

การเปรียบเทียบการวัดค่าสูญเสียสัญญาณของเส้นใยแก้ว

Comparison of Optical Fiber Loss Measurements

อชิระ จำปาเทศ และ สมพล โกศลวิทย์

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ

TEL. 0 2446-7126-7 E-mail: ashira@se-ed.net

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวัดค่าสูญเสียสัญญาณของแสง ที่เดินทางในเส้นใยแก้ว โดยใช้เทคนิคต่างๆหลายวิธีมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งวิธีต่างๆที่นำมาเสนอนี้สามารถนำมาใช้ได้กับงานจริง เช่น เมื่อวางระบบและติดตั้งเครือข่ายเคเบิลเส้นใยแก้วใหม่เรียบร้อยแล้ว จำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบระบบเพื่อจะได้รู้ค่าสูญเสียสัญญาณของแสงที่เกิดขึ้นกับระบบนี้และสามารถทดสอบกับระบบชุมสายต่อผ่าน (Tandem) หรือ ที่เรียกว่าชุมสายทางไกล และชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) หรือที่เรียกว่าชุมสายทางใกล้ ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายในห้องทดลองให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและสามารถกระทำได้กับแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันได้ในเวลาเดียวกัน

Abstract

This article is a study of measurements of light signal loss in optical fiber. In this study many practical measurements techniques such as installation of the system which new optical fiber are comparison. We must system test and set in order to know optical fiber loss network. Which can test with tandem system and local exchange system. It is a simple one which gives the correct result and can be simultancously employed with various wavelength.

1. บทนำ [1]

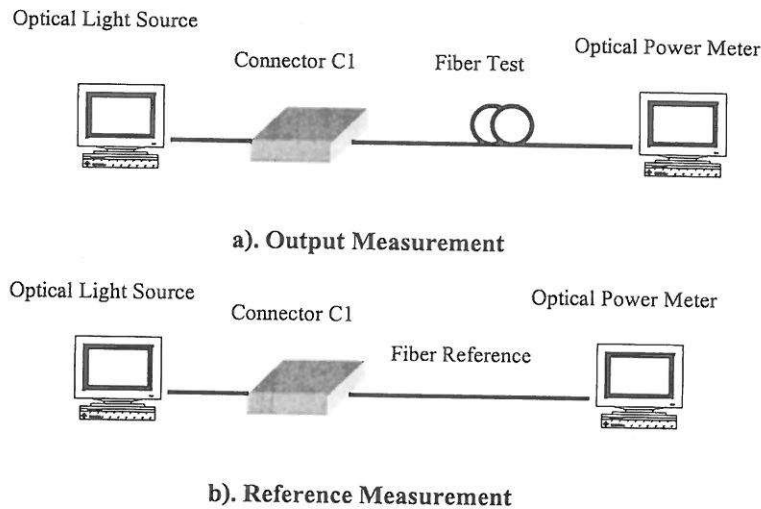
ในปัจจุบันระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงกำลังเข้ามามีบทบาทอย่างแพร่หลายในบ้านเรา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และรองรับการขยายตัวในธุรกิจสื่อสาร ระบบส่วนใหญ่ที่ใช้กันอยู่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างชุมสายใหญ่ มักใช้แสงย่านอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นในช่วง 1.3 ไมครอน และ 1.55 ไมครอนเป็นสัญญาณพาห์ แต่ทั้งนี้มิได้หมายความว่าระบบนำแสงของเส้นใยแก้ว ในช่วงความยาวคลื่นอื่นจะลดบทบาทความสำคัญลงไป ในระบบการสื่อสารขนาดเล็กที่มีการติดต่อกันในระยะใกล้ รวมทั้งในการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ ยังมีการใช้แสงในช่วงความยาวคลื่นอื่นเช่น 632นาโนเมตร และ810นาโนเมตร เป็นต้น นอกจากนี้ในการนำเส้นใยแก้วมาใช้กับงานด้านตัวตรวจวัดหรือ

