

การศึกษาและพัฒนาต้นแบบชุดสาธิตส่งสัญญาณแสงด้วยวิธีผ่านโครงข่ายใยแก้วนำแสง FTTx

The Study and Development of Laboratory Kits of Optical Transmission using
Broadband Network Fiber to the X^{1*}ปุณณกัญธุ์ ชำนาญกิจ และ ^{2#}ชนะ จันทรัมย์^{1,2}กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า^{1*}Poonnakan Chamnankij and ^{2#}Chana Jan im^{1,2}Department of Electrical Engineering, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy

*poonnakan.ch@crma.ac.th, #chana.ja@crma.ac.th

Received : February 9, 2023

Revised : April 24, 2023

Accepted : June 11, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและพัฒนาชุดสาธิตส่งสัญญาณแสงด้วยวิธีผ่านโครงข่ายใยแก้วนำแสง FTTx จำนวน 16 รูปแบบช่องสัญญาณ โดยชุดสาธิตนี้จะประกอบด้วยการทดลอง 4 ใบงาน การทดลองที่จะแสดงการทดสอบส่งสัญญาณแสงโดยใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง (OTDR) เพื่อศึกษาเหตุการณ์ในแต่ละรูปแบบต่างๆ ที่กำหนดไว้ในตามระยะทางของเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งจะแสดงผลออกเป็นกราฟบนเครื่อง OTDR ตัวอย่างเช่น จุดที่มีการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector), จุดที่มีการเชื่อมด้วยการต่อประกบกัน (Mechanical Splice), จุดที่มีการเชื่อมด้วยการหลอมละลาย (Fusion Splice), จุดที่มีการโค้งงอของสายใยแก้วนำแสง (Macro Fiber Optic Bending), และจุดที่มีการแยกกระจายของเส้นใยแก้วนำแสง (Planar Waveguide Circuit Splitter) จากการวิจัยพบว่าชุดสาธิตนี้มีการทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการทดสอบความรู้ทฤษฎีของนักเรียนนายร้อยจำนวน 16 นาย ก่อนและหลังการนำชุดสาธิตมาประกอบการทดลอง โดยทำการทดสอบพื้นฐานทางวิชาการสื่อสารทางแสง พบว่าก่อนการทดลองคะแนนเฉลี่ย 3.56 คะแนน (เต็ม 10 คะแนน) และหลังการทดลองคะแนนเฉลี่ย 9.50 คะแนน สรุปได้ว่าการนำชุดสาธิตประกอบใบงานการทดลองมาเป็นสื่อการเรียนการสอนนั้นสามารถอธิบายหลักการทำงานของการทำงานของการเชื่อมโยงโครงข่ายทางแสงได้

คำสำคัญ: โครงข่ายใยแก้วนำแสง FTTx

Abstract

The purposes of this study were to create and develop the Laboratory Kit of Optical Transmission using Broadband Network Fiber to the X for 16 Channel patterns. This kit consists of four experimental worksheets that show a test of optical signal transmission using a fiber optics tester (OTDR) to study each of the different events defined in accordance with the distance of the optical fiber which is displayed as a graph on the OTDR such as connection point with connector, mechanical Splice, Fusion Splice, Macro Fiber Optic Bending and Planar Waveguide Circuit Splitter. The research shows that it is used to test the learning achievement of 16 students before and after using the kit. The knowledge test involves foundations of optical communication by showing the average score of 3.56 out of 10 on a pre-test and an average score of 9.50 after working on this kit. In conclusion, this demonstration kit can be used to help explaining the mechanism of optical communication at its fundamental level.

Keywords: Broadband Network Fiber to the X

1. บทนำ

ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (สกส.ร.ร.จปร.) เป็นหน่วยงานหลักที่จะประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ด้านวิชาการในระดับอุดมศึกษาให้แก่ นักเรียนนายร้อย (นนร.) ตามหลักสูตรของ รร.จปร. นอกจากนั้นยังมีส่วนรับผิดชอบในการปลูกฝังความเป็นผู้มีวินัยรู้หน้าที่และมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีให้ทันกับสถานการณ์โลกปัจจุบัน สกส.ร.ร.จปร. จึงจำเป็นต้องมีสื่อการเรียนการสอนที่จะให้กับ นนร. เพื่อเพิ่มความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

โดยความต้องการในการส่งข้อมูลที่มีปริมาณมากขึ้นและระยะทางที่ไกลขึ้น นำไปสู่การพัฒนา เทคโนโลยีใหม่ ๆ การใช้ โปรตอน (Protons) แทนอิเล็กตรอน (Electrons) สำหรับการรับส่งสัญญาณผ่านเคเบิล ทำให้ได้แบนด์วิดท์ที่สูงขึ้น แต่ราคาต่ำลง การใช้แสงเป็นสื่อในการนำสัญญาณแล้วส่งไปในตัวกลางที่เรียกว่า เส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีในการส่งสัญญาณแสงแบบ FTTx (Fiber to the X) มาใช้ในการรับ-ส่ง ข้อมูล ภาพและเสียงเป็นสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ปัจจุบันในด้านการศึกษา ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงแบบ FTTx มีจำนวนรูปแบบการส่งเพียง 4 รูปแบบช่องสัญญาณ ซึ่งมีรูปแบบการส่งสัญญาณน้อยและยังมีราคาค่อนข้างสูงเกินกว่าที่ นนร. จะสามารถนำมาใช้งานในแนวทางการบริหารทางทหารต่อไป

เทคโนโลยี Fiber to the x (FTTx) เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านโครงข่ายเส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ที่มีใช้งานในกองทัพบก โดยเฉพาะเหล่าทหารสื่อสาร ผู้วิจัยจึงมีแนวทางในการพัฒนาชุดสาธิตส่งสัญญาณแสงด้วยวิธีผ่านโครงข่ายใยแก้วนำแสง FTTx เพื่อเป็นสื่อการสอนประกอบ วิชาการสื่อสารทางแสง EE5706 ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร (พ.ศ. 2563) ของ รร.จปร. และเป็นวิชาที่ นนร. จะต้องนำไปใช้ในชีวิตรับราชการต่อไป

2. ขอบเขตงานวิจัย

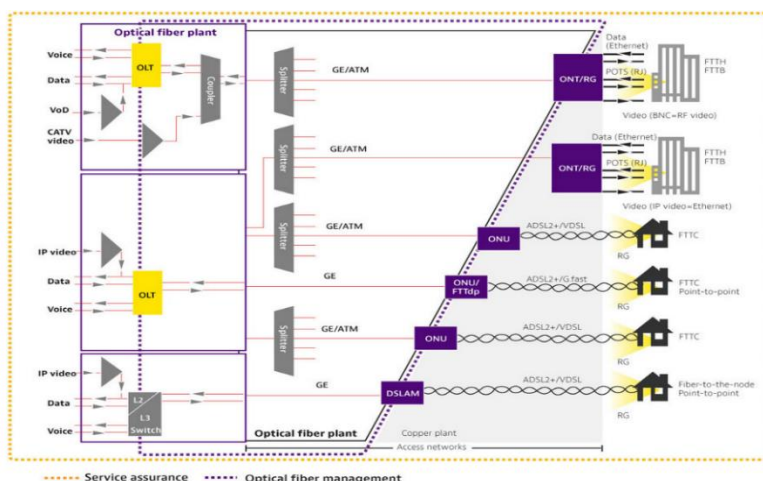
- 2.1 เพื่อพัฒนาชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) หลายรูปแบบสัญญาณ
- 2.2 เพื่อเป็นแบบจำลองในการตรวจสอบเส้นใยนำแสงและการส่งสัญญาณแสงในแต่ละรูปแบบ

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 โครงข่ายสายไฟเบอร์ออฟติกแบบพาสซีฟ (FTTx) ย่อมาจาก Fiber to the x ซึ่งหมายถึงเทคโนโลยีการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านโครงข่ายเส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ที่ลากหรือต่อตรงไปยังสถานที่ปลายทาง (x) และทำให้ FTTx สามารถรองรับข้อมูลปริมาณมากรวมถึงรับ-ส่งสัญญาณในระยะทางไกลโดยไม่ถูกรบกวนจากภายนอกเมื่อเปรียบเทียบกับ ADSL ที่เป็นการส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านสายเคเบิลทองแดงแบบดั้งเดิมหรือ 3G/ 4G ที่เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายและมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยเพียง 10-150 Mbps เท่านั้น

