.
- [5] Hiroshi Murata. Handbook of Optical Fibers and Cables. 2nd ED. New York: Marcel Dekke Inc.1996.
- [6] Gunther Mahlke and Peter Gossing. Fiber Optic Cable Fundamentals Cable Engineering Systems Planing. 3rd ED. Berlin, Germany: Siemens Aktiengesellschaft. 1997.
- [7] International Electrotechnical Commission. 2003 Basic Optical Cable Test Procedures (IEC 60794-1-2). 2nd ED. Geneva. IEC.
- [8] Siam Fiber Optic "Fiber Optic Specification" [online]. Available: http://www.sfo.co.th/call_menu2.html



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การลดทอนสัญญาณก่อนการติดตั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าการลดทอน(Attenuation) ก่อน ทำการแขวนสายเคเบิลเส้นที่ 1 (I₁)

ลำดับที่	สีท่อบัพเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	การลดทอน (dB/km.)	
			ความยาวคลื่น $\lambda = 1310$ nm	ความยาวคลื่น $\lambda = 1550$ nm
I ₁	น้ำเงิน	น้ำเงิน	0.326	0.205
		ส้ม	0.368	0.223
		เขียว	0.346	0.208
		น้ำตาล	0.346	0.216
		เงิน	0.334	0.195
		ขาว	0.329	0.196
		แดง	0.317	0.188
	ส้ม	ดำ	0.340	0.214
		เหลือง	0.339	0.204
		ม่วง	0.353	0.201
		ชมพู	0.342	0.205
		ใส	0.340	0.198

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าการลดทอน(Attenuation) ก่อน ทำการแขวนสายเคเบิลเส้นที่ 2 (I₂)

ลำดับที่	สีท่อบัพเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	การลดทอน (dB/km.)	
			ความยาวคลื่น $\lambda = 1310$ nm	ความยาวคลื่น $\lambda = 1550$ nm
I ₁	น้ำเงิน	น้ำเงิน	0.335	0.197
		ส้ม	0.348	0.202
		เขียว	0.344	0.207
		น้ำตาล	0.328	0.203
		เงิน	0.324	0.200
		ขาว	0.360	0.201
		แดง	0.328	0.204
	ส้ม	ดำ	0.352	0.196
		เหลือง	0.351	0.211
		ม่วง	0.339	0.206
		ชมพู	0.317	0.205
		ใส	0.336	0.195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าการลดทอน(Attenuation) ก่อน ทำการแขวนสายเคเบิลเส้นที่ 3 (I₃)

ลำดับที่	สีท่อบัฟเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	การลดทอน (dB/km.)	
			ความยาวคลื่น $\lambda = 1310 \text{ nm}$	ความยาวคลื่น $\lambda = 1550 \text{ nm}$
I ₁	น้ำเงิน	น้ำเงิน	0.349	0.199
		ส้ม	0.339	0.204
		เขียว	0.349	0.194
		น้ำตาล	0.343	0.197
		เงิน	0.345	0.194
		ขาว	0.337	0.199
	ส้ม	แดง	0.352	0.211
		ดำ	0.328	0.201
		เหลือง	0.347	0.198
		ม่วง	0.338	0.194
		ชมพู	0.360	0.201
		ใส	0.331	0.206

ตารางที่ ก.4 แสดงค่าการลดทอน(Attenuation) ก่อน ทำการแขวนสายเคเบิลเส้นที่ 4 (I₄)

ลำดับที่	สีท่อบัฟเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	การลดทอน (dB/km.)	
			ความยาวคลื่น $\lambda = 1310 \text{ nm}$	ความยาวคลื่น $\lambda = 1550 \text{ nm}$
I ₁	น้ำเงิน	น้ำเงิน	0.327	0.194
		ส้ม	0.337	0.200
		เขียว	0.336	0.194
		น้ำตาล	0.334	0.196
		เงิน	0.341	0.186
		ขาว	0.337	0.200
	ส้ม	แดง	0.335	0.197
		ดำ	0.326	0.189
		เหลือง	0.323	0.184
		ม่วง	0.322	0.204
		ชมพู	0.321	0.188
		ใส	0.325	0.197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 แสดงค่าการลดทอน(Attenuation) ก่อน ทำการแขวนสายเคเบิลเส้นที่ 5 (I_5)

ลำดับที่	สีท่อบัฟเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	การลดทอน (dB/km.)	
			ความยาวคลื่น $\lambda = 1310$ nm	ความยาวคลื่น $\lambda = 1550$ nm
I_1	น้ำเงิน	น้ำเงิน	0.322	0.213
		ส้ม	0.331	0.189
		เขียว	0.323	0.207
		น้ำตาล	0.324	0.191
		เงิน	0.341	0.192
		ขาว	0.345	0.202
	ส้ม	แดง	0.322	0.189
		ดำ	0.320	0.207
		เหลือง	0.335	0.187
		ม่วง	0.357	0.192
		ชมพู	0.342	0.189
		ใส	0.340	0.195

ตารางที่ ก.6 แสดงค่าการลดทอน(Attenuation) ก่อน ทำการแขวนสายเคเบิลเส้นที่ 6 (I_6)

ลำดับที่	สีท่อบัฟเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	การลดทอน (dB/km.)	
			ความยาวคลื่น $\lambda = 1310$ nm	ความยาวคลื่น $\lambda = 1550$ nm
I_1	น้ำเงิน	น้ำเงิน	0.314	0.216
		ส้ม	0.335	0.203
		เขียว	0.322	0.186
		น้ำตาล	0.301	0.200
		เงิน	0.330	0.197
		ขาว	0.345	0.209
	ส้ม	แดง	0.346	0.183
		ดำ	0.333	0.195
		เหลือง	0.333	0.193
		ม่วง	0.332	0.186
		ชมพู	0.335	0.190
		ใส	0.349	0.201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 แสดงค่าการลดทอน(Attenuation) ก่อน ทำการแขวนสายเคเบิลเส้นที่ 7 (I_7)

ลำดับที่	สีท่อบัพเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	การลดทอน (dB/km.)	
			ความยาวคลื่น $\lambda = 1310$ nm	ความยาวคลื่น $\lambda = 1550$ nm
I_7	น้ำเงิน	น้ำเงิน	0.330	0.204
		ส้ม	0.353	0.205
		เขียว	0.341	0.201
		น้ำตาล	0.346	0.202
		เงิน	0.358	0.194
		ขาว	0.327	0.202
	ส้ม	แดง	0.331	0.199
		ดำ	0.341	0.202
		เหลือง	0.351	0.192
		ม่วง	0.342	0.200
		ชมพู	0.334	0.193
		ใส	0.336	0.193

ตารางที่ ก.8 แสดงค่าการลดทอน(Attenuation) ก่อน ทำการแขวนสายเคเบิลเส้นที่ 8 (I_8)

ลำดับที่	สีท่อบัพเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	การลดทอน (dB/km.)	
			ความยาวคลื่น $\lambda = 1310$ nm	ความยาวคลื่น $\lambda = 1550$ nm
I_8	น้ำเงิน	น้ำเงิน	0.332	0.197
		ส้ม	0.358	0.199
		เขียว	0.349	0.204
		น้ำตาล	0.329	0.211
		เงิน	0.332	0.199
		ขาว	0.351	0.193
	ส้ม	แดง	0.341	0.199
		ดำ	0.338	0.198
		เหลือง	0.329	0.200
		ม่วง	0.338	0.200
		ชมพู	0.350	0.209
		ใส	0.318	0.196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 แสดงค่าการลดทอน(Attenuation) ก่อน ทำการแขวนสายเคเบิลเส้นที่ 9 (I_9)

ลำดับที่	สีท่อบัพเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	การลดทอน (dB/km.)	
			ความยาวคลื่น $\lambda = 1310$ nm	ความยาวคลื่น $\lambda = 1550$ nm
I_1	น้ำเงิน	น้ำเงิน	0.340	0.184
		ส้ม	0.329	0.196
		เขียว	0.331	0.201
		น้ำตาล	0.337	0.201
		เงิน	0.341	0.198
		ขาว	0.336	0.196
	ส้ม	แดง	0.336	0.199
		ดำ	0.324	0.200
		เหลือง	0.350	0.192
		ม่วง	0.355	0.191
		ชมพู	0.356	0.195
		ใส	0.343	0.196

ตารางที่ ก.10 แสดงค่าการลดทอน(Attenuation) ก่อน ทำการแขวนสายเคเบิลเส้นที่ 10 (I_{10})

ลำดับที่	สีท่อบัพเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	การลดทอน (dB/km.)	
			ความยาวคลื่น $\lambda = 1310$ nm	ความยาวคลื่น $\lambda = 1550$ nm
I_1	น้ำเงิน	น้ำเงิน	0.349	0.200
		ส้ม	0.314	0.198
		เขียว	0.361	0.208
		น้ำตาล	0.352	0.195
		เงิน	0.368	0.179
		ขาว	0.330	0.210
	ส้ม	น้ำเงิน	0.328	0.211
		ดำ	0.350	0.211
		เหลือง	0.343	0.198
		ม่วง	0.338	0.194
		ชมพู	0.359	0.214
		ใส	0.354	0.207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 แสดงค่าการลดทอน(Attenuation) ก่อน ทำการแขวนสายเคเบิลเส้นที่ 11 (I_{11})

ลำดับที่	สีท่อบัพเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	การลดทอน (dB/km.)	
			ความยาวคลื่น $\lambda = 1310 \text{ nm}$	ความยาวคลื่น $\lambda = 1550 \text{ nm}$
I_1	น้ำเงิน	น้ำเงิน	0.333	0.206
		ส้ม	0.353	0.202
		เขียว	0.315	0.198
		น้ำตาล	0.334	0.202
		เงิน	0.337	0.203
		ขาว	0.337	0.206
	ส้ม	น้ำเงิน	0.332	0.209
		ดำ	0.339	0.200
		เหลือง	0.353	0.208
		ม่วง	0.342	0.200
		ชมพู	0.342	0.200
		ใส	0.372	0.211

ตารางที่ ก.12 แสดงค่าการลดทอน(Attenuation) ก่อน ทำการแขวนสายเคเบิลเส้นที่ 12 (I_{12})