เซ็นเซอร์ ดังนั้นในการนำเส้นใยแก้วมาออกแบบใช้งานจึงมีความจะเป็นที่จะต้องทราบถึงคุณสมบัติในการลดทอนสัญญาณแสงและค่า Loss ของมันที่ค่าความยาวคลื่น ต่างๆ บทความนี้ศึกษาถึงวิธีการวัดค่าการลดทอนสัญญาณ ของแสงในเส้นใยแก้วและค่า Loss ที่มีความยาว คลื่นต่างๆ ซึ่งในงานจริงเมื่อมีการติดตั้งเคเบิลเส้นใยแก้ว ระหว่างชุมสายหลักกับชุมสายหลักที่มีระยะทางไกลๆจำเป็นจะต้องมีการเชื่อมต่อ(splice)หลายจุด แน่นนอนในระบบนี้จะต้องมีค่าการลดทอนและค่า Loss ในระบบนั้นติดตามไปด้วย ในการทดลองครั้งนี้จะใช้เทคนิคการแทนที่ (substitution) และการใช้ OTDR มาเปรียบเทียบกัน ซึ่งสามารถกระทำได้ง่ายในห้องปฏิบัติการและให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแน่นอนและเป็นค่าที่ยอมรับได้

2. ทฤษฎี [2]

การสูญเสียสัญญาณแสงในเส้นใยแก้วนั้น ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้ว มีองค์ประกอบสำคัญ 2 อัน ที่จะกำหนดความเร็วในการส่ง (Transmission Speed) และระยะห่างของการถ่ายทอดสัญญาณ (Repeater Span) องค์ประกอบเหล่านั้นคือการสูญเสียแสงกับ Band Width ของการส่ง (Transmission Band Width) การสูญเสียสัญญาณแสง (Optical Loss) เป็นตัวบอกให้ทราบว่ากำลังของสัญญาณแสง ที่เดินทางไปในเส้นใยแก้วนั้นจะลดลงไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งการสูญเสียสัญญาณแสงนี้ยังมีค่าน้อยเท่าไรจะทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงได้ไกลมากยิ่งขึ้น

การสูญเสียสัญญาณแสง แบ่งออกตามความแตกต่างของโครงสร้างที่เกิดขึ้นได้เป็นการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแก้วเอง (Fix Loss) และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมา (Addition Loss) เมื่อตอนนำเส้นใยแก้วไปใช้ในระบบสื่อสาร จะเห็นว่าการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแก้วเองนั้น เกิดจากสาเหตุต่างๆ ได้แก่ การดูดแสง (Absorption Loss) , การกระจัดกระจายแสงแบบเรย์ลี (Rayleigh Scattering Loss) , การกระจัดกระจายสัญญาณแสง เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง (Ununiformity Loss) ส่วนการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมา นั้น เกิดจากสาเหตุต่างๆ ได้แก่ การโค้งงอของเส้นใย -



รูปที่ 1. แสดงการวัดค่าการลดทอนสัญญาณแบบ การแทนที่หรือ Insertion Loss

แ้ว (Bending Loss) , การต่อเส้นใยแก้ว (Connection Loss ได้แก่การสูญเสียจากการสะท้อนกลับของแสงจากการที่แสงกระจาย) , การเชื่อมต่อแสงระหว่างอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงหรืออุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแก้ว (Coupling Loss) [3]ในการวัดการลดทอนสัญญาณของสเปกตรัมในขณะส่งผ่านได้กระทำการทดลอง 2 วิธีคือเทคนิคการแทนที่ (substitution) และการวัดค่าโดยใช้ OTDR.