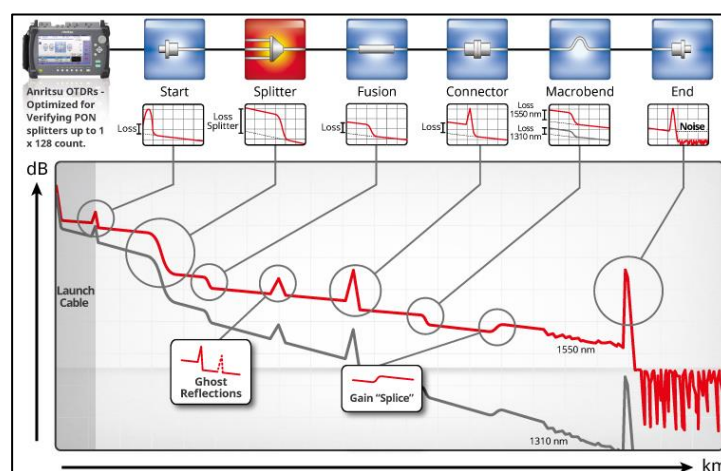
ในอดีต FTTx ไม่ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายมากนักโดยมีเพียงองค์กรขนาดใหญ่ที่มีงบประมาณเพียงพอและสามารถลงทุนได้แต่เนื่องจากต้นทุนของเทคโนโลยีที่ลดต่ำลงเรื่อย ๆ FTTx จึงเริ่มได้รับความนิยมมากขึ้นจากทั้งภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม ตัวอย่างของบริการ FTTx สำหรับตลาดผู้บริโภคได้แก่ การให้บริการ FTTH (Fiber to the Home) หรือ FTTB (Fiber to the Building) ที่เป็นบริการสัญญาณบรอดแบนด์ไฟเบอร์ความเร็วสูงระดับ Gbps เชื่อมต่อเข้าไปยังสถานที่พักอาศัยหรืออาคารโดยตรงซึ่งปัจจุบันก็มีผู้ให้บริการเช่น กลุ่ม True, AIS, จัสมิน (3BB) เป็นต้น



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายสายไฟเบอร์ออฟติกแบบพาสซีฟ FTTx

3.1.2 โครงข่ายสายไฟเบอร์ออฟติกแบบพาสซีฟ (FTTB) การรวมสัญญาณแบบแบ่งเวลา

FTTB (Fiber To The Building): เป็นโหมมการเชื่อมต่อเครือข่ายของ FTTx + LAN ส่วนใหญ่เชื่อมต่อสัญญาณอปติกเข้ากับกล่องกระจายหลักของอาคารสำนักงานหรืออาคารอพาร์ทเมนต์เพื่อให้สามารถเข้าถึงสัญญาณใยแก้วนำแสงได้ ภายในอาคารอพาร์ทเมนต์ยังคงใช้สายโคแอกเซียลคู่บิดหรือใยแก้วนำแสงเพื่อรับรู้อินพุตการกระจายสัญญาณเพื่อให้เกิดการใช้ข้อมูลความเร็วสูง เราเรียกว่า Broadband Access Network (FTTB) สำหรับ FTTx + LAN ซึ่งเป็นวิธีการเข้าถึงบรอดแบนด์ที่สมเหตุสมผลใช้งานได้จริงและคุ้มค่าที่สุด โดยคุณสมบัตินี้ความเร็วของการส่งข้อมูลผ่านไฟเบอร์เข้ากับอาคารสายเคเบิลเครือข่ายไปที่บ้านและความเร็วต้นน้ำและปลายน้ำสามารถเข้าถึง 10Mbps อีกทั้งราคาในการติดตั้งระบบมีความคุ้มค่า เนื่องจากความเป็นเอกลักษณ์และอัตราการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงจึงต้องใช้วิศวกรที่มีความชำนาญ



รูปที่ 2 ร่างโครงสร้างของโครงข่ายสายไฟเบอร์ออฟติกแบบพาสซีฟ FTTB

3.1.3 เส้นใยนำแสง (Fiber Optic)

เส้นใยนำแสง (Fiber Optic) คือ สายนำสัญญาณที่ใช้แสงเป็นตัวกลางในการสื่อสาร ข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยทำจากแก้วที่มีความบริสุทธิ์มาก เส้นใยแก้วนำแสงที่ดีต้อง สามารถนำสัญญาณแสงจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งโดยไม่ การสูญเสียของสัญญาณแสงน้อยที่สุด

3.1.4 การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector)

การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงด้วยหัวเชื่อมต่อทำให้ผู้ใช้มีความสะดวก สามารถถอดเปลี่ยนได้ตามความจำเป็น ในปัจจุบันมีการผลิตหัวเชื่อมต่อสำหรับเส้นใยนำแสงออกมาหลายแบบให้เลือกใช้ตามสภาพการใช้งานเป็นหลัก หัวเชื่อมต่อได้ถูกออกแบบเพื่อช่วยให้ปลายเส้นใยนำแสงอยู่ใกล้กันมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นๆ อีกเช่น แข็งแรงทนทานทำให้เกิดการสูญเสียของแสงต่ำและมีราคาถูก เป็นต้น

3.1.5 ค่าการสูญเสียของสัญญาณแสงใน Fiber Optic System (LOSS)

การสูญเสียของสัญญาณแสงในเส้นใยนำแสง เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลข่าวสาร ทำให้การเชื่อมต่อสื่อสารด้วยระยะทางไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง (ปกติเส้นใยนำแสง สามารถเชื่อมต่อได้ด้วยระยะทางที่ยาวมากๆ ตั้งแต่ 100 เมตรขึ้นไป จนถึงหลัก 100 กิโลเมตร) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่า เลือกใช้เส้นใยนำแสงแบบใดเป็นแบบ Multimode หรือ Single mode รวมทั้งยังขึ้นอยู่กับโปรโตคอลของเครือข่าย การสูญเสียของสัญญาณแสงในเส้นใยนำแสง ที่เกี่ยวกับการทำให้เกิดการสูญเสียของกำลังแสงในสาย มีหลายประการ ดังนี้

3.1.5.1 Bending Loss

เนื่องจากการโค้งงอของสายเกินค่ามาตรฐานที่ผู้ผลิตกำหนด เกิดจากปัญหาการโค้งงอของสาย เกินค่ารัศมี ความโค้งงอของสายตามปกติ (Minimum Bend Radius) อย่างไรก็ตาม Bending Loss ยังสามารถเกิดขึ้นได้จากการงอที่ระบอบย่อย ๆ ดังนี้ 1.ความโค้งที่มีความแหลมบริเวณแกนของสาย 2. ความไม่สมบูรณ์ของ Buffer และ Jacket โดยมีความคลาดเคลื่อนของการวางตำแหน่งระหว่างกันที่ห่างประมาณ 2-3 มิลลิเมตรและ 3. การติดตั้งสายไม่ถูกวิธีหรือไม่เรียบร้อย

3.1.5.2 Splice Loss

สามารถเกิดขึ้น ณ ที่ใดก็ได้ที่มีการตัดต่อและเชื่อมสายเข้าด้วยกัน การสูญเสียอันเนื่อง มาจากการทำ Splice ที่ไม่สมบูรณ์ ประกอบด้วย การลดทอน 2 แบบ ได้แก่ Mechanical Loss และ Fusion Splicing Loss

- Mechanical Loss จะมีอัตราสูงที่สุด เมื่อเทียบกับ Fusion Splicing โดยมีอัตราการลดทอน ตั้งแต่ 0.1dB ไปจนถึง 0.5dB ขึ้นไป

- Fusion Splice มีอัตราการลดทอน ต่ำสุด โดยมีอัตราการลดทอน ตั้งแต่ 0.01-0.2dB

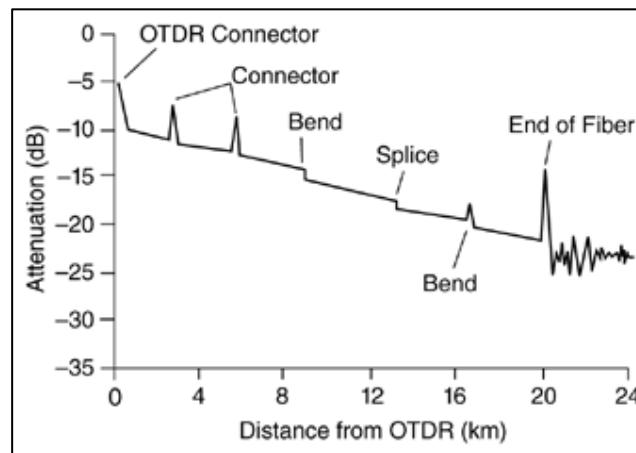
3.1.5.3 Connector Loss

การสูญเสียที่เกิดขึ้นจาก Fiber Optic Connector สามารถมีระดับ 0.25-1.5dB และขึ้นอยู่กับชนิดของ Connector ที่ใช้งานอีกด้วย นอกจากนี้ยังมี Factor อื่นๆ ที่ทำให้เกิดการลดทอน ของ Connector ได้แก่ ปัญหาสกปรก หรือ Contamination บน Connector (ปัญหาที่เกิดบ่อยที่สุด), การติดตั้ง Connector ที่ไม่ถูกต้องไม่เรียบร้อยและการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของ Connector ซึ่งถือเป็นปัญหาหลังจากการติดตั้งและใช้งานไปแล้ว