ลำดับที่	สีท่อบัพเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	การลดทอน (dB/km.)	
			ความยาวคลื่น $\lambda = 1310 \text{ nm}$	ความยาวคลื่น $\lambda = 1550 \text{ nm}$
I_1	น้ำเงิน	น้ำเงิน	0.343	0.205
		ส้ม	0.358	0.207
		เขียว	0.367	0.206
		น้ำตาล	0.338	0.215
		เงิน	0.353	0.195
		ขาว	0.350	0.203
	ส้ม	แดง	0.358	0.203
		ดำ	0.334	0.205
		เหลือง	0.335	0.196
		ม่วง	0.352	0.210
		ชมพู	0.359	0.209
		ใส	0.342	0.205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ตารางบันทึกผลการทดลอง
การวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงสัปดาห์ที่ 1

ครั้งที่	วันที่ 19-20 พ.ย. 46			เที่ยงวัน				เย็น				เที่ยงคืน				เช้า			
				เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด	
				เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
1	สายเคเบิลใยแก้วนำแสง			การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)			
ลำดับที่	สีท่อปัทเพอร์	สีเส้นใยแก้ว		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.	
11	น้ำเงิน	เขียว		0.316	0.173	0.323	0.170	0.281	0.174	0.320	0.181								
	ส้ม	แดง		0.314	0.186	0.326	0.201	0.224	0.121	0.325	0.183								
12	น้ำเงิน	เขียว		0.311	0.165	0.313	0.179	0.268	0.105	0.318	0.174								
	ส้ม	แดง		0.314	0.169	0.319	0.190	0.261	0.120	0.312	0.176								
13	น้ำเงิน	เขียว		0.313	0.196	0.313	0.170	0.264	0.139	0.298	0.188								
	ส้ม	แดง		0.311	0.173	0.315	0.169	0.299	0.179	0.301	0.181								
14	น้ำเงิน	เขียว		0.310	0.177	0.311	0.183	0.268	0.144	0.332	0.189								
	ส้ม	แดง		0.314	0.175	0.315	0.195	0.287	0.153	0.334	0.188								
15	น้ำเงิน	เขียว		0.319	0.173	0.321	0.180	0.261	0.151	0.297	0.161								
	ส้ม	แดง		0.320	0.173	0.319	0.183	0.259	0.170	0.303	0.166								
16	น้ำเงิน	เขียว		0.321	0.173	0.320	0.172	0.288	0.147	0.312	0.176								
	ส้ม	แดง		0.318	0.183	0.327	0.181	0.275	0.158	0.325	0.170								
17	น้ำเงิน	เขียว		0.312	0.165	0.318	0.174	0.355	0.199	0.302	0.188								
	ส้ม	แดง		0.311	0.187	0.312	0.189	0.309	0.233	0.309	0.171								
18	น้ำเงิน	เขียว		0.307	0.149	0.321	0.169	0.304	0.177	0.309	0.206								
	ส้ม	แดง		0.313	0.181	0.310	0.183	0.301	0.170	0.305	0.170								
19	น้ำเงิน	เขียว		0.316	0.174	0.311	0.191	0.322	0.163	0.334	0.173								
	ส้ม	แดง		0.321	0.177	0.318	0.188	0.321	0.177	0.336	0.173								
110	น้ำเงิน	เขียว		0.317	0.177	0.315	0.192	0.317	0.136	0.303	0.179								
	ส้ม	เขียว		0.328	0.191	0.331	0.191	0.318	0.188	0.298	0.176								
111	น้ำเงิน	เขียว		0.310	0.172	0.301	0.163	0.304	0.168	0.313	0.174								
	ส้ม	เขียว		0.318	0.160	0.317	0.206	0.306	0.183	0.311	0.174								
112	น้ำเงิน	เขียว		0.320	0.174	0.317	0.218	0.307	0.179	0.302	0.178								
	ส้ม	แดง		0.243	0.189	0.314	0.191	0.308	0.180	0.301	0.179								

ตารางที่ ข.2 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงสัปดาห์ที่ 2

ครั้งที่ 2	วันที่ 26-27 พ.ย. 46		เที่ยงวัน				เย็น				เที่ยงคืน				เช้า			
			เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด	
			เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
			11.45 น.	38 C	14.30 น.	38 C	17.45 น.	31 C	20.00 น.	27 C	23.45 น.	25 C	1.20 น.	24 C	5.45 น.	24 C	8.00 น.	35 C
สายเคเบิลใยแก้วนำแสง			การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)			
ลำดับที่	สีท่อพีไฟเบอร์	สีเส้นใยแก้ว	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.		
11	น้ำเงิน ส้ม	เขียว แดง	0.315 0.316	0.173 0.196	0.301 0.321	0.170 0.182	0.316 0.314	0.176 0.187	0.347 0.346	0.171 0.160								
12	น้ำเงิน ส้ม	เขียว แดง	0.308 0.296	0.160 0.162	0.318 0.314	0.172 0.177	0.318 0.321	0.193 0.176	0.322 0.320	0.177 0.178								
13	น้ำเงิน ส้ม	เขียว แดง	0.315 0.298	0.176 0.170	0.310 0.305	0.153 0.170	0.326 0.314	0.181 0.178	0.301 0.307	0.162 0.160								
14	น้ำเงิน ส้ม	เขียว แดง	0.286 0.301	0.184 0.195	0.325 0.321	0.190 0.186	0.321 0.326	0.184 0.191	0.320 0.327	0.181 0.178								
15	น้ำเงิน ส้ม	เขียว แดง	0.294 0.305	0.175 0.181	0.322 0.327	0.177 0.182	0.301 0.303	0.187 0.174	0.305 0.306	0.162 0.168								
16	น้ำเงิน ส้ม	เขียว แดง	0.278 0.302	0.131 0.168	0.310 0.312	0.183 0.177	0.321 0.323	0.171 0.190	0.319 0.328	0.178 0.176								
17	น้ำเงิน ส้ม	เขียว แดง	0.311 0.310	0.182 0.174	0.314 0.320	0.183 0.176	0.319 0.319	0.179 0.189	0.300 0.301	0.188 0.196								
18	น้ำเงิน ส้ม	เขียว แดง	0.302 0.308	0.173 0.173	0.321 0.307	0.167 0.172	0.308 0.311	0.160 0.166	0.303 0.301	0.170 0.185								
19	น้ำเงิน ส้ม	เขียว แดง	0.309 0.308	0.199 0.176	0.312 0.323	0.187 0.184	0.312 0.316	0.164 0.177	0.324 0.326	0.233 0.185								
110	น้ำเงิน ส้ม	เขียว เขียว	0.325 0.326	0.182 0.190	0.314 0.311	0.185 0.178	0.329 0.331	0.186 0.197	0.319 0.319	0.180 0.206								
111	น้ำเงิน ส้ม	เขียว เขียว	0.313 0.313	0.179 0.182	0.328 0.321	0.189 0.182	0.325 0.327	0.178 0.179	0.313 0.312	0.220 0.183								
112	น้ำเงิน ส้ม	เขียว แดง	0.313 0.302	0.190 0.160	0.331 0.321	0.182 0.192	0.317 0.305	0.170 0.179	0.308 0.301	0.180 0.184								

ตารางที่ ข.3 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงลำดับที่ 3

ครั้งที่	วันที่			เที่ยงวัน				เย็น				เที่ยงคืน				เช้า			
				เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด	
				เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
				12.00 น.	35 C	14.00 น.	33 C	17.30 น.	29 C	19.00 น.	26 C	23.45 น.	21 C	1.15 น.	20 C	5.30 น.	18 C	7.00 น.	24 C
สายเคเบิลใยแก้วนำแสง			การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				
ลำดับที่	สีท่อไฟเบอร์	สีเส้นใยแก้ว	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.			
11	น้ำเงิน	เขียว	0.324	0.175	0.312	0.176	0.322	0.179	0.320	0.180	0.320	0.180	0.320	0.180	0.320	0.180			
	ส้ม	แดง	0.315	0.174	0.315	0.195	0.324	0.207	0.318	0.178	0.318	0.178	0.318	0.178	0.318	0.178			
12	น้ำเงิน	เขียว	0.313	0.171	0.316	0.191	0.321	0.186	0.315	0.176	0.315	0.176	0.315	0.176	0.315	0.176			
	ส้ม	แดง	0.318	0.174	0.315	0.175	0.324	0.191	0.320	0.181	0.320	0.181	0.320	0.181	0.320	0.181			
13	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.178	0.318	0.185	0.316	0.197	0.304	0.180	0.304	0.180	0.304	0.180	0.304	0.180			
	ส้ม	แดง	0.313	0.179	0.320	0.184	0.318	0.181	0.305	0.179	0.305	0.179	0.305	0.179	0.305	0.179			
14	น้ำเงิน	เขียว	0.321	0.193	0.323	0.184	0.327	0.195	0.327	0.184	0.327	0.184	0.327	0.184	0.327	0.184			
	ส้ม	แดง	0.322	0.180	0.328	0.176	0.328	0.187	0.326	0.176	0.326	0.176	0.326	0.176	0.326	0.176			
15	น้ำเงิน	เขียว	0.319	0.187	0.323	0.187	0.321	0.189	0.327	0.189	0.327	0.189	0.327	0.189	0.327	0.189			
	ส้ม	แดง	0.319	0.183	0.316	0.182	0.325	0.184	0.327	0.182	0.327	0.182	0.327	0.182	0.327	0.182			
16	น้ำเงิน	เขียว	0.324	0.198	0.318	0.166	0.324	0.171	0.326	0.186	0.326	0.186	0.326	0.186	0.326	0.186			
	ส้ม	แดง	0.322	0.183	0.329	0.185	0.322	0.192	0.325	0.184	0.325	0.184	0.325	0.184	0.325	0.184			
17	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.171	0.309	0.175	0.321	0.179	0.329	0.176	0.329	0.176	0.329	0.176	0.329	0.176			
	ส้ม	แดง	0.318	0.175	0.309	0.176	0.308	0.188	0.313	0.177	0.313	0.177	0.313	0.177	0.313	0.177			
18	น้ำเงิน	เขียว	0.315	0.182	0.320	0.179	0.326	0.170	0.309	0.176	0.309	0.176	0.309	0.176	0.309	0.176			
	ส้ม	แดง	0.314	0.187	0.313	0.177	0.321	0.189	0.304	0.185	0.304	0.185	0.304	0.185	0.304	0.185			
19	น้ำเงิน	เขียว	0.302	0.179	0.315	0.213	0.318	0.187	0.317	0.160	0.317	0.160	0.317	0.160	0.317	0.160			
	ส้ม	แดง	0.309	0.181	0.309	0.167	0.316	0.172	0.313	0.167	0.313	0.167	0.313	0.167	0.313	0.167			
110	น้ำเงิน	เขียว	0.323	0.191	0.315	0.194	0.326	0.181	0.320	0.187	0.320	0.187	0.320	0.187	0.320	0.187			
	ส้ม	เขียว	0.327	0.184	0.313	0.190	0.322	0.189	0.329	0.187	0.329	0.187	0.329	0.187	0.329	0.187			
111	น้ำเงิน	เขียว	0.328	0.192	0.326	0.173	0.322	0.190	0.308	0.170	0.308	0.170	0.308	0.170	0.308	0.170			
	ส้ม	เขียว	0.326	0.184	0.325	0.163	0.326	0.205	0.310	0.162	0.310	0.162	0.310	0.162	0.310	0.162			
112	น้ำเงิน	เขียว	0.316	0.188	0.327	0.171	0.331	0.191	0.323	0.182	0.323	0.182	0.323	0.182	0.323	0.182			
	ส้ม	แดง	0.310	0.185	0.324	0.176	0.328	0.195	0.331	0.174	0.331	0.174	0.331	0.174	0.331	0.174			