2.1 แบบเทคนิคการแทนที่ (substitution)

แบบsubstitutionหรือจะถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "Insertion-loss technique" ถูกกำหนดโดย EIA RS 455-53 แสดงในรูปที่ 1. โดยปกติของเทคนิคนี้จะใช้ connector C_1 พลังงาน output P_i ของเส้นใยแก้วทดลองถูกเชื่อมต่อกับ C_1 จะถูกวัดด้วยอุปกรณ์ Optical Power Meter ที่เส้นใยแก้วปลายทางและเส้นใยแก้ว reference ที่มีความยาวปกติและเป็นชนิดที่เหมือนกันกับเส้นใยแก้วทดลอง จะถูกนำมาใช้เป็นค่าพลังงาน output P_r หลังจากนั้นค่าการลดทอนสัญญาณ จะถูกคำนวณโดยความสัมพันธ์

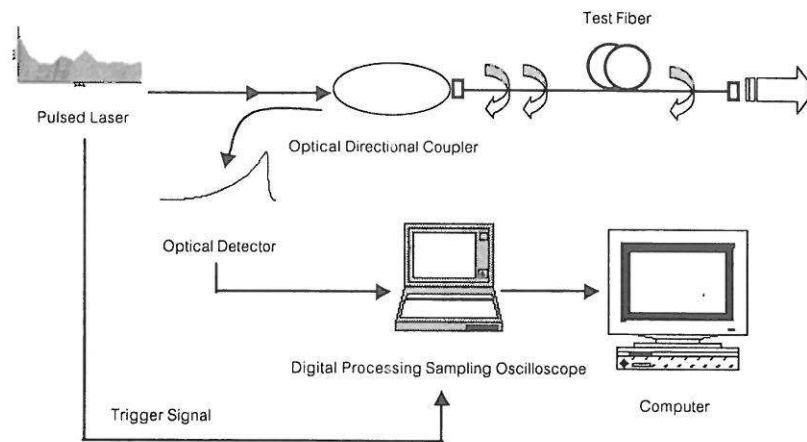
$$\alpha = -(10/L) \log_{10} (P_i/P_r) \quad (1)$$

เมื่อ L คือค่าความยาวของเส้นใยแก้ว ที่มีการสูญเสียทดลองกับเส้นใยแก้ว reference เมื่อเทคนิคการแทนที่ (substitution) ไม่ได้ใช้ร่วมกับวิธี cutback เพราะว่าเส้นใยแก้ว reference อาจจะไม่ใช้เส้นใยแก้วชนิดเดียวกันกับเส้นใยแก้วที่ทดลอง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการผิดพลาดเนื่องจากเส้นใยแก้วทดลองและเส้นใยแก้ว reference ไม่เป็นชนิดเดียวกัน นอกจากนี้การต่อ C_1 อาจจะรบกวนในจุดเสถียรภาพที่เหมาะสมในเส้นใยแก้วทดลองอย่างไรก็ตามค่าการลดทอนที่วัดได้นั้น ความคลาดเคลื่อนอาจเป็นค่าที่ยอมรับได้

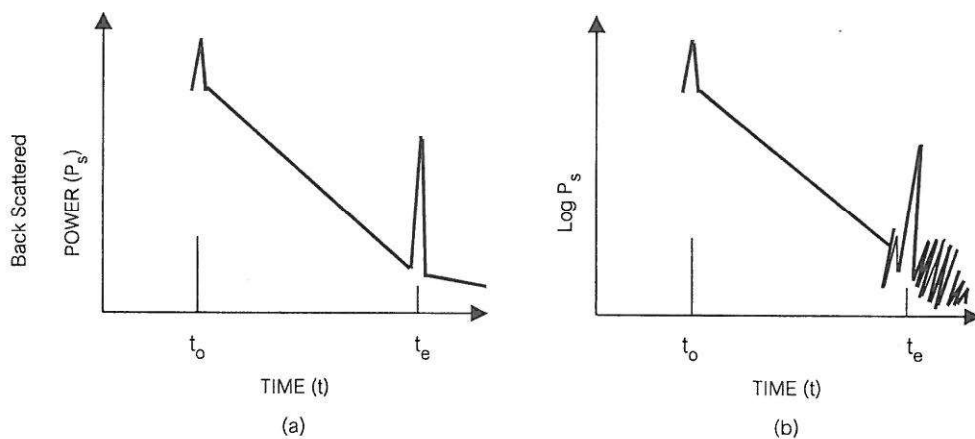
2.2 การวัดโดยใช้ OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer)