3.1.5.4 การลดทอน จากการติดตั้ง

เนื่องจากว่า สาย Fiber Optic มีส่วนมากที่ทำมาจาก Silica และกระจก ดังนั้น ถึงแกนกลางของสายจะได้รับการป้องกันจาก Jacket เปลือกนอกของเส้นใยนำแสง รวมถึงโครงสร้างอื่นๆ ด้วยแล้ว แต่การติดตั้งที่ขาดความระมัดระวัง การติดตั้งที่ทำให้เกิดความเสียหายกับแก้วแกนกลางภายใน เมื่อสายได้ถูกกระทำจากแรงเหล่านี้ในการติดตั้งมากเกินไป อาทิ แรงกด แรงกระแทก แรงเหวี่ยง แรงดึง แรงบิด ก็จะทำให้เกิดค่า การลดทอน ได้

จากสาเหตุการเกิดค่าความสูญเสียหรือค่า การลดทอน ในระบบ เมื่อเราทำการทดสอบระบบด้วยเครื่องทดสอบ OTDR เราจะได้กราฟที่แสดงผลในระบบที่ทำการทดสอบดังตัวอย่างภาพด้านล่าง



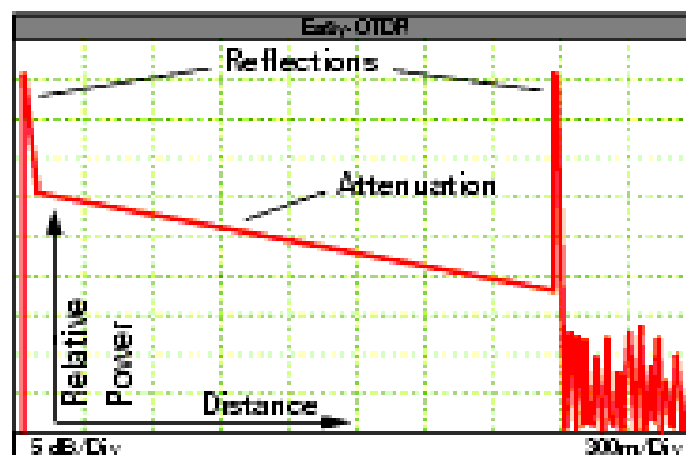
รูปที่ 3 แสดงค่า การลดทอน ของ Even ในแค่ Even ของระบบผ่านเครื่อง OTDR

3.1.6 เครื่อง OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) คือ เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติของเส้นใยนำแสง จุดประสงค์ของเครื่องมือนี้ก็เพื่อตรวจวัดและค้นหาเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนเส้นใยนำแสง เช่น ความยาวของสาย, ตำแหน่งที่มีการเชื่อมต่อ (Splice) หรือหัวเชื่อมต่อ (Connector) และอัตราการสูญเสียของสัญญาณ (Attenuation)

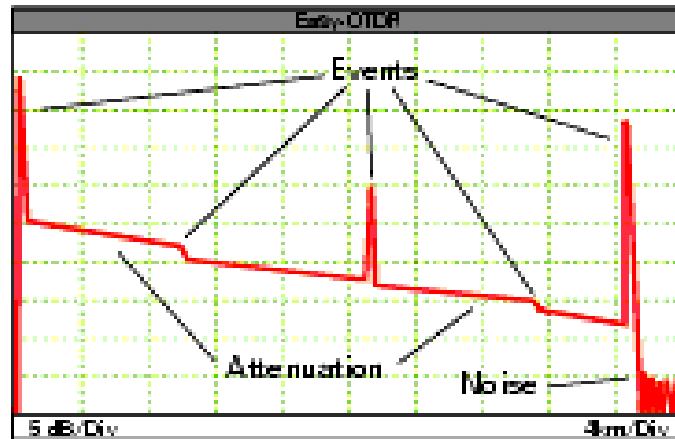
ข้อดีของ OTDR ก็คือ เราสามารถใช้ทดสอบเส้นใยนำแสงจากปลายข้างเดียวเท่านั้น OTDR จะแสดงผลเป็นกราฟ ที่แสดงการสูญเสียของสัญญาณในระหว่างการส่งข้อมูล ดังนั้น OTDR จึงเป็นเครื่องมือที่นิยมมากที่สุดสำหรับทดสอบ เส้นใยนำแสง อีกทั้งการตรวจวัดโดย OTDR จะแสดงการเหตุการณ์ (Event) บนเส้นใยนำแสงจะเกิดจากการสูญเสีย (Loss) หรือ การสะท้อน (Reflection) มากกว่า การกระจาย (Scattering) ที่เกิดจากวัสดุของเส้นใยนำแสงที่ผลิต หลักการนี้จะใช้กับการเชื่อมต่อ ทุกแบบ รวมถึงความเสียหายที่เกิดจากการโค้งงอ (Bending), การแตก (Crack) หรือ การขาด (Break) ของสายใยแก้วนำแสง

3.1.6.1 Single Fibers จะแสดงผลของการวัดเป็นกราฟฟีก (OTDR Trace) ตามรูปที่ 4 จะเห็นว่ามี การลดของ กำลังแสง (Power level attenuation) ลงเรื่อยๆ และที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายของเส้นใยนำแสงจะมีการสะท้อนกลับ (Reflection) สูง



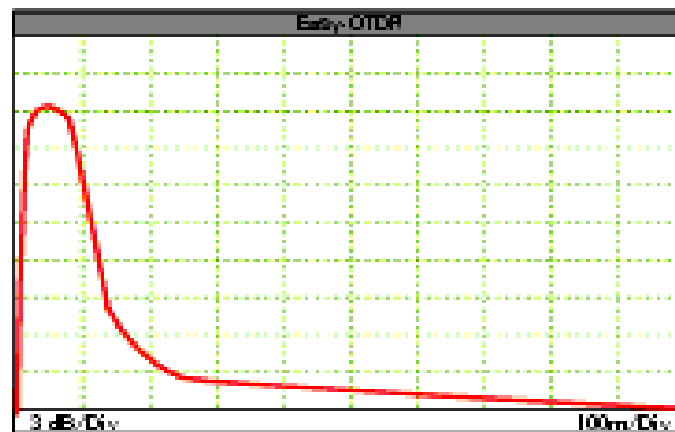
รูปที่ 4 แสดงกราฟของ Single Fibers ที่แสดงบนเครื่อง OTDR

3.1.6.2 Whole links คือการเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงกับตัวเชื่อมต่อทั้งหมด สามารถสังเกตให้เป็นรูปแบบ Whole link ได้ นอกจากจะมีการลดทอนแบบทั่วไปแล้ว (normal attenuation) จะเห็นว่า มี Event ต่าง ๆ และ Noise หลังจากจุดปลาย ของ link ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5



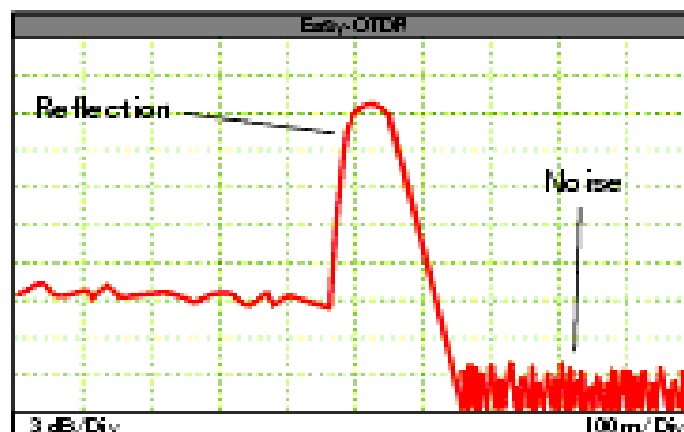
รูปที่ 5 แสดงกราฟของ Whole links ที่แสดงบนเครื่อง OTDR