ตารางที่ ข.4 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงลำดับที่ 4

ครั้งที่ 4	วันที่ 11-12 ธ.ค. 46		เที่ยงวัน				เย็น				เที่ยงคืน				เช้า			
			เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด	
			เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
			11.45 น.	34 C	14.00 น.	32 C	17.30 น.	28 C	20.00 น.	25 C	23.30 น.	22 C	1.00 น.	21 C	5.30 น.	19 C	7.00 น.	23 C
สายเคเบิลใยแก้วนำแสง			การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)			
ลำดับที่	สีท่อบีทไฟเบอร์	สีเส้นใยแก้ว	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.		
11	นำเงิน	เขียว	0.312	0.184	0.316	0.181	0.319	0.180	0.316	0.173								
	ส้ม	แดง	0.308	0.185	0.317	0.179	0.331	0.194	0.317	0.193								
12	นำเงิน	เขียว	0.311	0.174	0.317	0.182	0.322	0.183	0.319	0.176								
	ส้ม	แดง	0.311	0.164	0.319	0.176	0.325	0.183	0.317	0.178								
13	นำเงิน	เขียว	0.309	0.195	0.318	0.188	0.319	0.195	0.309	0.174								
	ส้ม	แดง	0.310	0.170	0.318	0.181	0.317	0.178	0.309	0.181								
14	นำเงิน	เขียว	0.319	0.175	0.325	0.189	0.327	0.199	0.327	0.193								
	ส้ม	แดง	0.320	0.172	0.327	0.183	0.327	0.181	0.323	0.178								
15	นำเงิน	เขียว	0.321	0.193	0.325	0.186	0.323	0.187	0.325	0.188								
	ส้ม	แดง	0.325	0.187	0.320	0.187	0.320	0.187	0.320	0.185								
16	นำเงิน	เขียว	0.318	0.173	0.322	0.174	0.325	0.190	0.326	0.182								
	ส้ม	แดง	0.319	0.179	0.325	0.183	0.321	0.184	0.321	0.190								
17	นำเงิน	เขียว	0.315	0.183	0.317	0.185	0.327	0.176	0.327	0.176								
	ส้ม	แดง	0.306	0.182	0.313	0.180	0.314	0.182	0.318	0.180								
18	นำเงิน	เขียว	0.320	0.183	0.315	0.181	0.318	0.182	0.308	0.172								
	ส้ม	แดง	0.312	0.186	0.312	0.184	0.315	0.186	0.306	0.185								
19	นำเงิน	เขียว	0.302	0.170	0.315	0.200	0.318	0.178	0.318	0.168								
	ส้ม	แดง	0.306	0.172	0.315	0.171	0.316	0.172	0.318	0.168								
110	นำเงิน	เขียว	0.321	0.184	0.324	0.192	0.320	0.181	0.322	0.191								
	ส้ม	เขียว	0.329	0.192	0.322	0.190	0.326	0.188	0.327	0.190								
111	นำเงิน	เขียว	0.322	0.172	0.325	0.174	0.315	0.197	0.317	0.176								
	ส้ม	เขียว	0.324	0.185	0.326	0.160	0.322	0.196	0.319	0.166								
112	นำเงิน	เขียว	0.317	0.170	0.329	0.174	0.329	0.178	0.322	0.175								
	ส้ม	แดง	0.320	0.194	0.327	0.175	0.328	0.199	0.324	0.184								

ตารางที่ ข.5 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงลำดับที่ 5

ครั้งที่	วันที่ 17-18 ธ.ค. 46			เที่ยงวัน				เย็น				เที่ยงคืน				เช้า			
				เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด	
				เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
				11.45 น.	36 C	14.00 น.	33 C	17.45 น.	28 C	20.00 น.	25 C	23.30 น.	23 C	1.00 น.	22 C	5.30 น.	20 C	7.00 น.	22 C
สายเคเบิลใยแก้วนำแสง				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)							
ลำดับที่	สีท่อปัทพ์เฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		
11	น้ำเงิน	เขียว	0.314	0.180	0.319	0.184	0.315	0.180	0.311	0.166									
	ส้ม	แดง	0.312	0.179	0.319	0.188	0.337	0.180	0.315	0.208									
12	น้ำเงิน	เขียว	0.314	0.172	0.318	0.180	0.322	0.179	0.323	0.176									
	ส้ม	แดง	0.312	0.173	0.322	0.174	0.325	0.175	0.314	0.174									
13	น้ำเงิน	เขียว	0.302	0.175	0.318	0.156	0.321	0.192	0.314	0.168									
	ส้ม	แดง	0.308	0.171	0.315	0.180	0.315	0.175	0.313	0.182									
14	น้ำเงิน	เขียว	0.319	0.173	0.326	0.177	0.327	0.203	0.326	0.202									
	ส้ม	แดง	0.315	0.188	0.326	0.191	0.325	0.175	0.320	0.179									
15	น้ำเงิน	เขียว	0.320	0.190	0.327	0.192	0.325	0.184	0.322	0.186									
	ส้ม	แดง	0.314	0.181	0.323	0.178	0.314	0.189	0.312	0.188									
16	น้ำเงิน	เขียว	0.321	0.170	0.326	0.178	0.326	0.208	0.325	0.177									
	ส้ม	แดง	0.323	0.171	0.321	0.184	0.319	0.176	0.317	0.195									
17	น้ำเงิน	เขียว	0.315	0.171	0.325	0.192	0.332	0.172	0.325	0.175									
	ส้ม	แดง	0.311	0.172	0.316	0.181	0.320	0.176	0.323	0.182									
18	น้ำเงิน	เขียว	0.304	0.180	0.310	0.175	0.309	0.193	0.307	0.168									
	ส้ม	แดง	0.306	0.183	0.311	0.170	0.308	0.182	0.308	0.185									
19	น้ำเงิน	เขียว	0.310	0.181	0.315	0.186	0.317	0.169	0.318	0.176									
	ส้ม	แดง	0.320	0.162	0.321	0.192	0.315	0.171	0.321	0.179									
110	น้ำเงิน	เขียว	0.327	0.177	0.332	0.187	0.313	0.181	0.323	0.195									
	ส้ม	เขียว	0.329	0.187	0.331	0.193	0.329	0.186	0.324	0.192									
111	น้ำเงิน	เขียว	0.311	0.193	0.323	0.178	0.308	0.203	0.326	0.182									
	ส้ม	เขียว	0.314	0.189	0.326	0.155	0.318	0.186	0.328	0.169									
112	น้ำเงิน	เขียว	0.318	0.186	0.330	0.180	0.326	0.165	0.320	0.167									
	ส้ม	แดง	0.314	0.186	0.330	0.181	0.327	0.203	0.317	0.194									