เทคนิคการวัดแบบนี้มีมาตรฐานใน EIA RS 455-59 เป็นเทคนิคในการวัดค่าการสูญเสียความยาวของเส้นใยแก้วไม่อิสระในการหาจุดที่ผิดพลาดและหาจุดที่เกิดความเสียหายในจุดต่อได้ดีขึ้น เทคนิคนี้จะถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "backscattering technique" ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 2. เป็นการส่ง pulse ของแสงเข้าไปในเส้นใยแก้ว ผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า directional coupler (เช่น beam splitter) และรวมการตรวจสอบสัญญาณย้อนกลับจากเส้นใยแก้ว ซึ่งสัญญาณนี้จะทำงานในแกนของเวลาดังแสดงในรูปที่ 3a. แต่ก็ไม่เหมือนเทคนิคการส่ง pulse ในรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าผ่านในสายเคเบิลไฟฟ้า ซึ่งจะมีการตรวจสอบเพียงความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเท่านั้นเทคนิค การใช้ OTDR นี้ยังใช้ในการตรวจสอบจุดต่างๆของเส้นใยแก้วอย่างต่อเนื่องโดยใช้ Rayleigh-scattered light จำนวนที่น้อยจริงๆในส่วน Rayleigh-scattered light นี้จะถูกกระจายกลับไปในการรับ NA ของเส้นใยแก้วแบบสวนทิศทางจะแสดงดังรูปที่ 3a. pulse สะเทือนที่จุด t_0 เป็นผลการสะท้อนที่มุมด้านหน้าของเส้นใยแก้ว และ pulse ที่จุด t_z คือผลสะท้อนจากปลายทางที่มีระยะทางไกลออกไป จุดระยะทาง Z ภายในเส้นใยแก้วจะทำให้การเพิ่มสัญญาณที่เวลา $t_0 + 2Z/V_g$ เมื่อ V_g คือความเร็วกลุ่มและส่วนของ Z นั้นมาจากความเป็นจริงจาการรอบการเดินทางของแสงที่ตรวจสอบความสัมพันธ์โดยทั่วไป ของพลังงานแสงสะท้อนกลับที่จุด P_s ในเวลาถูกกำหนดโดย

$$P_s = P_0 S \alpha_s W V_g \exp[-2 \int_0^Z \xi_s(Z') dZ'] \quad (2)$$



รูปที่2. แสดง Schematic Diagram ของ OTDR



รูปที่3. แสดงรูปสัญญาณ Backscattering signal

เมื่อความสั้นสะท้อนป้อนเข้าไปในเส้นใยแก้วมีพลังงาน P_0 และมีความกว้าง W จะถูกสรุปว่า W ต้องแคบเพียงพอเพื่อการลดทอนซึ่งไม่สำคัญนักจะได้ส่งผ่านช่วงความกว้างของความสั้นสะท้อน ระยะ α_z แสดงการสูญเสียของการกระจายในเส้นใยแก้วและ $\xi(Z')$ คือการลดทอนของเส้นใยแก้ว (nepersต่อKm) ที่ระยะ $Z = t / 2V_p$ จำนวนเศษที่แน่นอนของ S ถูกกำหนดโดย

$$S = 3/8[(NA)^2 / n_0^2] \alpha / (\alpha + 1) \quad (3)$$

เมื่อเส้นใยแก้วแบบ graded-index ของการวัดจริงที่ต่อเนื่อง $\alpha = 2$ ถูกแสดงเมื่อ n_0 คือดัชนีหักเหที่ศูนย์กลางของเส้นใยแก้ว ผลที่ปรากฏจะได้รับการกระจายแบบ "isotropic scattering" และการกระเจิงที่สม่ำเสมอของเทคนิคการวัด โดยใช้ OTDR คือจะช่วยให้การหาความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับความยาวในเส้นใยแก้ว เช่นความไม่สม่ำเสมอในการสูญเสียของประกอบของการสูญเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องหรือการสูญเสียอันเกิดจากรอยต่อหรือตัวต่อ (connector) การที่รู้ว่าการสูญเสียเท่าไร มี