3.1.6.3 Beginning of a Fiber ในเหตุการณ์นี้จะเกิดจากการนำการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อในกรณีของ Normal straight connector จะเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นใยนำแสงเป็นการสะท้อนกลับอย่างแรงที่ Front connect ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงกราฟของ Beginning of a Fiber ที่แสดงบนเครื่อง OTDR

3.1.6.4 Fiber End คือ จุดสิ้นสุดของกำลังส่งผ่านเส้นใยนำแสงโดยทั่วไปแล้วจะมองเห็นเป็นการสะท้อนอย่างแรง (Strong reflection) ที่จุดปลายของสายใยแก้วนำแสงก่อนที่จะแสดงผลของการวัดเป็นกราฟฟิค (OTDR Trace) จะลดต่ำลงถึงระดับของ Noise ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงกราฟของ Fiber End ที่แสดงบนเครื่อง OTDR

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) นี้ คณะผู้วิจัยได้มีการค้นคว้าหาข้อมูลและนำบทความวิจัยหรือปริยฐานิพนธ์ต่างๆ มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและจัดทำชุดสาธิตนี้ขึ้นมา โดยในส่วนของภาคทฤษฎีของการทดลองต่างๆ ได้ศึกษามาจากการพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการด้านการสื่อสารทางแสงแบบประหยัด (ดิศพล จำเริญกุล:2558) โดยมีที่มาจากการนำเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ใหม่และพัฒนาให้เป็นชุดฝึกปฏิบัติการ ซึ่งผู้สอนสามารถซ่อมแซมชุดฝึกปฏิบัติการได้ด้วยตนเองโดยง่าย และใช้ต้นทุนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ชุดฝึกปฏิบัติการที่นำเข้าจากต่างประเทศ ผลการทดสอบพบว่าชุดฝึกปฏิบัติการนี้สามารถฝึกฝนและเพิ่มทักษะให้แก่ผู้ทำการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเหมาะสมแก่การนำมาใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน ซึ่งหนึ่งในวิชาเหล่านั้นก็คือวิชาในภาคทฤษฎี และปฏิบัติด้านการสื่อสารทางแสง,การกระจายของคลื่น,ชนิดคุณสมบัติ,การเข้ารหัส,การมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบภายในชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) นี้ขึ้นมา (ไกรสร สาริษา : 2546) ออกแบบชุดทดลองระบบสื่อสารดิจิทัลเพื่อประกอบการเรียนการสอนวิชาระบบสื่อสาร 1 และ 2 ของภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้าอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ออกแบบใบงานประกอบการใช้งานชุดทดลองให้มีความเหมาะสมกับหลักสูตร

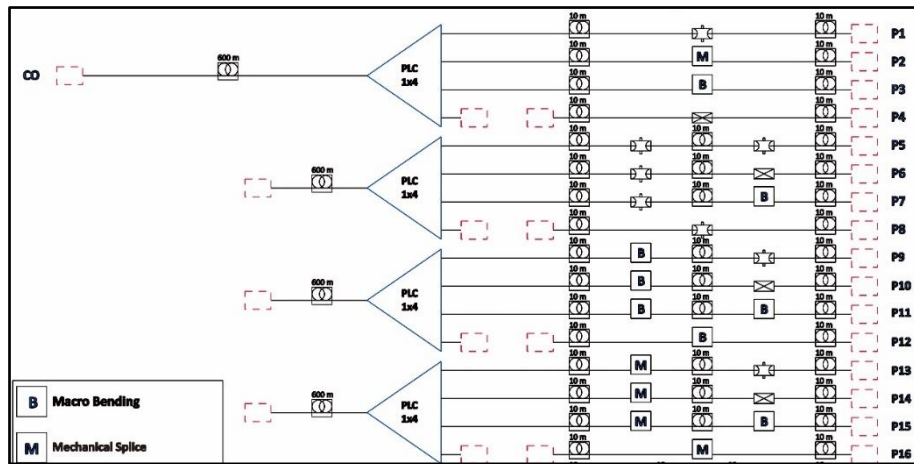
ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 และ 1310 นาโนเมตร (ชนะ จันทร้อม : 2565) มีขั้นตอนการจัดทำ 2 ส่วนคือชุดสาธิตการส่งสัญญาณทางแสงและใบงานประกอบการทดลอง ในส่วนของชุดสาธิตการส่งสัญญาณทางแสงใช้อุปกรณ์การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น (WDM) ในการรับและส่งสัญญาณผ่านใยแก้วนำแสง โดยที่ภาคส่งจะใช้เลเซอร์ไดโอด เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยใช้ชนิด Single Mode ไปยังโฟโต้ไดโอดที่เป็นอุปกรณ์ในส่วนภาครับสัญญาณ การวิจัยนี้จึงมีประโยชน์สำหรับ นนร. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ การสื่อสารทางแสงด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น การวิจัยนี้พบว่าสามารถทดลองในคุณสมบัติของเลเซอร์ไดโอด โฟโต้ไดโอด และหลักการทำงานของมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นได้ ทั้งนี้ มีค่าคลาดเคลื่อนประมาณ 5-10 dBm จากจุดเทรซโฮลของเลเซอร์ ทั้ง 2 ความยาวคลื่น อันเกิดจากสัญญาณผ่านตัวกลางอย่างคับเปอร์เส้นใยแก้ว

4. การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการพัฒนาชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) ซึ่งเนื้อหาในบทที่ผ่านมาจะเป็นการศึกษาค้นคว้ารายละเอียดของการจัดทำวิจัยนี้ แล้วนำมาวิเคราะห์อีกครั้งเพื่อดำเนินการออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ ออกแบบกล่องจัดเก็บอุปกรณ์ และจัดทำประเมิน วิเคราะห์ผลตามที่ได้ออกแบบ โดยได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาข้อมูลและแนวทางการออกแบบการทดลอง

การออกแบบและการสร้างชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) ได้แบ่งการสร้างออกเป็น 4 ใบงานการทดลอง ทำการศึกษาการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ Port P1-P16 จากเครื่อง OTDR โดยผู้จัดทำได้ออกแบบการทดลองและวิเคราะห์การใช้งานของสัญญาณแสงผ่านเครื่องมือวัดตรวจจบบระบบไฟเบอร์ออฟติก (Optical Time Domain Reflectometer: OTDR) เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการทำงานของเครื่อง OTDR และอีกทั้งสามารถวิเคราะห์เข้าใจในเหตุการณ์ต่างๆ (Event) ที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแสง เช่น การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector), การเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical splice), การเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice), จุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) และจุดที่มีการแยกกระจายของเส้นใยนำแสง (Planar Lightwave Circuit splitter) เป็นต้น



รูปที่ 8 ตัวอย่างการวิเคราะห์สัญญาณในใบงานการทดลอง

4.2 วิเคราะห์และรวบรวมข้อมูล

ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ

4.2.1 ส่วนที่ 1 ส่วนประกอบหลักของการสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง

- ตัวกำเนิดแสง (Light Source) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงหรือ Optical Transmitter
- สายนำสัญญาณไฟเบอร์ออฟติก (Optic Fiber) ซึ่งทำจากแก้วหรือพลาสติกคุณภาพสูงทำหน้าที่เป็นสื่อกลางในการนำสัญญาณ หรือ Channel

- ตัวแยกสัญญาณแสง (Light Detector) เป็นอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งจะมีอุปกรณ์ประเภท PIN Diode ทำหน้าที่ เป็นตัวแยกสัญญาณหรือถอดรหัส เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า หรือ Optical Receiver

4.2.2 ส่วนที่ 2 คุณสมบัติการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

การส่งสัญญาณหลาย ๆ สัญญาณผ่านทางสายใยแก้วนำแสง เส้นเดียวนั้น สามารถทำได้โดยการกำหนดระยะเวลาและองศาของ Source ที่ป้อนเข้าไปให้มีความแตกต่างกันและเมื่อสัญญาณแสงผ่านเข้าไปในสายใยแก้วนำแสงจะเกิดการสะท้อนที่ผิวสาย แสงที่สะท้อนนี้จะเดินทางไปยังปลายทาง การสะท้อนนี้จะเกิดภายในสายเท่านั้น โดยไม่ทะลุผ่านผิวออกไปข้างนอก

4.3.3 ส่วนที่ 3 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในเส้นใยแก้วนำแสง

เหตุการณ์ (Event) บนสายใยแก้วนำแสงจะเกิดจากการสูญเสีย (Loss) หรือการสะท้อน (Reflection) มากกว่าการกระจาย (Scattering) ที่เกิดจากวัสดุของสายใยแก้วที่ผลิต หลักการนี้จะใช้กับการเชื่อมต่อทุกแบบ รวมถึงความเสียหายที่เกิดจากการโค้งงอ (Bending), การแตก (Crack) หรือ การขาด (Break) ของสายใยแก้วนำแสง