ตารางที่ ข.6 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงลำดับที่ 6

ครั้งที่	วันที่			เที่ยงวัน				เย็น				เที่ยงคืน				เช้า			
				เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด	
				เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
				11.45 น.	41 C	13.30 น.	35 C	17.45 น.	30 C	19.15 น.	28 C	23.30 น.	22 C	1.00 น.	21 C	5.30 น.	19 C	7.15 น.	20 C
สายเคเบิลใยแก้วนำแสง			การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				
ลำดับที่	สีท่อปฟเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.			
11	น้ำเงิน	เขียว	0.316	0.171	0.314	0.162	0.313	0.176	0.315	0.191	0.316	0.171	0.314	0.162	0.313	0.176			
	ส้ม	แดง	0.302	0.171	0.306	0.177	0.314	0.162	0.317	0.162	0.317	0.162	0.317	0.162	0.317	0.162			
12	น้ำเงิน	เขียว	0.315	0.168	0.304	0.172	0.306	0.175	0.318	0.174	0.315	0.168	0.304	0.172	0.306	0.175			
	ส้ม	แดง	0.312	0.172	0.308	0.189	0.308	0.162	0.302	0.168	0.302	0.168	0.302	0.168	0.302	0.168			
13	น้ำเงิน	เขียว	0.308	0.185	0.310	0.171	0.305	0.171	0.321	0.170	0.308	0.171	0.310	0.171	0.305	0.171			
	ส้ม	แดง	0.306	0.164	0.308	0.170	0.303	0.170	0.314	0.177	0.306	0.164	0.308	0.170	0.303	0.170			
14	น้ำเงิน	เขียว	0.321	0.169	0.308	0.184	0.320	0.201	0.322	0.173	0.321	0.169	0.308	0.184	0.320	0.201			
	ส้ม	แดง	0.323	0.168	0.304	0.178	0.316	0.187	0.322	0.193	0.323	0.168	0.304	0.178	0.316	0.187			
15	น้ำเงิน	เขียว	0.318	0.184	0.304	0.170	0.317	0.185	0.320	0.172	0.318	0.184	0.304	0.170	0.317	0.185			
	ส้ม	แดง	0.312	0.164	0.320	0.169	0.311	0.182	0.313	0.177	0.312	0.164	0.320	0.169	0.311	0.182			
16	น้ำเงิน	เขียว	0.322	0.189	0.322	0.178	0.322	0.171	0.323	0.189	0.322	0.189	0.322	0.178	0.322	0.171			
	ส้ม	แดง	0.319	0.167	0.312	0.170	0.316	0.192	0.322	0.180	0.319	0.167	0.312	0.170	0.316	0.192			
17	น้ำเงิน	เขียว	0.312	0.194	0.307	0.175	0.302	0.171	0.323	0.189	0.312	0.194	0.307	0.175	0.302	0.171			
	ส้ม	แดง	0.309	0.179	0.310	0.171	0.316	0.178	0.320	0.185	0.309	0.179	0.310	0.171	0.316	0.178			
18	น้ำเงิน	เขียว	0.302	0.164	0.302	0.177	0.319	0.184	0.312	0.189	0.302	0.164	0.302	0.177	0.319	0.184			
	ส้ม	แดง	0.311	0.175	0.307	0.163	0.302	0.171	0.312	0.175	0.311	0.175	0.307	0.163	0.302	0.171			
19	น้ำเงิน	เขียว	0.302	0.178	0.302	0.188	0.317	0.208	0.321	0.186	0.302	0.178	0.302	0.188	0.317	0.208			
	ส้ม	แดง	0.310	0.178	0.316	0.168	0.320	0.178	0.311	0.174	0.310	0.178	0.316	0.168	0.320	0.178			
110	น้ำเงิน	เขียว	0.321	0.175	0.305	0.182	0.314	0.176	0.323	0.185	0.321	0.175	0.305	0.182	0.314	0.176			
	ส้ม	เขียว	0.328	0.182	0.312	0.177	0.310	0.186	0.329	0.191	0.328	0.182	0.312	0.177	0.310	0.186			
111	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.164	0.316	0.186	0.302	0.176	0.317	0.195	0.317	0.164	0.316	0.186	0.302	0.176			
	ส้ม	เขียว	0.321	0.173	0.312	0.160	0.318	0.185	0.324	0.162	0.321	0.173	0.312	0.160	0.318	0.185			
112	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.182	0.310	0.165	0.319	0.179	0.324	0.173	0.317	0.182	0.310	0.165	0.319	0.179			
	ส้ม	แดง	0.313	0.183	0.309	0.165	0.323	0.169	0.326	0.174	0.313	0.183	0.309	0.165	0.323	0.169			

ตารางที่ ข.7 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงสปตาห์ที่ 7

ครั้งที่	วันที่			เที่ยงวัน				เย็น				เที่ยงคืน				เช้า			
				เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด	
				เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
				12.00 น.	37 C	14.10 น.	35 C	17.45 น.	31 C	19.00 น.	28 C	23.30 น.	23 C	0.40 น.	22 C	5.30 น.	19 C	7.00 น.	20 C
สายเคเบิลใยแก้วนำแสง			การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)		การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				
ลำดับที่	สีท่อออปติก	สีเส้นใยแก้ว	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.	1310 nm.	1550 nm.			
11	น้ำเงิน	เขียว	0.314	0.176	0.315	0.175	0.317	0.180	0.320	0.179									
	ส้ม	แดง	0.318	0.160	0.320	0.175	0.314	0.164	0.323	0.160									
12	น้ำเงิน	เขียว	0.311	0.175	0.307	0.169	0.317	0.174	0.317	0.176									
	ส้ม	แดง	0.308	0.156	0.314	0.195	0.310	0.179	0.317	0.176									
13	น้ำเงิน	เขียว	0.310	0.165	0.317	0.163	0.313	0.165	0.319	0.171									
	ส้ม	แดง	0.308	0.172	0.313	0.171	0.315	0.186	0.320	0.181									
14	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.191	0.319	0.174	0.315	0.175	0.315	0.188									
	ส้ม	แดง	0.318	0.172	0.312	0.193	0.328	0.179	0.315	0.183									
15	น้ำเงิน	เขียว	0.316	0.181	0.310	0.168	0.321	0.181	0.318	0.170									
	ส้ม	แดง	0.314	0.173	0.315	0.171	0.326	0.179	0.325	0.174									
16	น้ำเงิน	เขียว	0.315	0.186	0.317	0.178	0.317	0.185	0.323	0.174									
	ส้ม	แดง	0.318	0.175	0.314	0.171	0.320	0.161	0.326	0.175									
17	น้ำเงิน	เขียว	0.314	0.176	0.325	0.177	0.321	0.185	0.318	0.179									
	ส้ม	แดง	0.314	0.177	0.315	0.189	0.321	0.188	0.318	0.189									
18	น้ำเงิน	เขียว	0.308	0.168	0.308	0.165	0.318	0.165	0.311	0.169									
	ส้ม	แดง	0.306	0.177	0.309	0.171	0.309	0.167	0.318	0.165									
19	น้ำเงิน	เขียว	0.315	0.208	0.326	0.199	0.318	0.160	0.318	0.171									
	ส้ม	แดง	0.315	0.176	0.314	0.178	0.307	0.163	0.316	0.176									
110	น้ำเงิน	เขียว	0.332	0.188	0.321	0.175	0.316	0.179	0.312	0.195									
	ส้ม	เขียว	0.321	0.185	0.330	0.190	0.328	0.187	0.327	0.187									
111	น้ำเงิน	เขียว	0.321	0.192	0.318	0.189	0.311	0.192	0.324	0.192									
	ส้ม	เขียว	0.324	0.193	0.324	0.196	0.321	0.180	0.321	0.160									
112	น้ำเงิน	เขียว	0.315	0.174	0.329	0.201	0.323	0.167	0.325	0.179									
	ส้ม	แดง	0.317	0.184	0.310	0.190	0.321	0.177	0.321	0.184									

ตารางที่ ข.8 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงลำดับที่ 8

ครั้งที่	วันที่			เที่ยงวัน				เย็น				เที่ยงคืน				เช้า			
				เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด	
				เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
8	14-15 ม.ค. 47			11.40 น.	39 C	13.40 น.	35 C	17.30 น.	30 C	18.30 น.	29 C	23.30 น.	26 C	1.00 น.	24 C	5.30 น.	23 C	6.40 น.	23 C
สายเคเบิลใยแก้วนำแสง				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)			
ลำดับที่	สีท่อปัทเทอร์	สีเส้นใยแก้ว	1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		
11	น้ำเงิน	เขียว	0.314	0.184	0.322	0.185	0.303	0.188	0.316	0.183									
	ส้ม	แดง	0.312	0.182	0.321	0.162	0.310	0.189	0.318	0.184									
12	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.175	0.317	0.172	0.313	0.184	0.309	0.171									
	ส้ม	แดง	0.319	0.172	0.320	0.177	0.312	0.165	0.306	0.190									
13	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.144	0.316	0.191	0.302	0.186	0.315	0.196									
	ส้ม	แดง	0.312	0.179	0.317	0.177	0.318	0.179	0.307	0.186									
14	น้ำเงิน	เขียว	0.322	0.172	0.327	0.193	0.332	0.173	0.310	0.198									
	ส้ม	แดง	0.321	0.181	0.322	0.190	0.328	0.179	0.309	0.182									
15	น้ำเงิน	เขียว	0.323	0.173	0.329	0.185	0.306	0.193	0.320	0.174									
	ส้ม	แดง	0.318	0.186	0.324	0.191	0.316	0.185	0.310	0.187									
16	น้ำเงิน	เขียว	0.318	0.192	0.322	0.182	0.317	0.204	0.319	0.189									
	ส้ม	แดง	0.323	0.203	0.323	0.181	0.319	0.187	0.314	0.173									
17	น้ำเงิน	เขียว	0.318	0.188	0.325	0.194	0.315	0.194	0.325	0.173									
	ส้ม	แดง	0.316	0.189	0.320	0.184	0.306	0.195	0.301	0.185									
18	น้ำเงิน	เขียว	0.316	0.188	0.325	0.183	0.309	0.179	0.317	0.167									
	ส้ม	แดง	0.311	0.185	0.319	0.190	0.321	0.189	0.301	0.171									
19	น้ำเงิน	เขียว	0.318	0.146	0.312	0.187	0.313	0.188	0.316	0.188									
	ส้ม	แดง	0.316	0.177	0.315	0.175	0.326	0.177	0.310	0.184									
110	น้ำเงิน	เขียว	0.326	0.190	0.317	0.190	0.319	0.169	0.323	0.184									
	ส้ม	เขียว	0.332	0.187	0.328	0.189	0.336	0.192	0.318	0.184									
111	น้ำเงิน	เขียว	0.320	0.188	0.317	0.175	0.329	0.186	0.308	0.169									
	ส้ม	เขียว	0.323	0.163	0.325	0.156	0.324	0.180	0.315	0.173									
112	น้ำเงิน	เขียว	0.325	0.166	0.317	0.176	0.330	0.229	0.320	0.178									
	ส้ม	แดง	0.319	0.193	0.309	0.173	0.318	0.168	0.315	0.185									