ประโยชน์มาก สำหรับผู้ผลิตเส้นใยแก้วและสำหรับผู้ใช้นั้นเทคนิคการวัดโดยใช้ OTDR นี้จะช่วยในการคำนวณข้อผิดพลาดเพื่อทำการซ่อมแซมจุดต่อของเส้นใยแก้วนำแสงพอๆกับการประเมินประสิทธิภาพและบางที่ยังช่วยให้ข้อต่อมีความเหมาะสมที่สุด

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ

3.1 Optical loss test_set

S/N 51602-28, ยี่ห้อ EXFO รุ่น FOT-920 (L/S) ; S/N 51603-28, ยี่ห้อ EXFO รุ่น FOT-920 (P/M)
อุปกรณ์ "Optical loss test_set" นี้จะมีคุณสมบัติพิเศษคือในตัวของอุปกรณ์เองจะทำหน้าที่ได้ทั้งสองอย่างในตัวเดียวกันคือเป็นทั้ง "Light- Source" และ "Optical Power Meter" และในตัวอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีฟังก์ชันในการวัดค่า Loss แบบอัตโนมัติ (Automatic) โดยจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.2 OTDR(Optical Time-Domain Reflectometer)

ยี่ห้อ Tektronix รุ่น TFB2 Fiber Master

3.3 เส้นใยแก้วนำแสง

ในส่วนของการนำเส้นใยแก้วนำแสงที่นำมาทำการทดสอบนี้จะมีจำนวน 2 เส้นคือเส้นที่ใช้เป็นค่าอ้างอิง (Reference) มีความยาวประมาณ 3-5m และอีกเส้นหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบหาค่า Loss มีความยาวตั้งแต่ 1Km ขึ้นไป ส่วนสายเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในการทดสอบวัดหาค่า Loss นี้ใช้ชนิด Single Mode ,Step-Index

3.4 Connector และอุปกรณ์ต่อเชื่อม

4.ลำดับขั้นตอนการทดสอบ

ในการทดสอบนี้จะใช้ค่า Wavelength 2 ค่าคือ 1310nm และ 1550nm เนื่องจาก Wavelength 2 ค่านี้จะนิยมใช้ในการสื่อสารเป็นอย่างมากยกตัวอย่างเช่นองค์กรการโทรศัพท์แห่งประเทศไทยจะใช้ Wavelength ที่ 1550nm ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างชุมสายทางไกลและจะใช้ Wavelength ที่ 1310nm ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงระหว่างชุมสายทางใกล้

4.1 การทดสอบวัดค่า Loss แบบเทคนิคการแทนที่ (substitution) หรือ insertion-loss

อันดับแรกเราจะนำเส้นใยแก้วนำแสงมาวัดหาค่า P_i โดยการนำ Light Source มาต่อกับเส้นใยแก้วอ้างอิง (Reference) แล้วปลายทางก็นำ Power Meter มาต่อให้ครบวงจร ตามรูปที่ 1. แล้วอ่านค่าที่ได้ จากนั้นก็เส้นใยแก้วอีกเส้นหนึ่งที่มีความยาวตั้งแต่ 1Km ขึ้นไป (ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ความยาวที่ 25Km เนื่องจากอุปกรณ์ Optical loss test set และ OTDR นั้นต้องการความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงมากๆ เพื่อที่จะได้ค่าที่ทำการวัดออกมาแม่นยำที่สุด) มาวัดหาค่า P_i โดยการนำ Light Source มาต่อกับเส้นใยแก้วที่จะหาค่า Loss แล้วปลายทางก็นำ Optical Power Meter มาต่อให้ครบวงจร ตามรูปที่ 1. แล้วอ่านค่าที่ได้ ในส่วนของการวัดค่า Loss นั้นจะใช้ค่า Wavelength ที่ 1310nm และ 1550nm เนื่องจากค่า