เครื่อง OTDR TEST แสดงผลของการวัดเป็นกราฟฟิบบนจอภาพ โดยแกนในแนวตั้งจะเป็นแกนกำลัง (Power Axis) ส่วนแกนในแนวนอนเป็นแกนระยะทาง ในกราฟต่างๆ เหล่านี้จะแสดงให้เห็นรู้จักกับ กราฟการแสดงผลของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่มักจะเกิดขึ้นในการทดสอบ



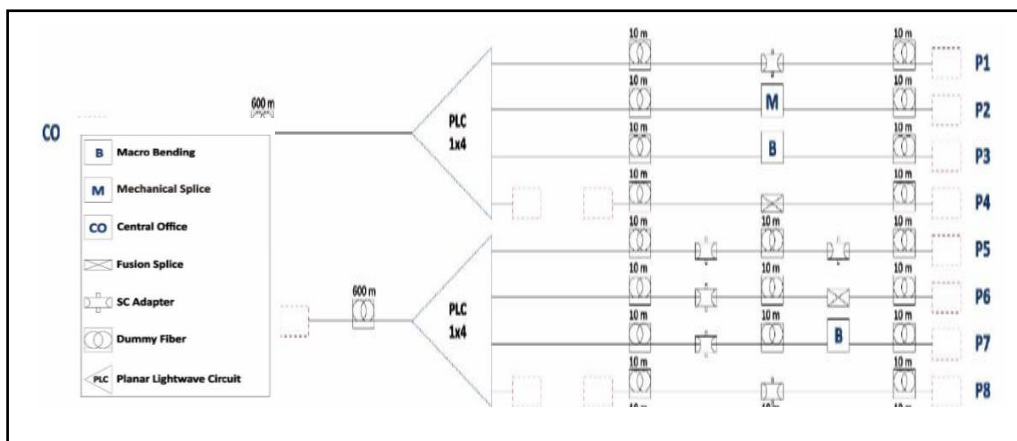
รูปที่ 9 เครื่อง OTDR Test

4.4 การออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ภายในชุดสาธิต

4.4.1 การออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ ได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม CoreIDRAW 2020 ตามรูปที่ 10 แสดงภาพออกแบบการจัดวางอุปกรณ์

4.4.2 การออกแบบแผ่นหน้ากล่อง ได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม CoreIDRAW

4.4.3 การออกแบบระยะและตำแหน่งในการเจาะของแผ่นหน้ากล่อง ได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD รุ่น 2022



รูปที่ 10 แสดงภาพออกแบบแผ่นหน้ากล่องชุดสาธิต

4.5 การออกแบบและวางจุดเชื่อมต่อของเส้นใยแก้วนำแสง

4.5.1 การออกแบบระยะและตำแหน่งในการเจาะของกล่องได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD รุ่น 2022

4.5.2 การออกแบบระยะและตำแหน่งในการเจาะของกล่องเก็บ Event ออกแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD รุ่น 2022
การเชื่อมต่อสายไฟเบอร์ออฟติกภายในกล่องชุดสาธิต



รูปที่ 11 การออกแบบจุดเชื่อมต่อของเส้นใยแก้วนำแสงภายในชุดสาธิต

4.6 การทดสอบการทำงาน

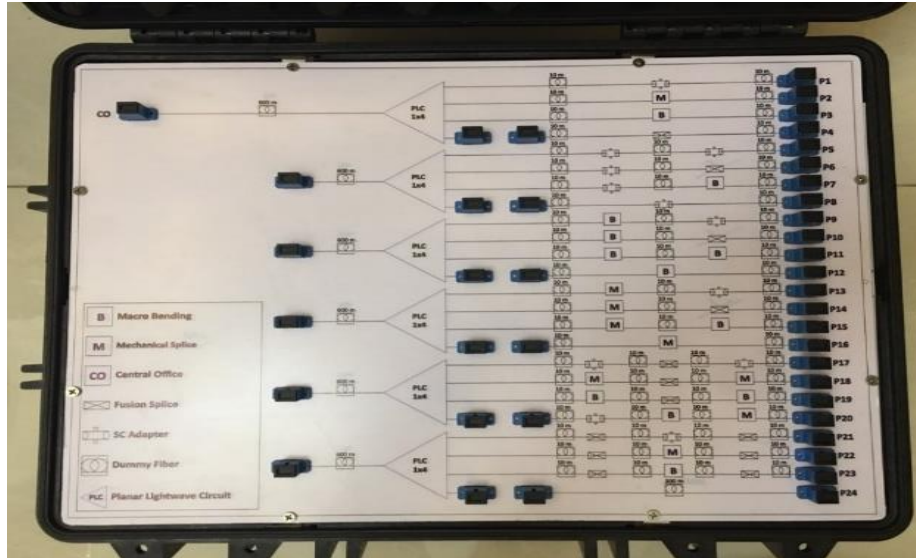
เมื่อทำการสร้างชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) สามารถเชื่อมต่อรับ-ส่งสัญญาณผ่านการทดสอบการทำงานร่วมกับเครื่อง OTDR เพื่อตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ว่าถูกต้องหรือเป็นไปตามทฤษฎีที่รองรับหรือไม่

5. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทดลองชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) กับนักเรียนนายร้อย (นร.) ชั้นปีที่ 4 จำนวน 16 นาย โดยมีรายละเอียดผลการทดลอง ดังนี้

5.1 ชุดสาธิตที่เสร็จสมบูรณ์

ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง ที่เสร็จสมบูรณ์มีลักษณะรูปแบบภายนอกและอุปกรณ์บรรจุชุดสาธิตดังกล่าว ตามรูปที่ 12



รูปที่ 12 ชุดสาธิตที่เสร็จสมบูรณ์

5.2 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ Port P1 - P4 จากเครื่อง OTDR

ในการทดลองนี้ เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการทำงานของเครื่อง OTDR และอีกทั้งสามารถวิเคราะห์เข้าใจในเหตุการณ์ต่างๆ (Event) ที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแสง เช่น การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ, การเชื่อมต่อเชิงกล, การเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลายและจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ จากผลการศึกษาผ่านใบงานการทดลองแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสัญญาณและรูปแบบที่แตกต่างกันของแต่ละเหตุการณ์สังเกตได้จาก ผลแสดงผ่านเครื่อง OTDR ดังนี้

5.2.1 ผลการทดลอง ค่า Pulse width : 50 ns

ตารางที่ 1 ใบงานที่ 1 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P1

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	10.009	26.496	0.288	0.291	
E	1.70225	-	15.333	12.646	3.554	

ตารางที่ 2 ใบงานที่ 1 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P2

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	2.221	28.721	0.286	0.288	
2.	1.08007	9.603	54.955	-1.502	-	
E	1.70430	-	13.411	8.783	1.092	

ตารางที่ 3 ใบงานที่ 1 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P3

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	9.891	27.853	0.283	0.286	
E	1.48459	-	-	14.832	10.503	

ตารางที่ 4 ใบงานที่ 1 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P4

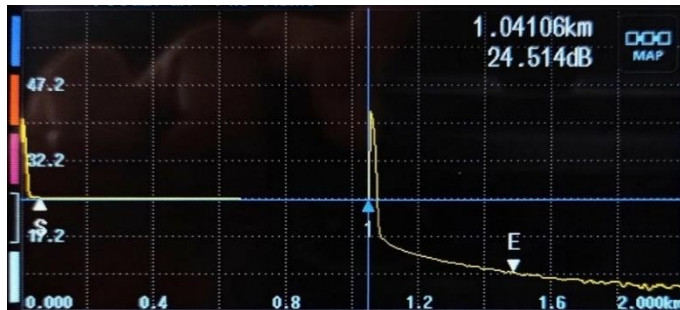
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	-43.266	27.426	0.286	0.288	
2.	1.07391	11.051	35.456	-3.332	-	
E	1.70430	-	13.632	8.753	1.640	



รูปที่ 13 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P1



รูปที่ 14 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P2



รูปที่ 15 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P3



รูปที่ 16 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P4

แสดงผลของค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง (Return Loss) ที่ใช้ค่า Pulse width 50 นาโนเมตร โดยทำการวัดค่าผ่านเครื่อง OTDR โดยจะสังเกตจากเหตุการณ์ (Event) ที่ทำการเชื่อมต่อ (Connector) ในรูปแบบต่างๆ กับเส้นใยแก้วนำแสง เช่น (1) รูปที่ 13 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Sc Adapter Connector) (2) รูปที่ 14 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical splice) (3) รูปที่ 15 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) และ (5) รูปที่ 16 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดและประเภทการใช้งานในการงานของข้อต่อชนิดต่างๆ ให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เหมาะสมเพื่อต้นทุนและค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง ที่อาจมีผลต่อระบบได้ อีกทั้งใบงานการทดลองยังออกแบบให้ศึกษาเปรียบเทียบค่า Pulse width ในรูปแบบที่แตกต่างกันด้วย