ตารางที่ ข.9 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงสัปดาห์ที่ 9

ครั้งที่	วันที่			เที่ยงวัน				เย็น				เที่ยงคืน				เช้า			
				เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด	
				เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
				11.300 น.	39 C	13.30 น.	37 C	17.30 น.	30 C	18.30 น.	29 C	23.30 น.	25 C	1.00 น.	24 C	5.30 น.	22 C	6.30 น.	22 C
สายเคเบิลใยแก้วนำแสง				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)			
ลำดับที่	สีท่อปัทเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		
11	น้ำเงิน	เขียว	0.314	0.184	0.318	0.180	0.308	0.182	0.312	0.180	0.317	0.189	0.312	0.192	0.310	0.175	0.308	0.175	
	ส้ม	แดง	0.311	0.178	0.318	0.177	0.312	0.192	0.317	0.189	0.310	0.175	0.308	0.175	0.310	0.175	0.308	0.175	
12	น้ำเงิน	เขียว	0.313	0.179	0.315	0.180	0.314	0.179	0.310	0.175	0.313	0.179	0.310	0.175	0.308	0.185	0.312	0.173	
	ส้ม	แดง	0.313	0.170	0.318	0.178	0.312	0.175	0.308	0.183	0.314	0.171	0.310	0.176	0.318	0.196	0.324	0.182	
13	น้ำเงิน	เขียว	0.315	0.153	0.312	0.189	0.308	0.193	0.322	0.183	0.315	0.182	0.324	0.184	0.317	0.189	0.312	0.192	
	ส้ม	แดง	0.308	0.173	0.311	0.173	0.314	0.171	0.310	0.176	0.318	0.173	0.318	0.183	0.315	0.183	0.315	0.178	
14	น้ำเงิน	เขียว	0.318	0.173	0.318	0.179	0.324	0.173	0.318	0.196	0.317	0.173	0.317	0.183	0.317	0.182	0.317	0.182	
	ส้ม	แดง	0.314	0.179	0.315	0.180	0.325	0.178	0.315	0.183	0.314	0.185	0.318	0.182	0.314	0.182	0.314	0.185	
15	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.173	0.324	0.187	0.312	0.191	0.318	0.188	0.317	0.183	0.317	0.182	0.317	0.182	0.317	0.182	
	ส้ม	แดง	0.314	0.182	0.320	0.190	0.321	0.185	0.308	0.182	0.314	0.185	0.314	0.182	0.314	0.182	0.314	0.182	
16	น้ำเงิน	เขียว	0.318	0.180	0.323	0.180	0.318	0.194	0.321	0.188	0.318	0.185	0.321	0.188	0.319	0.188	0.319	0.188	
	ส้ม	แดง	0.319	0.189	0.322	0.187	0.319	0.185	0.323	0.184	0.319	0.185	0.323	0.184	0.319	0.184	0.319	0.184	
17	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.189	0.323	0.190	0.315	0.182	0.324	0.184	0.317	0.182	0.324	0.184	0.317	0.184	0.317	0.184	
	ส้ม	แดง	0.312	0.182	0.314	0.179	0.311	0.182	0.308	0.186	0.312	0.182	0.308	0.186	0.312	0.186	0.312	0.186	
18	น้ำเงิน	เขียว	0.310	0.181	0.322	0.179	0.312	0.180	0.313	0.175	0.310	0.178	0.313	0.175	0.310	0.177	0.310	0.177	
	ส้ม	แดง	0.311	0.173	0.314	0.180	0.316	0.178	0.308	0.177	0.311	0.178	0.308	0.177	0.311	0.177	0.311	0.177	
19	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.159	0.309	0.177	0.316	0.198	0.314	0.192	0.317	0.198	0.314	0.192	0.317	0.192	0.317	0.192	
	ส้ม	แดง	0.314	0.173	0.311	0.172	0.323	0.175	0.312	0.178	0.314	0.175	0.312	0.178	0.314	0.178	0.314	0.178	
110	น้ำเงิน	เขียว	0.325	0.186	0.319	0.186	0.320	0.182	0.323	0.182	0.325	0.182	0.323	0.182	0.325	0.182	0.325	0.182	
	ส้ม	เขียว	0.328	0.188	0.320	0.194	0.327	0.186	0.320	0.187	0.328	0.186	0.320	0.187	0.328	0.187	0.328	0.187	
111	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.175	0.318	0.174	0.323	0.177	0.313	0.175	0.317	0.177	0.313	0.175	0.317	0.175	0.317	0.175	
	ส้ม	เขียว	0.322	0.165	0.323	0.183	0.324	0.197	0.321	0.191	0.322	0.197	0.321	0.191	0.322	0.191	0.322	0.191	
112	น้ำเงิน	เขียว	0.326	0.172	0.322	0.200	0.326	0.224	0.323	0.192	0.326	0.224	0.323	0.192	0.326	0.192	0.326	0.192	
	ส้ม	แดง	0.318	0.182	0.307	0.177	0.320	0.176	0.315	0.187	0.318	0.176	0.315	0.187	0.318	0.187	0.318	0.187	

ตารางที่ ข.10 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงลำดับที่ 10

ครั้งที่	วันที่ 28-29 ม.ค. 47			เที่ยงวัน				เย็น				เที่ยงคืน				เช้า			
				เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด	
				เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
10				11.30 น.	38 C	13.30 น.	37 C	17.30 น.	31 C	19.00 น.	29 C	23.30 น.	24 C	0.30 น.	23 C	5.30 น.	21 C	6.30 น.	21 C
สายเคเบิลใยแก้วนำแสง				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)			
ลำดับที่	สีท่อปฟเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.	
11	น้ำเงิน	เขียว	แดง	0.314	0.183	0.314	0.175	0.313	0.176	0.308	0.176	0.316	0.194	0.310	0.173	0.310	0.178	0.310	0.179
12	น้ำเงิน	เขียว	แดง	0.308	0.183	0.313	0.187	0.314	0.173	0.310	0.178	0.311	0.185	0.310	0.179	0.310	0.179	0.310	0.179
13	น้ำเงิน	เขียว	แดง	0.312	0.162	0.308	0.166	0.314	0.199	0.328	0.169	0.309	0.162	0.312	0.166	0.312	0.166	0.312	0.166
14	น้ำเงิน	เขียว	แดง	0.314	0.173	0.309	0.164	0.316	0.173	0.326	0.193	0.322	0.177	0.320	0.183	0.320	0.183	0.320	0.183
15	น้ำเงิน	เขียว	แดง	0.311	0.172	0.319	0.189	0.318	0.188	0.315	0.192	0.326	0.184	0.305	0.176	0.305	0.176	0.305	0.176
16	น้ำเงิน	เขียว	แดง	0.318	0.168	0.324	0.177	0.318	0.183	0.322	0.187	0.318	0.182	0.322	0.187	0.322	0.187	0.322	0.187
17	น้ำเงิน	เขียว	แดง	0.315	0.190	0.320	0.186	0.315	0.170	0.322	0.195	0.316	0.168	0.315	0.187	0.315	0.187	0.315	0.187
18	น้ำเงิน	เขียว	แดง	0.303	0.174	0.319	0.174	0.315	0.181	0.309	0.183	0.311	0.166	0.315	0.183	0.315	0.183	0.315	0.183
19	น้ำเงิน	เขียว	แดง	0.316	0.171	0.306	0.166	0.318	0.207	0.311	0.196	0.319	0.173	0.313	0.171	0.313	0.171	0.313	0.171
110	น้ำเงิน	เขียว	เขียว	0.323	0.182	0.320	0.182	0.321	0.194	0.323	0.179	0.318	0.180	0.321	0.189	0.321	0.189	0.321	0.189
111	น้ำเงิน	เขียว	เขียว	0.314	0.161	0.318	0.173	0.317	0.168	0.317	0.180	0.324	0.214	0.326	0.209	0.326	0.209	0.326	0.209
112	น้ำเงิน	เขียว	แดง	0.327	0.177	0.327	0.224	0.321	0.219	0.326	0.206	0.321	0.184	0.326	0.206	0.326	0.206	0.326	0.206
				0.317	0.171	0.304	0.180	0.321	0.184	0.315	0.189	0.321	0.184	0.315	0.189	0.315	0.189	0.315	0.189

ตารางที่ ข.11 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงสัปดาห์ที่ 11

ครั้งที่	วันที่ 4-5 ก.พ. 47			เที่ยงวัน				เย็น				เที่ยงคืน				เช้า			
				เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด	
				เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
				11.30 น.	39 C	13.30 น.	37 C	17.30 น.	31 C	19.15 น.	29 C	23.30 น.	26 C	1.30 น.	26 C	5.30 น.	24 C	7.00 น.	24 C
สายเคเบิลใยแก้วนำแสง				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)			
ลำดับที่	สีท่อปัทพ์เฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		
11	น้ำเงิน	เขียว	0.314	0.175	0.321	0.179	0.320	0.186	0.317	0.178	0.320	0.186	0.317	0.178	0.320	0.186	0.317	0.178	
	ส้ม	แดง	0.320	0.180	0.320	0.181	0.323	0.202	0.325	0.210	0.323	0.202	0.325	0.210	0.323	0.202	0.325	0.210	
12	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.182	0.321	0.179	0.321	0.174	0.316	0.174	0.317	0.177	0.317	0.174	0.317	0.177	0.317	0.174	
	ส้ม	แดง	0.319	0.173	0.322	0.181	0.325	0.177	0.316	0.174	0.321	0.174	0.317	0.177	0.317	0.174	0.317	0.174	
13	น้ำเงิน	เขียว	0.323	0.176	0.319	0.181	0.317	0.173	0.315	0.196	0.317	0.173	0.315	0.196	0.315	0.196	0.315	0.196	
	ส้ม	แดง	0.312	0.174	0.321	0.183	0.320	0.172	0.315	0.196	0.312	0.172	0.319	0.175	0.315	0.196	0.315	0.196	
14	น้ำเงิน	เขียว	0.320	0.183	0.324	0.202	0.323	0.177	0.327	0.186	0.320	0.177	0.327	0.186	0.320	0.177	0.327	0.186	
	ส้ม	แดง	0.324	0.184	0.316	0.183	0.314	0.198	0.324	0.199	0.324	0.198	0.324	0.199	0.324	0.198	0.324	0.199	
15	น้ำเงิน	เขียว	0.318	0.184	0.323	0.188	0.319	0.190	0.328	0.179	0.319	0.190	0.328	0.179	0.319	0.190	0.328	0.179	
	ส้ม	แดง	0.323	0.187	0.320	0.181	0.327	0.180	0.315	0.190	0.323	0.187	0.320	0.181	0.327	0.180	0.323	0.187	
16	น้ำเงิน	เขียว	0.324	0.179	0.325	0.190	0.321	0.195	0.331	0.188	0.321	0.195	0.331	0.188	0.321	0.195	0.331	0.188	
	ส้ม	แดง	0.329	0.188	0.324	0.174	0.319	0.180	0.331	0.188	0.329	0.188	0.324	0.174	0.319	0.180	0.329	0.188	
17	น้ำเงิน	เขียว	0.320	0.179	0.328	0.187	0.318	0.179	0.324	0.184	0.320	0.179	0.324	0.184	0.320	0.179	0.324	0.184	
	ส้ม	แดง	0.322	0.174	0.314	0.180	0.317	0.190	0.312	0.176	0.322	0.174	0.314	0.180	0.317	0.190	0.312	0.176	
18	น้ำเงิน	เขียว	0.316	0.172	0.323	0.200	0.326	0.187	0.322	0.170	0.316	0.172	0.323	0.200	0.326	0.187	0.322	0.170	
	ส้ม	แดง	0.324	0.175	0.320	0.188	0.317	0.184	0.318	0.186	0.324	0.175	0.320	0.188	0.317	0.184	0.318	0.186	
19	น้ำเงิน	เขียว	0.322	0.169	0.325	0.186	0.321	0.179	0.319	0.193	0.322	0.169	0.325	0.186	0.321	0.179	0.319	0.193	
	ส้ม	แดง	0.324	0.179	0.320	0.179	0.318	0.190	0.320	0.175	0.324	0.179	0.320	0.179	0.318	0.190	0.320	0.175	
110	น้ำเงิน	เขียว	0.332	0.188	0.325	0.185	0.329	0.185	0.321	0.182	0.332	0.188	0.325	0.188	0.321	0.182	0.332	0.188	
	ส้ม	เขียว	0.333	0.189	0.328	0.180	0.335	0.190	0.338	0.198	0.333	0.189	0.328	0.189	0.333	0.189	0.328	0.189	
111	น้ำเงิน	เขียว	0.322	0.190	0.320	0.192	0.329	0.191	0.326	0.200	0.322	0.190	0.320	0.192	0.329	0.191	0.326	0.200	
	ส้ม	เขียว	0.325	0.175	0.330	0.196	0.334	0.190	0.331	0.182	0.325	0.175	0.330	0.196	0.334	0.190	0.331	0.182	
112	น้ำเงิน	เขียว	0.332	0.188	0.330	0.169	0.328	0.212	0.321	0.203	0.332	0.188	0.330	0.169	0.328	0.212	0.321	0.203	
	ส้ม	แดง	0.320	0.186	0.328	0.177	0.327	0.190	0.322	0.179	0.320	0.186	0.328	0.177	0.327	0.190	0.322	0.179	