Wavelength ทั้ง 2 ค่านี้เหมาะกับการที่นำมาใช้ในระบบสื่อสารระหว่างชุมสายหลักกับชุมสายหลัก แล้วนำค่าที่ได้มาบันทึกแล้วหาค่า Loss



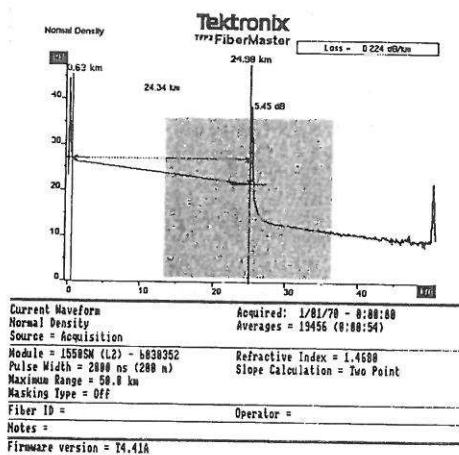
รูปที่ 4. แสดงรูปเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

4.2 การทดสอบวัดค่า Loss โดยใช้ OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer)

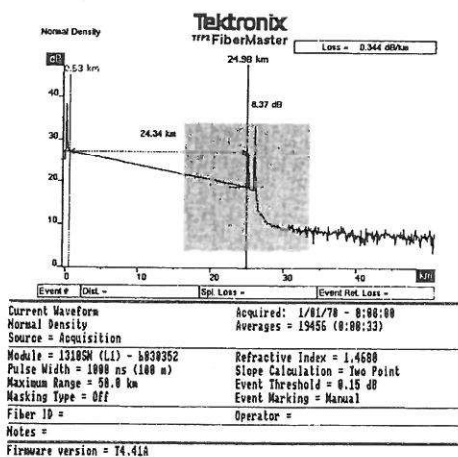
ในส่วนของการวัดค่า Loss โดยใช้ OTDR จะกระทำได้ง่ายมาก โดยการนำเอา OTDR มาต่อ Connector และ อุปกรณ์เชื่อมต่อ กับเส้นใยแก้วนำแสงที่จะนำมาวัดหาค่า Loss เครื่อง OTDR ก็จะแสดงกราฟที่บอกถึงความยาวของเส้นใยแก้วนั้น และยังบอกจุดต่อว่าเส้นใยแก้วทั้งระบบ ว่ามีจำนวนจุดต่อกี่จุด และที่สำคัญยังบอกค่า Loss ทั้งระบบของเส้นใยแก้ว รวมไปถึงค่า Loss ของ Connector และอุปกรณ์ต่อเชื่อมดังแสดงดังรูปที่ 5. นี้จะใช้ Wavelength ที่ 1310nm และรูปที่ 6. จะใช้ Wavelength ที่ 1550nm ตามลำดับ

ตารางที่ 1. แสดงการทดสอบค่า Loss แบบ Insertion Loss

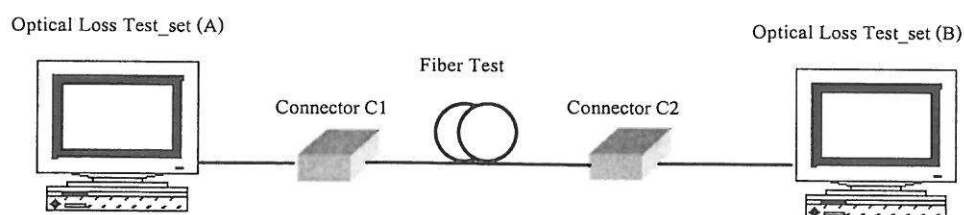
Fiber	Wavelength (nm)	Measurement (dBm)	Average (dB)
Input	1310	-3.10	-8.00
Output	1310	-13.72	
Input	1550	-5.80	-5.75
Output	1550	-12.67	