5.3 การทดลองที่ 2 การศึกษาการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ Port P5 - P8 จากเครื่อง OTDR

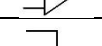
ในการทดลองนี้ เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการทำงานของเครื่อง OTDR และอีกทั้งสามารถวิเคราะห์เข้าใจในเหตุการณ์ต่างๆ (Event) ที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแสงแบบซ้อนกัน 2 เหตุการณ์ โดยเหตุการณ์ที่ 1 จะประกอบไปด้วย : การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector), การเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) และจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) เหตุการณ์ที่ 2 คือ การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector) ผลแสดงผ่านเครื่อง OTDR ดังนี้

5.3.1 ผลการทดลอง ค่า Pulse width : 50 ns

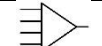
ตารางที่ 5 ใบงานที่ 2 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P5

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	-33.345	27.350	0.282	0.288	
2.	1.08829	9.014	40.060	0.195	-	
3.	1.40656	0.620	-	10.148	2.953	
E	1.71251	-	15.627	11.241	1.542	

ตารางที่ 6 ใบงานที่ 2 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P6

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	-10.254	29.819	0.285	0.286	
2.	1.08623	9.956	40.559	-2.206	-	
3.	1.42299	0.534	-	8.637	2.635	
E	1.71046	-	14.891	9.408	0.822	

ตารางที่ 7 ใบงานที่ 2 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P7

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	11.981	27.223	0.282	0.286	
2.	1.30184	0.468	-	12.445	0.698	
E	1.64270	-	-	15.898	8.756	

ตารางที่ 8 ใบงานที่ 2 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P8

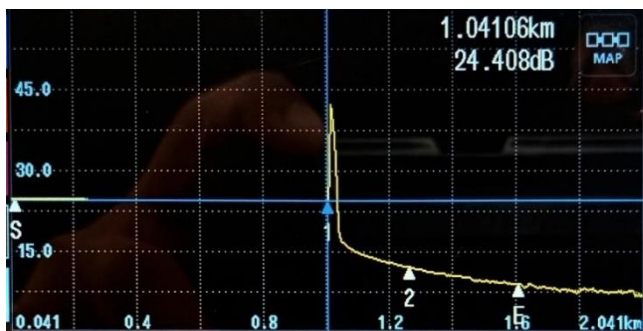
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04845	-9.963	26.619	0.303	0.306	
2.	1.07782	8.980	38.217	-1.652	-	
3.	1.40574	0.360	-	9.019	5.156	
E	1.70820	-	15.146	9.676	0.980	



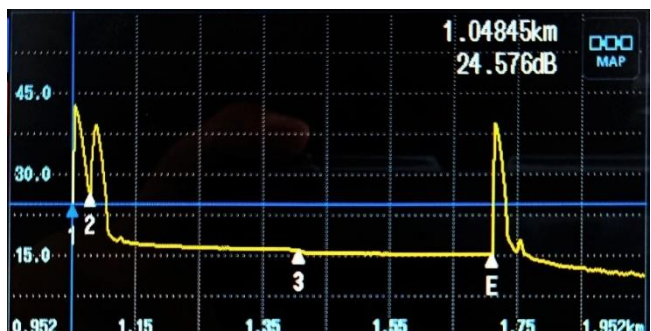
รูปที่ 17 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P5



รูปที่ 18 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P6



รูปที่ 19 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P7



รูปที่ 20 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P8

แสดงผลของค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง (Return Loss) ที่ใช้ค่า Pulse width 50 นาโนเมตร โดยทำการวัดค่าผ่านเครื่อง OTDR โดยจะสังเกตจากเหตุการณ์ (Event) ที่ทำการเชื่อมต่อ (Connector) ในรูปแบบต่างๆ กับเส้นใยแก้วนำแสง เช่น (1) รูปที่ 17 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Sc Adapter Connector) 2 หัวต่อเชื่อมกัน (2) รูปที่ 18 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical splice) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ (3) รูปที่ 19 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ และ (4) รูปที่ 20 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อดัวยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดและประเภทการใช้งานในการงานของข้อต่อชนิดต่างๆ ให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เหมาะสมเพื่อต้นทุนและค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง และสามารถเปรียบเทียบค่าความสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งได้

5.4 การทดลองที่ 3 การศึกษาการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ Port P9 – P12 จากเครื่อง OTDR

ในการทดลองนี้ เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการทำงานของเครื่อง OTDR และอีกทั้งสามารถวิเคราะห์เข้าใจในเหตุการณ์ต่างๆ (Event) ที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแสงแบบซ้อนกัน 2 เหตุการณ์ โดยเหตุการณ์ที่ 1 จะประกอบไปด้วย : การเชื่อมต่อดัวยหัวเชื่อมต่อ (Connector), การเชื่อมต่อดัวยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) และจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) เหตุการณ์ที่ 2 คือ การเชื่อมต่อดัวยหัวเชื่อมต่อ (Connector) ผลแสดงผ่านเครื่อง OTDR ดังนี้

5.4.1 ผลการทดลอง ค่า Pulse width : 50 ns

ตารางที่ 9 ใบงานที่ 3 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P9

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04845	7.183	26.625	0.300	0.301	
2.	1.15338	0.306	-	10.129	25.219	
3.	1.41508	26.261	73.958	13.896	13.225	
4.	1.51436	0.217	-	14.745		
E	2.04844	-	68.290	16.934	3.692	

ตารางที่ 10 ใบงานที่ 3 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P10

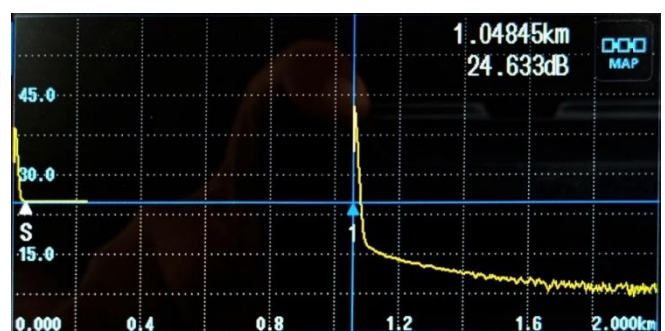
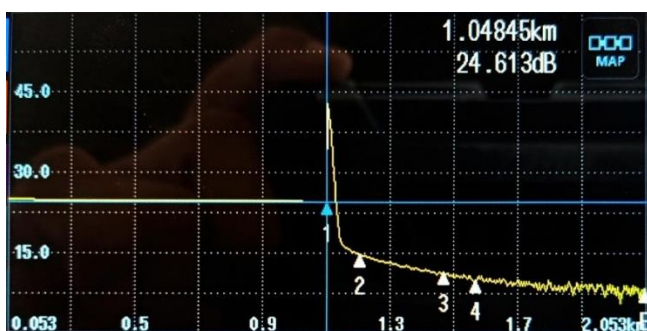
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04845	10.414	26.530	0.304	0.300	
E	2.04957	-	-	17.656	6.930	

ตารางที่ 11 ใบงานที่ 2 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P11

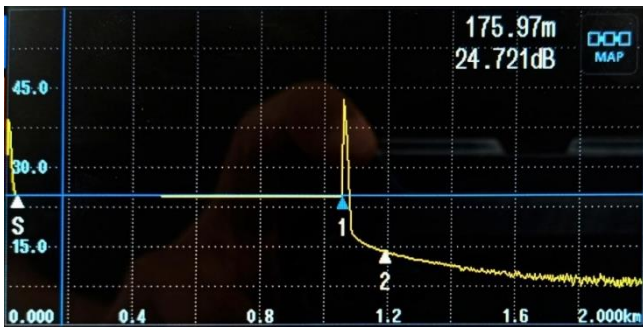
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.048.45	8.286	26.215	0.304	0.300	
2.	1.18634	1.306	-	10.595	14.539	
E	2.03859	-	67.100	17.401	6.454	