ตารางที่ ข.12 ผลการวัดการลดทอนสัญญาณในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงลำดับที่ 12

ครั้งที่ 12	วันที่ 11-12 ก.พ. 47		เที่ยงวัน				เย็น				เที่ยงคืน				เช้า			
			เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด		เริ่มต้น		สิ้นสุด	
			เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
			11.30 น.	35 C	13.30 น.	34 C	17.30 น.	31 C	19.00 น.	28 C	23.30 น.	24 C	0.45 น.	22 C	5.30 น.	20 C	6.30 น.	19 C
สายเคเบิลใยแก้วนำแสง			การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)				การลดทอน(dB/km.) ความยาวคลื่น (l)			
ลำดับที่	สีท่อปฟเฟอร์	สีเส้นใยแก้ว	1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.		1310 nm.		1550 nm.	
11	น้ำเงิน	เขียว	0.315	0.180	0.321	0.186	0.320	0.178	0.326	0.190	0.326	0.190	0.326	0.190	0.326	0.190	0.326	0.190
	ส้ม	แดง	0.313	0.176	0.319	0.183	0.325	0.186	0.331	0.174	0.331	0.174	0.331	0.174	0.331	0.174	0.331	0.174
12	น้ำเงิน	เขียว	0.322	0.177	0.323	0.181	0.322	0.179	0.322	0.178	0.322	0.178	0.322	0.178	0.322	0.178	0.322	0.178
	ส้ม	แดง	0.315	0.185	0.320	0.175	0.320	0.194	0.328	0.195	0.328	0.195	0.328	0.195	0.328	0.195	0.328	0.195
13	น้ำเงิน	เขียว	0.315	0.172	0.318	0.193	0.317	0.193	0.322	0.211	0.322	0.211	0.322	0.211	0.322	0.211	0.322	0.211
	ส้ม	แดง	0.312	0.175	0.313	0.191	0.319	0.181	0.318	0.178	0.318	0.178	0.318	0.178	0.318	0.178	0.318	0.178
14	น้ำเงิน	เขียว	0.319	0.186	0.322	0.192	0.322	0.187	0.329	0.188	0.329	0.188	0.329	0.188	0.329	0.188	0.329	0.188
	ส้ม	แดง	0.322	0.191	0.329	0.189	0.334	0.194	0.330	0.185	0.330	0.185	0.330	0.185	0.330	0.185	0.330	0.185
15	น้ำเงิน	เขียว	0.320	0.182	0.321	0.198	0.326	0.193	0.330	0.188	0.330	0.188	0.330	0.188	0.330	0.188	0.330	0.188
	ส้ม	แดง	0.321	0.180	0.329	0.179	0.328	0.188	0.333	0.187	0.333	0.187	0.333	0.187	0.333	0.187	0.333	0.187
16	น้ำเงิน	เขียว	0.325	0.177	0.333	0.183	0.325	0.193	0.330	0.187	0.330	0.187	0.330	0.187	0.330	0.187	0.330	0.187
	ส้ม	แดง	0.323	0.190	0.328	0.189	0.325	0.187	0.333	0.190	0.333	0.190	0.333	0.190	0.333	0.190	0.333	0.190
17	น้ำเงิน	เขียว	0.322	0.175	0.328	0.179	0.326	0.180	0.333	0.184	0.333	0.184	0.333	0.184	0.333	0.184	0.333	0.184
	ส้ม	แดง	0.318	0.185	0.324	0.176	0.324	0.194	0.327	0.186	0.327	0.186	0.327	0.186	0.327	0.186	0.327	0.186
18	น้ำเงิน	เขียว	0.317	0.186	0.316	0.174	0.322	0.189	0.332	0.183	0.332	0.183	0.332	0.183	0.332	0.183	0.332	0.183
	ส้ม	แดง	0.315	0.169	0.320	0.179	0.321	0.187	0.323	0.184	0.323	0.184	0.323	0.184	0.323	0.184	0.323	0.184
19	น้ำเงิน	เขียว	0.312	0.177	0.316	0.193	0.324	0.170	0.320	0.199	0.320	0.199	0.320	0.199	0.320	0.199	0.320	0.199
	ส้ม	แดง	0.312	0.182	0.321	0.186	0.314	0.198	0.320	0.183	0.320	0.183	0.320	0.183	0.320	0.183	0.320	0.183
110	น้ำเงิน	เขียว	0.329	0.187	0.332	0.184	0.324	0.198	0.328	0.201	0.328	0.201	0.328	0.201	0.328	0.201	0.328	0.201
	ส้ม	เขียว	0.328	0.196	0.333	0.192	0.332	0.197	0.334	0.199	0.334	0.199	0.334	0.199	0.334	0.199	0.334	0.199
111	น้ำเงิน	เขียว	0.325	0.194	0.321	0.183	0.324	0.191	0.324	0.201	0.324	0.201	0.324	0.201	0.324	0.201	0.324	0.201
	ส้ม	เขียว	0.319	0.192	0.324	0.184	0.323	0.187	0.332	0.197	0.332	0.197	0.332	0.197	0.332	0.197	0.332	0.197
112	น้ำเงิน	เขียว	0.323	0.196	0.329	0.188	0.321	0.175	0.324	0.212	0.324	0.212	0.324	0.212	0.324	0.212	0.324	0.212
	ส้ม	แดง	0.321	0.191	0.321	0.196	0.320	0.187	0.322	0.192	0.322	0.192	0.322	0.192	0.322	0.192	0.322	0.192

ภาคผนวก ค

การลดทอนสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสง

ลักษณะเฉพาะของเส้นใยแก้วนำแสงขึ้นกับวัสดุที่เป็นส่วนผสมของเส้นใยแก้วนำแสง รูปทรง และขนาดของเส้นใยแก้วนำแสง องค์ประกอบหลายอย่างเช่น ส่วนผสมของแก้ว, เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของเส้นใยแก้ว และ การกระจายตัวของดัชนีหักเหในเส้นใยแก้วนำแสง มีผลต่อลักษณะเฉพาะของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสิ้น ความไม่สมมาตรแบบ ความไม่สมมาตร (Non-Concentricity) ในเส้นใยแก้วนำแสง ความโค้งงอเล็กๆ (Small bends or Microbends) ก็ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณเช่นกัน โดยทั่วไปถ้าเรากล่าวถึงสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง เราจะมุ่งความสนใจไปที่ การลดทอนสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสง และอัตราการส่งสัญญาณที่สามารถส่งได้ (Losses and data rate)

ตารางที่ ค.1 สาเหตุที่ทำให้เกิดการลดทอนในเส้นใยแก้วนำแสง

การลดทอน	สาเหตุภายใน	สาเหตุภายนอก
การสะท้อนกลับ	การกระเจิงแบบ - เรย์เลห์(Rayleigh) - บัรวิน(Brillouin) - รามาน(Raman)	ความไม่สมมาตรของท่อนำคลื่น
การดูดกลืนแสง	รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีอินฟราเรด	โลหะ ไฮโดรเจนไอออน , ก๊าซไฮโดรเจน

จากตารางที่ ค.1 พบว่าสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสง อาจแบ่งอย่างคร่าวๆได้เป็น 2 ส่วน คือ การลดทอนที่เกิดจากการสะท้อนกลับ(Scattering) และการลดทอนเนื่องจากการดูดกลืนแสง (Absorption loss) ในเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำจากซิลิกาที่มีการลดทอนเนื่องจากสาเหตุต่างๆโดยประมาณดังนี้

1. การกระเจิงแบบเรย์เลห์(Rayleigh scattering) 2.3 - 0.15 dB/km (850 – 1550 nm)
2. การดูดกลืนจากไฮโดรเจนไอออน(OH ion absorption) 0.01 – 5 dB/km(1390 nm)
3. การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด มีการลดทอนน้อยมาก ที่ความยาวคลื่นมากกว่า 1600 nm
4. ความไม่สมมาตรของท่อนำคลื่น 0 – 0.1 dB/km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดทอนสัญญาณในใยแก้วนำแสงแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

ค.1 การลดทอนสัญญาณเนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้วนำแสง (Material Loss)

คือการลดทอนสัญญาณเนื่องจากการดูดกลืนแสงของวัสดุ ซึ่งหมายรวมถึงการดูดกลืนแสงเนื่องจากปฏิกิริยา (Interacting) ที่แสงกระทำกับโครงสร้างของโมเลกุล และวัสดุรวมถึงการลดทอนสัญญาณเนื่องจากความไม่บริสุทธิ์ของวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้วนำแสงด้วย