รูปที่5. แสดงกราฟจาก OTDR ที่ Wavelength 1550nm จะมีค่า Loss ที่ระยะทาง 24.9Km ของเส้นใยแก้วนำแสงรวมกับค่าสูญเสียของ Connector ทั้ง ระบบจะมี 5.45dB คิดเป็นค่าการลดทอน 0.224dB/Km



รูปที่6. แสดงกราฟจาก OTDR ที่ Wavelength 1310nm จะมี ค่าLoss ที่ระยะทาง 24.98Km ของเส้นใยแก้วนำแสงรวมกับค่าสูญเสียของ Connector ทั้งระบบจะมี 8.37dB คิดเป็นค่าการลดทอน 0.344dB/Km



รูปที่7. แสดงการต่ออุปกรณ์ทดสอบวัดค่า Loss แบบอัตโนมัติ (Automatic)

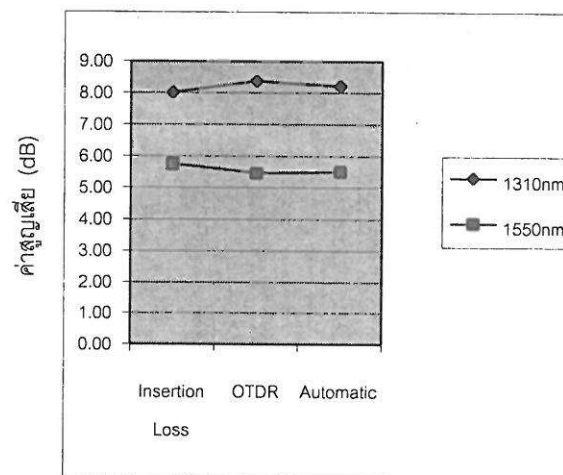
4.3 การทดสอบวัดค่า Loss แบบอัตโนมัติ (Automatic)

ในส่วนของการวัดค่า Loss แบบ อัตโนมัติ (Automatic) นั้น จะมีฟังก์ชันพิเศษเฉพาะ ของเครื่องOptical loss test_set ชื่อ EXFO รุ่นFOT-920 นี้ก็จะสามารถหาค่า Loss แบบอัตโนมัติ (Automatic) โดยการต่ออุปกรณ์ดังรูปที่7. โดยที่ Light Source(A) จะส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงไปยัง Optical Power Meter (B) แล้วให้ Optical Power Meter(B) เก็บค่า Loss เอาไว้ แล้ว Optical Power Meter(B) ก็จะกระทำตัวเป็น Light Source(B) แล้วก็ส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ไปยัง Optical Power Meter(A) แล้วให้ Optical Power Meter(A) เก็บค่า Loss เอาไว้ แล้วเอาค่าทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยค่าที่ได้จะเป็นค่า Loss ที่เกิดขึ้นในเส้นใยแก้วนำแสงของระบบนั้นๆ

ในทางปฏิบัติจริงองค์กรการโทรศัพท์แห่งประเทศไทยจะใช้วิธีการทดสอบหาค่าการสูญเสียสัญญาณของเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสง และค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในระบบที่ติดตั้งใหม่ทุกครั้งแบบอัตโนมัติ (Automatic) เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว และค่าที่วัด ได้ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่2. แสดงการทดสอบค่า Loss แบบอัตโนมัติ (Automatic)

Fiber	1310nm			1550nm		
	A -> B (dB)	B -> A (dB)	Avg. (dB)	A -> B (dB)	B -> A (dB)	Avg. (dB)
Reference	-8.40	-8.00	-	-5.41	-5.27	-
Auto Loss	-8.23	-8.17	-8.20	-5.58	-5.52	-5.55
Average	-8.23	-8.17	-8.20	-5.58	-5.52	-5.55