ตารางที่ 12 ใบงานที่ 3 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P12

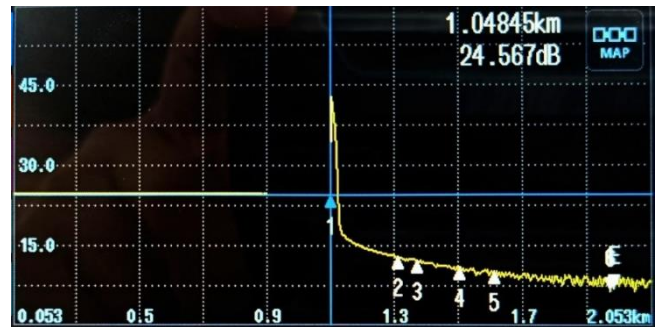
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04845	8.278	26.617	0.300	0.299	
2.	1.25800	0.148	-	11.945	16.067	
3.	1.31868	0.185	-	12.539	7.361	
4.	1.45122	0.179	74.753	14.142	10.700	
5.	1.55789	0.176	71.035	14.926	5.670	
6.	1.92073	0.448	68.055	16.701	4.404	
E.	1.93099	-	65.115	16.718	-41.897	



รูปที่ 21 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P9



รูปที่ 22 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P10



รูปที่ 23 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P11

รูปที่ 24 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P12

แสดงผลของค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง (Return Loss) ที่ใช้ค่า Pulse width 50 นาโนเมตร โดยทำการวัดค่าผ่านเครื่อง OTDR โดยจะสังเกตจากเหตุการณ์ (Event) ที่ทำการเชื่อมต่อ (Connector) ในรูปแบบต่างๆ กับเส้นใยนำแสง เช่น (1) รูปที่ 21 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Sc Adapter Connector) 2 หัวต่อเชื่อมกัน (2) รูปที่ 22 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical splice) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ (3) รูปที่ 23 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ และ (4) รูปที่ 24 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดและประเภทการใช้งานในงานของข้อต่อชนิดต่างๆ ให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เหมาะสมเพื่อต้นทุนและค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง และสามารถเปรียบเทียบค่าความสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งได้

5.5 การทดลองที่ 4 การศึกษาการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ Port P13 – P16 จากเครื่อง OTDR

ในการทดลองนี้ เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการทำงานของเครื่อง OTDR และอีกทั้งสามารถวิเคราะห์เข้าใจในเหตุการณ์ต่างๆ (Event) ที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแสงแบบซ้อนกัน 2 เหตุการณ์ โดยเหตุการณ์ที่ 1 จะประกอบไปด้วยการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector), การเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) และจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) เหตุการณ์ที่ 2 คือ การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector) ผลแสดงผ่านเครื่อง OTDR ดังนี้

5.5.1 ผลการทดลอง ค่า Pulse width : 50 ns

ตารางที่ 13 ใบงานที่ 4 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P13

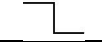
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04845	-17.196	26.539	0.298	0.298	
2.	1.07782	9.072	29.392	-1.454	-	
3.	1.20697	0.269	-	8.902	9.943	
4.	1.47822	0.348	-	11.138	7.252	
5.	1.56036	0.147	-	11.219	-3.246	

E	1.72247	-	17.758	11.596	1.421	
---	---------	---	--------	--------	-------	---

ตารางที่ 14 ใบงานที่ 4 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P14

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04927	1.377	24.323	0.329	0.314	
2.	1.05184	0.000		0.329		
3.	1.07874	0.929	47.412	3.077	46.528	
E	1.08952			2.911		

ตารางที่ 15 ใบงานที่ 4 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P15

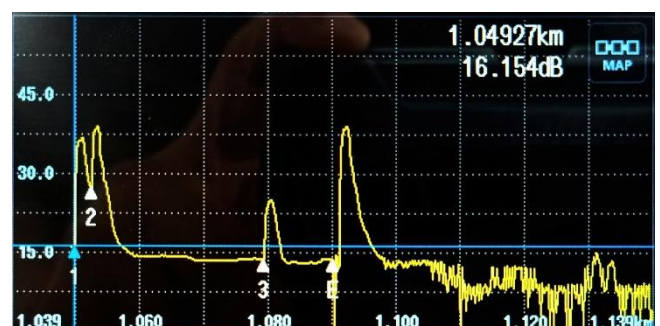
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	0.14599	0.122		0.572	15.704	
2.	0.22710	0.515		1.836	14.077	
E	0.83449		70.564	7.589	8.624	

ตารางที่ 16 ใบงานที่ 4 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P16

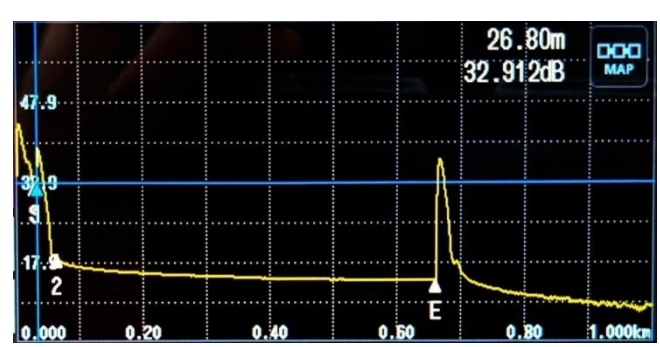
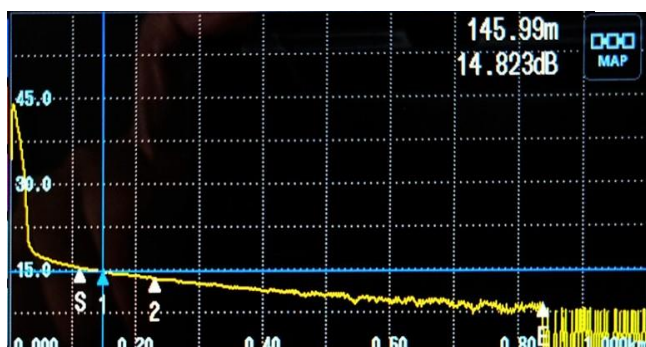
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	0.02608	13.921	50.073	0.031	-	
2.	0.06047	3.134	-	13.442	-15.121	
E	0.65800	-	17.842	18.651	3.471	



รูปที่ 25 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P13



รูปที่ 26 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P14



รูปที่ 27 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P15

รูปที่ 28 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P16

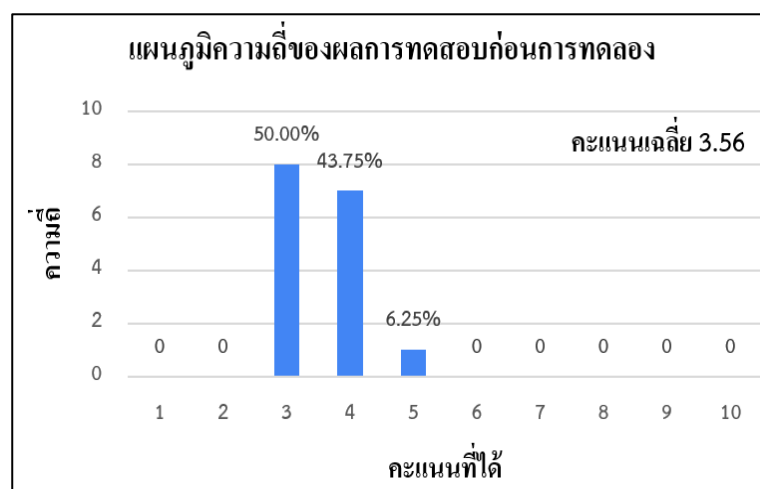
เครื่อง OTDR โดยจะสังเกตจากเหตุการณ์ (Event) ที่ทำการเชื่อมต่อ (Connector) ในรูปแบบต่างๆ กับเส้นใยแก้วนำแสง เช่น (1) รูปที่ 25 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Sc Adapter Connector) 2 หัวต่อเชื่อมกัน (2) รูปที่ 26 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง โดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical splice) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ (3) รูปที่ 27 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทจุดที่มีการโค้งงอของสายมาก (Macro Bending) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ และ (4) รูปที่ 28 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดและประเภทการใช้งานในการงานของข้อต่อชนิดต่างๆ ให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เหมาะสมเพื่อต้นทุนและค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง และสามารถเปรียบเทียบค่าความสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งได้

5.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ทางผู้จัดทำได้จัดให้มีผู้มาทดลองชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง เพื่อที่จะทดสอบชุดสาธิตฯ ว่ามีประสิทธิรูปที่จะนำมาใช้งานหรือไม่ รวมไปถึงใบงานประกอบชุดสาธิตว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริงและมีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด จึงได้ให้นักเรียนนายร้อย (นร.) ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า เป็นผู้ทดลองใช้ชุดสาธิตจำนวน 16 นาย การทดสอบและการประเมินผลชุดสาธิตนี้มีขั้นตอนในการทำ 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