ค.2 การลดทอนสัญญาณเนื่องการกระเจิงแสง (Light scattering)

คือการที่แสงเกิดการกระเจิงเนื่องจากแสงชนกับโมเลกุลของวัสดุที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ และมีการปนเปื้อนทำให้แสงไม่สามารถเดินทางเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้ ดังนั้นจึงเกิดการลดทอนสัญญาณขึ้น

ค.3 การลดทอนสัญญาณเนื่องความไม่สมบูรณ์ และการผิดรูปของใยแก้วนำแสง (Waveguide and Bend losses)

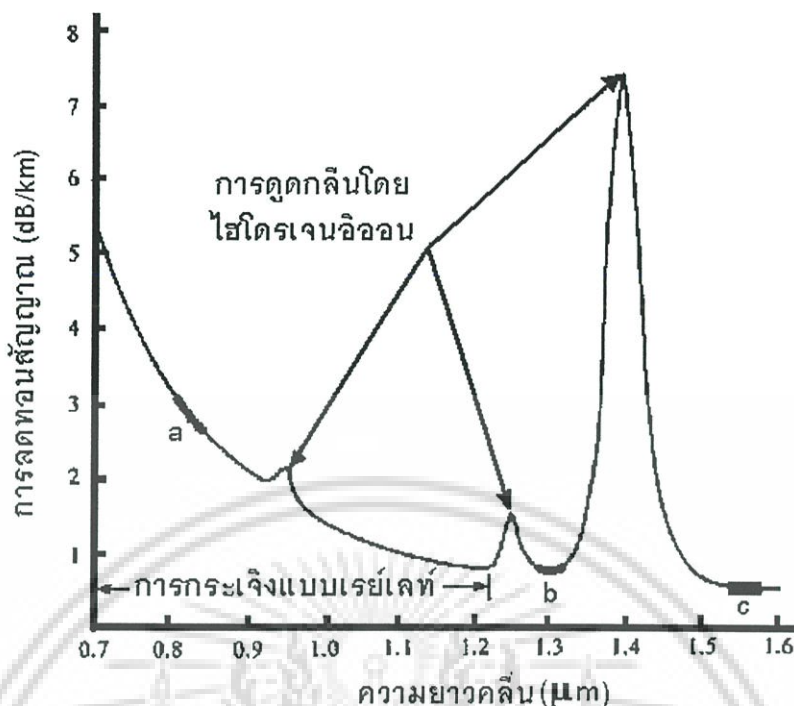
การเกิดการลดทอนสัญญาณเนื่องความไม่สมบูรณ์ และ การผิดรูปของเส้นใยแก้วนำแสง ในเทอมของท่อนำคลื่น (Waveguide หรือ Optical waveguide) ส่วนใหญ่ใช้ในความหมายของเส้นใยแก้วนำแสง

การลดทอนสัญญาณทั้ง 3 แบบที่กล่าวมาล้วนขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงทั้งสิ้น ถ้าเราเลือกใช้ความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมในการส่งสัญญาณก็จะทำให้เกิดการลดทอนน้อยที่สุด

ค.1 การลดทอนสัญญาณเนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้วนำแสง (Material Loss)

การลดทอนสัญญาณที่เกิดจากโครงสร้างของวัสดุ โดยตัวมันเองแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับสาเหตุอื่นมีค่าน้อยมาก เช่น ใยแก้วนำแสงเยอรมันเนียม-ซิลิกอนมีการลดทอนน้อยกว่า 0.1 dB/km เมื่อใช้ความยาวคลื่น ระหว่าง 0.8 และ 1.6 μm และมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เมื่อความยาวคลื่นมีค่าประมาณ 1.3 μm

เราสามารถลดการลดทอนสัญญาณเนื่องความไม่บริสุทธิ์ของใยแก้วนำแสงได้โดยปรับปรุงวิธีการผลิตในทางอุตสาหกรรมให้ดีขึ้น ในการพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสงนั้นเราสามารถตัดผลกระทบเนื่องความไม่บริสุทธิ์ของโลหะได้ โดยสิ่งเจือปนมากที่สุดเกิดจากไฮโดรเจนอิออน (OH ions) ซึ่งบางที่ไม่สามารถกำจัดออกหมดได้ การเจือปนของไฮโดรเจนอิออน ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณในบางช่วงคลื่น ซึ่งการลดทอนจะอยู่ในช่วงประมาณ 4.0 dB/km เกิดขึ้นใกล้ๆกับความยาวคลื่น = 1.4 μm เมื่อมีการเจือปนของไฮโดรเจนอิออนประมาณ 1 ppm รูปที่ (ค.1) แสดงพีคของการดูดกลืนเนื่องจากไฮโดรเจนอิออน เมื่อมีการเจือปนมากกว่า 1 ppm



a,b,c คือ ช่องสัญญาณที่มีการลดทอนต่ำ

a คือ ช่องสัญญาณลำดับที่ 1

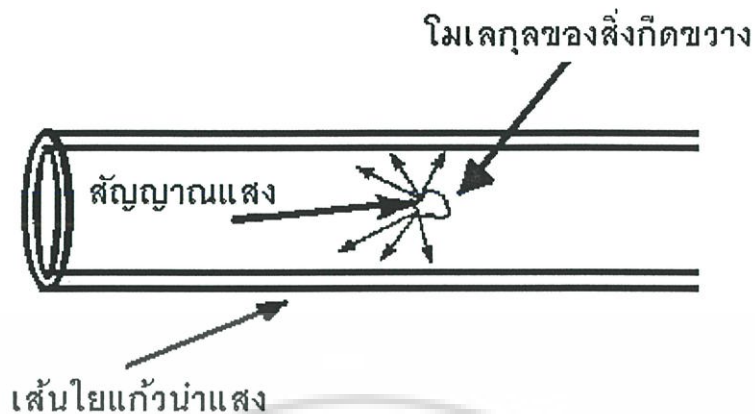
b คือ ช่องสัญญาณลำดับที่ 2

c คือ ช่องสัญญาณลำดับที่ 3

รูปที่ ค.1 แสดงการลดทอนภายในช่องสัญญาณสำหรับการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

ค. 2 การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการกระเจิงแสง (Light scattering)

เมื่อแสงพวงชนสิ่งกีดขวางจะเกิดการลดทอนสัญญาณขึ้นท่อมสิ่งกีดขวาง "Obstruction" หมายถึง ความหนาแน่นของเส้นใยแก้วนำแสงที่เปลี่ยนไป เมื่อดัชนีหักเหเปลี่ยนไป(นั่นคือสิ่งกีดขวางมีความหนาแน่นเปลี่ยนไป) เนื่องจากขนาดของโมเลกุลเปลี่ยนไปทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณเนื่องจากการกระเจิงเรย์เลห์ สิ่งกีดขวางขนาดเล็กซึ่งเกิดจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิตที่ไม่สามารถกำจัดออกได้ ซึ่งสิ่งกีดขวางนี้จะแสดงพฤติกรรมคล้ายกับแหล่งกำเนิดแสงแบบจุด(point source) ทำให้แสงสะท้อนไปในทุกทิศทาง การลดทอนของสัญญาณแสงเนื่องจากการกระเจิงเรย์เลห์ ขึ้นกับความยาวคลื่นแสง โดย เมื่อความยาวคลื่นมากขึ้นจะทำให้การลดทอนสัญญาณต่ำลง ที่ความยาวคลื่น 1.8 μm จะเกิด การลดทอนสัญญาณจากการกระเจิงเรย์เลห์ (Rayleigh losses) ในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดที่ทำจากแก้วซิลิกอน ประมาณ 0.1 dB/km รูปที่ ค.1 แสดงผลกระทบเนื่องจากการลดทอนสัญญาณจากการกระเจิงเรย์เลห์



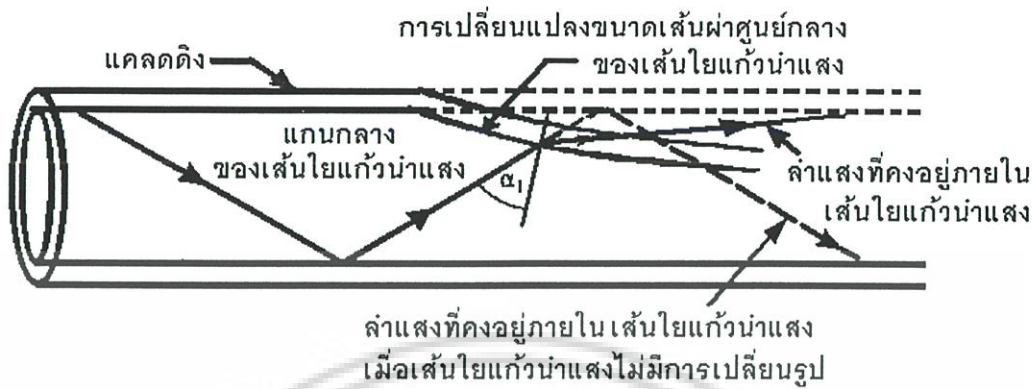
รูปที่ ค.2 การกระเจิงแสงเมื่อแสงตกกระทบโมเลกุลของสิ่งกีดขวางภายในเส้นใยแก้วนำแสง

ค.3 การลดทอนสัญญาณเนื่องความไม่สมบูรณ์ และการผิดรูปของใยแก้วนำแสง (Waveguide and Bend losses)

การเปลี่ยนรูป หรือการผิดรูปของเส้นใยแก้วนำแสงทำให้ทิศทางเดินของแสงพุ่งออกจากเส้นใยแก้วนำแสง รูปที่ ค.3 แสดงแสงที่พุ่งออกจากเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยแก้วนำแสง โดยในที่นี้มุม α , คือมุมที่ทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางมีขนาดเล็กลง และทำให้มุมวิกฤตเล็กลง ดังนั้นทางเดินของแสงจึงพุ่งออกจากเส้นใยแก้วได้ (เส้นที่บ) เมื่อไม่มีการผิดรูปทางเดินของลำแสงจะถูกจำกัดอยู่ภายในเส้นใยแก้วนำแสง เส้นประแสดงเส้นทางเดิมของเส้นใยแก้วนำแสง