รูปที่8. แสดงกราฟการเปรียบเทียบการทดสอบค่า Loss แบบต่างๆ

ตารางที่3. แสดงการเปรียบเทียบการทดสอบค่า Loss แบบต่างๆ

การวัด ข้อเปรียบเทียบ	Insertion Loss	OTDR	Automatic
ราคาของเครื่องมือ	ราคาสูง	ราคาสูงมาก	ราคาสูง
ระยะเวลาในการทดสอบ หาค่า Loss	ยุ่งยากพอสมควร เนื่องจากจะต้องนำค่าที่ได้มา ทำการคำนวณ ตามสมการ	รวดเร็วมาก ผลลัพธ์ค่า Loss จะแสดง ที่หน้าจอของเครื่องมือ	รวดเร็วมาก ผลลัพธ์ค่า Loss จะแสดง ที่หน้าจอของเครื่องมือ
ความสะดวกในการทดสอบ หาค่า Loss	ยุ่งยากพอสมควร เนื่องจากจะต้องใช้ผู้ร่วมทำการ ทดสอบถึง 2 คน ที่ต้นทาง และ ปลายทาง	สะดวกมาก เนื่องจากใช้ผู้ทำการทดสอบ เพียงคนเดียวที่ต้นทาง	ยุ่งยากพอสมควร เนื่องจากจะต้องใช้ผู้ร่วมทำการ ทดสอบถึง 2 คน ที่ต้นทาง และ ปลายทาง
ความน่าเชื่อถือของค่า Loss ที่วัดได้	ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้	ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้	ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

5. สรุป

บทความที่ได้นำเสนอวิธีการทดลอง เพื่อวัดค่าการลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงในรูปแบบต่างๆที่นำเสนอมาข้างต้นทั้งหมดนี้ ซึ่งจะเห็นว่าเป็นวิธีที่ง่ายแสดงผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันและถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้งานในห้องปฏิบัติการพื้นฐานได้ ในกรณีที่มีเครื่องมือต่างๆดังที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดแล้ว จะช่วยให้การทดลองทำได้สะดวกและง่ายขึ้นอีก และอาจจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นเพราะเครื่องมือและอุปกรณ์ดังกล่าวมาทั้งหมดนี้มีราคาที่สูงมาก

โดยทั้งนี้ทางองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยจึงได้มีการออกมาตรฐานในการวัดค่า Loss ในระบบก่อนที่จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ Multiplex โดยจะมีรายละเอียดตามค่าข้างล่างนี้

ที่ Wavelength ขนาด 1550 nm => (0.25 x ระยะทาง(Km)) + (0.15 x จำนวนจุดsplice) + (0.4 x จำนวนconnector)

ที่ Wavelength ขนาด 1310 nm => (0.4 x ระยะทาง(Km)) + (0.15 x จำนวนจุดsplice) + (0.4 x จำนวนconnector)

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และอาจารย์แผนกวิชาสายคอนเนกชัน ศูนย์ฝึกอบรมฯ(งานวงสว่าง) องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบครั้งนี้ และ ผศ. อภินันท์ มัญญานนท์ และ ผศ. สมพล โกศลวิตร ที่ให้คำแนะนำและปรึกษาในการทดลองในครั้งนี้มาโดยตลอด

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ.ดร.อริคม อุทมนุตร “ การวัดค่าการลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วด้วยเทคนิคการตัดสั้น ” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 18 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร , พฤศจิกายน 2538 , หน้า442
- [2] อภินันท์ มัญญานนท์ “ การสื่อสารเส้นใยแสง ” พิมพ์ครั้งที่ 8 มกราคม 2540 , หน้าที่67-68
- [3] E.E. Bert Basch , Optical – Fiber Transmission , 1 st Edition , 1987