5.6.1 การทำแบบทดสอบก่อนใช้ชุดสาธิตกับผู้ทำการทดลอง

ก่อนที่จะให้ผู้ทำการทดลองได้ทดสอบชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง ทางผู้วิจัยให้นร. ได้ทำแบบทดสอบก่อนใช้ชุดสาธิตเพื่อที่จะทดสอบความรู้เบื้องต้นของ นร. ก่อนที่จะใช้ชุดสาธิตโดยแบบทดสอบจะมีจำนวน 10 ข้อ โดยคำถามจะเป็นความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง ให้ความเวลาในการทำแบบทดสอบประมาณ 10 นาที โดยมีผลคะแนนของ นร. แสดงในรูปที่ 29



รูปที่ 29 แสดงกราฟผลการทดสอบก่อนการใช้งานชุดสาธิต

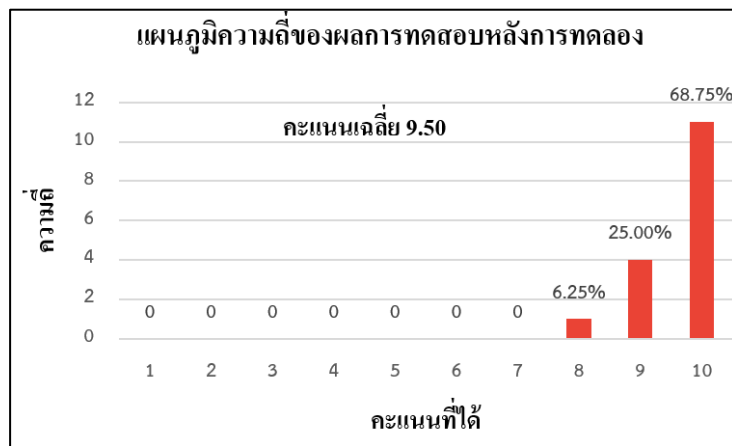
จากรูปที่ 29 ผลคะแนนที่ได้แสดงให้เห็นว่า นนร. ทั้งหมดได้คะแนนต่ำกว่าครึ่งเป็นส่วนใหญ่จากการ ทำแบบทดสอบ ก่อนการใช้ชุดสาธิตดังกล่าวโดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ประมาณ 3.56 คะแนน จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน โดยทำการทดสอบก่อน ใช้งานผ่านระบบ Google Form

5.6.2 การทำใบงานประกอบชุดสาธิต

เมื่อทำแบบทดสอบก่อนการใช้งานชุดสาธิตเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นขั้นตอนการทำการทดลองชุดสาธิตดังกล่าว ผ่านใบงานการทดลองจำนวน 2 ใบงานการทดลอง โดย นนร. จะต้องทดลองตามขั้นตอนที่ได้ระบุไว้และบันทึกผลที่ได้ลงในใบงานประกอบการทดลองจนครบทั้ง 2 ใบงานการทดลอง

5.6.3 การทำแบบทดสอบหลังใช้ชุดสาธิตกับผู้ทำการทดลอง

เมื่อ นนร. ได้ทดลองใช้ชุดสาธิตดังกล่าวเสร็จสิ้นแล้ว ก็จะต้องทำแบบทดสอบหลังการใช้ชุดสาธิตเพื่อที่จะดูผลว่าเมื่อ หลังจากได้ทดลองใช้แล้ว นนร. ได้ความรู้จากการได้ใช้ชุดสาธิตไปมากน้อยเพียงใด โดยคำถามยังคงใช้คำถามเดียวกันกับ แบบทดสอบก่อนการใช้ชุดสาธิตดังกล่าว จำนวน 10 ข้อ โดยมีผลคะแนนของ นนร. แสดงในรูปที่ 30



รูปที่ 30 แสดงกราฟผลการทดสอบหลังการใช้งานชุดสาธิต

จากรูปที่ 30 ผลคะแนนที่ได้สรุปว่า นนร. มีความรู้เข้าใจความเข้าใจเกี่ยวกับชุดสาธิตนี้มากขึ้น สังเกตได้จากผลคะแนน ของแบบทดสอบก่อนและหลังใช้ชุดสาธิต นนร. มีผลคะแนนที่เพิ่มขึ้น โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 9.50 จากคะแนนเต็ม 10 โดยผลจากการทำแบบทดสอบหลังการใช้ชุดสาธิตนี้ ทำการทดสอบหลังใช้งานผ่านระบบ Google Form

6. สรุป

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้าง สื่อการเรียนการสอนให้กับนักเรียนนาร้อยได้เรียนรู้และมีความเข้าใจในหลักการการส่งสัญญาณแสง ผู้วิจัยได้นำทฤษฎีที่ เกี่ยวข้องกับการสื่อสารทางแสงโดยการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง มาออกแบบเป็นชุดสาธิตดังกล่าว นี้เพื่อใช้ประกอบในวิชาปฏิบัติการสื่อสาร EE4703 ผ่านใบงานการทดลองทั้ง 4 การทดลอง คือ การศึกษาการเก็บ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ Port P1-P16

โดยผลการทดลองที่การทำงานชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง โดยใช้เครื่อง OTDR เพื่อการวัดค่าสัญญาณที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงผ่านชุดสาธิตดังกล่าวได้เรียบร้อยแล้ว พบว่าการทดลองในการวิเคราะห์ ค่าพารามิเตอร์สำคัญต่างๆ เช่น ค่าการลดทอนสัญญาณ (Fiber Loss), ค่าการสูญเสียเนื่องจากการเชื่อมต่อ (Connection loss), ระยะทางของเส้นใยแก้วนำแสงรวมถึงสามารถแสดงเหตุการณ์ (Event) ต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับเส้นใยแก้วนำแสงที่พิจารณา เหล่านั้นได้ การเข้าใจถึงหลักการทำงานของเครื่อง OTDR และการพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญต่อ

นักเรียนนายร้อย (นร.) ที่จะสำเร็จรับราชการในหน่วยที่มีอุปกรณ์และเทคโนโลยีทางด้านเส้นใยแก้วนำแสง อีกทั้งสามารถใช้งานเครื่อง OTDR ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ พร้อมทั้งวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นจากปัญหาแล้วสามารถวิเคราะห์เพื่อหาหนทางแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยชุดสาธิตส่งสัญญาณแสงด้วยวิธีผ่านโครงข่ายใยแก้วนำแสง FTTx สำเร็จลงด้วยดีนี้ ขอขอบคุณ บริษัท ภูมิคุ้ม อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้ยืมอุปกรณ์ในการใช้งานวิจัย ทั้งการวิเคราะห์และประมวลผล ขอขอบคุณ โรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร ที่สนับสนุนยุทธโธปกรณ์ที่นำมาทดลอง รวมทั้งขอขอบคุณ คณาจารย์จาก กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการต่างๆ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิทวัส สิริฐกุล, การสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง, 1st ed. ประเทศไทย, สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2560
- [2] Pedram Keirkhah Sangdeh, "Overview of Multiplexing Techniques in Wireless Networks" Published on September 2019 from <https://www.intechopen.com/books/multiplexing/overview-of-multiplexing-techniques-in-wireless-networks>
- [3] Shiva Kumar, M.Jamal Deen, "Fiber Optic Communication: Fundamentals and Application" John Wiley and Son, 2014
- [4] R.Sokullu, "Digital Communication Systems", chapter 6, 2012.
- [5] วิทวัส สิริฐกุล จิรศักดิ์ เจริญสกุล และ ปรีชา เกิดเจริญ. (2560). ชุดสาธิตการจำลองเหตุการณ์ผิดปกติบนสายใยแก้วนำแสง. การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 9
- [6] แผนกการสื่อสารประเภทสาย ส่วนการศึกษา โรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร, 2550
- [7] ชนะ จันทรอิม. (2563). ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 และ 1,310 นาโนเมตร. เอกสารงานวิจัย กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า.
- [8] ดิสพล ฉ่ำเฉียวกุล. การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการด้านการสื่อสารทางแสงแบบประหยัด. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ สถาบันวิจัยและพัฒนา; 2557.
- [9] STMicroelectronics. (2001). Datasheet Series 74HC. Retrieved on December 6, 2020, from <https://datasheetz.com>
- [10] ภัทรพงษ์ รักน้อย, ปรีชา ยูพาพิน. (2539). การตรวจวัดระยะไกลทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้เส้นใยนำแสง. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ปีที่ 4 เล่มที่ 2. 72-77