ไมโครเบน (Microbends) คือการรบกวนที่เล็กมากๆ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของแกนกลางเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณเนื่องจากแสงพุ่งออกจากเส้นใยแก้ว รูปที่ ค.4 แสดงผลกระทบจากไมโครเบน การเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหในเส้นใยแก้วนำแสงก็ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณได้ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการกระเจิงแสง

การลดทอนสัญญาณเนื่องจากไมโครเบน (Microbends) หรือ การผิดรูปของเส้นใยแก้วนำแสง ในลักษณะนี้สามารถแก้ไขได้โดยการควบคุม และปรับปรุงขบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม และในปัจจุบันนี้ใกล้จะสามารถแก้ไขได้แล้ว



รูปที่ ค.3 การลดทอนสัญญาณเนื่องจากการเปลี่ยนรูปของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ ค.4 การลดทอนสัญญาณเนื่องจากไมโครเบน และการกระเจิงแสง

ตารางที่ ค.2 ช่องสัญญาณที่มีการลดทอนต่ำ (Low-Loss Windows)

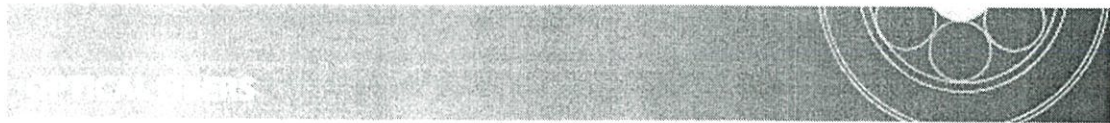
ลำดับที่	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	การลดทอนโดยประมาณต่อกิโลเมตร (dB)
1	820-880	2.2
2	1200-1320	0.6
3	1550-1610	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

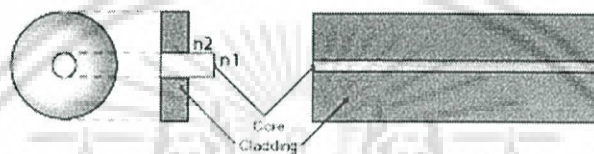
ภาคผนวก ง

สมบัติเฉพาะของเส้นใยแก้วนำแสง

ในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ ADSS และ แบบ Figure-8



Optical fibers are thin solid strands of high quality glass. The fiber consists of two main regions. The center of the fiber is the core. This region actually carrier the light and back into the core.



A key design feature of all optical fibers is that the refractive index of the core (n_1) is higher than the refractive index of the cladding (n_2).

Features

Optical Fiber include :

- **Wide bandwidth**
Suitable for high speed, wide band, large capacity telecommunication line.
- **Low loss**
Compared to wire telecommunications of the past, the distance between repeaters can be increased several times and in some cases even entirely eliminate. They are stable spite of environmental change.
- **Immunity from electromagnetic (EM) Radiation**
Optical fiber are not effected by EM radiation because fiber is made from dielectric (nonconductive).
- **Small diameter and light weight**
Even multi-fiber optical permit effective utilization of space and may also be applicable to long distance use. They are easier to handle and to install than conventional metal cables.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Optical Fiber Specifications

SINGLE - MODE OPTICAL FIBER

Standard Single Mode Fiber per ITU-T G. 652 (03/2003)

Attribute	Detail	Value Fiber Attributes	Unit
Mode field diameter	Wavelength	1310	nm
	Range of nominal values	8.8 - 9.5	um
	Tolerance	± 0.7	um
Cladding diameter	Nominal	125	um
	Tolerance	± 1	um
Core concentricity error	Maximum	0.8	um
Cladding noncircularity	Maximum	2.0	%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260	nm
	Radius	30	mm
Macrobend loss	Number of turns	100	-
	Maximum at 1550 nm	0.50	dB
Proof stress	Minimum	0.69	GPa
	λ_{0min}	1300	nm
Chromatic dispersion coefficient	λ_{0max}	1324	nm
	S_{0max}	0.093	ps/nm ² x km
	Uncabled fiber PMD coefficient	Maximum	(Note1)

- Single-Mode Fiber (ITU-T G.652.)

Large-Capacity & Low-Loss Optical Transmission in the 1310nm and 1550nm Windows

- Dispersion-Shifted Single-Mode Fiber (ITU-T G.653)

Long - Distance Optical Transmission in the 1550nm

Window- Non-Zero Dispersion Shifted Single-Mode Fiber

(ITU-T G.656) Long-distance DWDM Optical Transmission

* For other fiber specifications please consult factory.

Attribute	Detail	Value of Attributes				Unit
		A	B	C	D	
PMD coefficient	M	20	20	20	20	cables
	O	0.01	0.01	0.01	0.01	%
	Maximum PMDs	0.5	0.2	0.5	0.2	ps/km ^{1/2}
Attenuation coefficient	Maximum at 1310 nm	0.5	0.4	-	-	dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.4	0.35	0.3	0.3	dB/km
	Maximum at 1625 nm	-	0.4	-	-	dB/km
	Maximum at 1310 nm to 1625 nm (Note2)	-	-	0.4	0.4	dB/km
	Maximum at 1383 nm ± 3 nm	-	-	(Note3)	(Note3)	dB/km

Standard Single Mode Fiber per ITU-T G. 653

Parameter	Value	Unit
Attenuation coefficient		
@ 1550 nm	< 0.25	dB/km
Dispersion Between 1525 and 1575 nm	< 3.5	ps/(nm.km)
Zero Dispersion Wavelength : Between	1525 to 1575	nm
Mode Field Diameter		
@ 1550 nm	8.10 ± 0.65	um
Cable Cut-Off Wavelength	-	nm
Cladding Diameter	125 ± 1	um
Core/Cladding Concentricity Error	< 1	um
Cladding Non-Circularity	< 2	%
Coating Diameter	245 ± 10	um
Proof-Test Level	0.7	GN/m ²

Note1: An optional maximum PMD coefficient on uncabled fiber may be specified by cables to support the primary requirement on cable PMDs if it has been demonstrated for a particular cable construction.

Note2: This wavelength region can be extended to 1280 nm by adding 0.07 dB/km induced Rayleigh scattering loss to the attenuation value at 1310 nm, in this case, the cable cut-off wavelength should not exceed 1260 nm.

Note3: The sampled attenuation average at this wavelength shall be less than or equal to the value specified at 1310 nm after hydrogen aging according to IEC 60793-2-50 regarding the B.1.3 fibre category.

The above construction and specified values are subjected to modify according to the requirements of individual end user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optical Fiber Characteristics

SINGLE - MODE OPTICAL FIBER

Standard Single Mode Fiber per ITU-T G. 655 (03/2003)

Attribute	Detail	Value Fiber Attributes			Unit
		A	B	C	
Mode field diameter	Wavelength	1550	1550	1550	nm
	Range of nominal values	B - 11	B - 11	B - 11	um
	Tolerance	± 0.7	± 0.7	± 0.7	um
Cladding diameter	Nominal	125	125	125	um
	Tolerance	± 1	± 1	± 1	um
Core concentricity error	Maximum	0.8	0.8	0.8	um
Cladding noncircularity	Maximum	2.0	2.0	2.0	%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1450	1450	1450	nm
	Radius	30	30	30	mm
Macrobend loss	Number of turns	100	100	100	-
	Maximum at 1550 nm	0.5	0.5	0.5	dB
Proof stress	Minimum	0.69	0.69	0.69	GPa
	λ_{min} and λ_{max}	1530 and 1565	1530 and 1565	1530 and 1565	nm
Chromatic dispersion coefficient Wavelength range: 1530 - 1565 nm	Minimum value of D_{min}	0.1	1.0	1.0	ps/nm*km
	Maximum value of D_{max}	6.0	10.0	10.0	ps/nm*km
	Sign	Positive or negative	Positive or negative	Positive or negative	-
	$D_{max} - D_{min}$	-	≤ 5.0	≤ 5.0	ps/nm*km
Chromatic dispersion coefficient Wavelength range: 1565 - 1625 nm	Minimum value of D_{min}	-	TBD	TBD	-
	Maximum value of D_{max}	-	TBD	TBD	-
	Sign	Positive or negative	Positive or negative	Positive or negative	-
Uncabled fiber PMD coefficient	Maximum	(Note1)	(Note1)	(Note1)	(Note1)
Attribute	Detail	Value Fiber Attributes			Unit
PMD coefficient	M	20	20	20	ps/cables
	Q	0.01	0.01	0.01	%
	Maximum PMD _o	0.5	0.5	0.2	ps/km ^{1/2}
Attenuation coefficient	Maximum at 1550 nm	0.35	0.35	0.35	dB/km
	Maximum at 1625 nm	-	0.4	0.4	dB/km

MULTI - MODE OPTICAL FIBER*

Parameter	50/125	62.5/125	Units	
Attenuation				Multi-mode 50/125 and 62.5/125
⊙ 850 nm	< 3.0	< 3.2	dB/km	
⊙ 1300 nm	< 1.0	< 1.2	dB/km	For local area networks and computer communication. (ITU - G.651)
Numerical Aperture	0.20 ± 0.015	0.275 ± 0.015	-	
Core Diameter	50 ± 3	62.5 ± 3	um	
Cladding Diameter	125 ± 2	125 ± 2	um	
Core/Cladding Offset	< 3	< 3	um	* For other fiber specifications please consult factory.
Cladding Non-Circularity	< 2	< 2	%	
Core Non-Circularity	< 6	< 6	%	
Coating Diameter	245 ± 10	245 ± 10	um	
Proof-Test Level	0.7	0.7	GN/m ²	

The above construction and specified values are subjected to modify according to the requirements of individual end user.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายเกียรติ ศรีนวลจันทร์
วัน เดือน ปีเกิด	26 พฤศจิกายน 2516 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	224/2 ถ.อุดรดุขฎิ อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000 โทร.042 248054
ประวัติการศึกษา	2539 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ม.ขอนแก่น
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง 2.) สายเคเบิลใยแก้วนำแสง
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ. 2540-2544	ตำแหน่งวิศวกรซ่อมบำรุงและขาย บริษัท เอส.อี.เอ. เอ็นจิเนียริง จำกัด
พ.ศ. 2543	ศึกษาดูงานฝึกอบรม การใช้เครื่องมือทดลองทางวิทยาศาสตร์ ณ บริษัท PHYWE GmbH. ประเทศเยอรมัน
ปัจจุบัน	กำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้