

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเส้นใยแก้วนำแสงแบบแฟบริ-เพอโรต์



นางสาว ลัดดาวัลย์ ยามไสย

นางสาว วัชรภรณ์ วงศ์ชุตติกาญจน์

นางสาว อัมผกา ใจบุญ

รศ.
ค2467
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **81620**
วัน,เดือน,ปี **19 ส.ย. 2551**

b. **11933189**
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temperature sensing with fiber Fabry – Perot



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of Requirement for the Degree of
Bachelor of Science Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเส้นใยแก้วนำแสงชนิดแฟบริ-เพอโรต์
นักศึกษา นางสาว ลัดดาวัลย์ ยามไสย
 นางสาว วชิรภรณ์ วงศ์ชุดิภาณูจน์
 นางสาว อัมผกา ใจบุญ
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปรีชา ยูพาพิน

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้กับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	
กรรมการ ผศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม	
กรรมการ อ.ภารุจ บัณฑิตาคาวิทย์	
กรรมการที่ปรึกษา รศ.ดร.ปรีชา ยูพาพิน	



(รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเส้นใยแก้วนำแสงแบบแพบริ-เพอโรต์
นักศึกษา	นางสาวลัคดาวัลย์ ขามไสย นางสาววัชรภรณ์ วงศ์ชุตติกาญจน์ นางสาวอัมผกา ใจบุญ
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการวัดอุณหภูมิโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบแพบริ-เพอโรต์ สัญญาณแสงจะถูกปล่อยจากเครื่อง Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) ซึ่งมีความยาวคลื่น 1550 nm ผ่านไปยังจุดตรวจวัดที่เรากำหนด โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆ เพื่อศึกษาถึงผลของค่าความสูญเสียกำลังทางแสงระหว่างการเชื่อมต่อกับอุณหภูมิว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเช่นไร โดยใช้เครื่อง OTDR เป็นตัววัดผล จากผลการทดลองพบว่ากราฟที่ได้จาก ค่าการสูญเสียกำลังทางแสงระหว่างการเชื่อมต่อกับอุณหภูมิไม่เป็นเชิงเส้น แต่มีแนวโน้มไปตามค่าอุณหภูมิ คือ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าการสูญเสียกำลังทางแสงระหว่างการเชื่อมต่อ ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Temperature sensing with fiber Fabry – Perot
Name	Miss Laddawan Yamsai Miss Watchareeporn Wongchutreekran Miss Umpakar Jaiboon
Department	Applied Physics Faculty of Science
Program	Applied Physics
Academic Year	2007
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Preecha Yupapin

ABSTRACT

This special project is study about temperature sensing with fiber Fabry – Perot. The light source is emission from Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) with wavelength is 1550 nm pass into the sensing device. After that perform always heating temperature for study to result of parameter between return loss with temperature as far as relative that change which show output by OTDR. The result find out that graph of parameter between return loss with temperature is non – linear but have trend follow to temperature. So when increase temperatures then return loss are increases too.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ยูพาพิณ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองตลอดจนอุปการะทุนสนับสนุนและ การให้คำปรึกษาทางวิชาการที่ดีตลอดมา รวมไปถึงการปลูกฝังสิ่งที่ดีงามให้กับลูกศิษย์ทุกคน

ขอขอบคุณ บริษัททีโอที ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องโอทีดีอาร์ , เครื่องตัดและเครื่อง เชื่อมสายใยแก้ว

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์จัดสรรงบประมาณของ ภาควิชา เพื่อใช้ในงานวิจัย

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความช่วยเหลือ ในการทำโครงการ, แนะนำการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่เมตตาประสาทวิชาตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับ ถึงปัจจุบัน ตลอดจนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความอุปการะทุนในการศึกษาเล่าเรียน และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

นางสาว ลัดดาวัลย์ ยามไสย

นางสาว วัชรินทร์ วงศ์ชุตติกาญจน์

นางสาว อัมผกา ใจบุญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตในการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แนวคิดและทฤษฎี	5
2.1.1 กฎ 3 ข้อของแสง	5
2.1.2 เส้นใยแก้วนำแสง	8
2.1.2.1 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง	9
2.1.2.2 คุณสมบัติใยแก้วนำแสง	13
- การลดทอน	13
2.1.2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดแสง	18
2.2 เครื่องมือที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	22
2.2.1 Whole Links	23
2.2.2 Beginning of a Fiber	24
2.2.3 Fiber End or Break	24
2.2.4 Fusion Splice	25
2.2.5 Bends and Macro bending	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.2.6 Patchcords	27
2.3 พารามิเตอร์ที่สำคัญ	28
- The Refractive Index (ดัชนีการหักเห)	28
- The Scatter Coefficient (สัมประสิทธิ์การแตกกระจาย)	29
- The Pulse Width (ความกว้างของพัลส์)	30
- Short pulse width	30
- Long pulse width	30
- Typical values (ค่าตัวอย่าง)	31
- Dynamic Range	31
- The Event Deadzone	32
2.4 หลักของอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดแฟบริ-เพอโรต์ (Fabry-Perot interferometer)	33
Fringe profile-Airy function	34
บทที่ 3 วิธีขั้นตอนดำเนินงานและวิจัย	
3.1 จุดประสงค์ในการดำเนินงานและวิจัย	36
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	36
3.3 ขั้นตอนดำเนินงาน	37
3.4 วิธีการทดลอง	38
บทที่ 4 ผลของงานวิจัย	
4.1 ผลของการตอบสนองของตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบแฟบริ-เพอโรต์	39
4.1.1 ผลของความกว้างช่องว่างที่มีผลต่ออุณหภูมิ	
- โดยให้ช่องว่างระยะห่างเป็นอากาศ	39
4.1.2 ผลของการเชื่อมหลอมละลายแบบต่าง ๆ ที่มีผลต่ออุณหภูมิ	40
- เมื่อทำการสไปซ์โดยมี ค่า splice loss เท่ากับ 0.35 dB	40
- เมื่อทำการสไปซ์โดยมี ค่า splice loss เท่ากับ 1.24 dB	42
- เมื่อทำการสไปซ์โดยมี ค่า splice loss เท่ากับ 1.40 dB	44
- เมื่อทำการสไปซ์โดยมี ค่า splice loss เท่ากับ 2.89 dB	47
- เมื่อทำการสไปซ์โดยมี ค่า splice loss เท่ากับ 6.77 dB	49
- เมื่อทำการสไปซ์โดยมี ค่า splice loss เท่ากับ 11.6 dB	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะในโครงการ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	57
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	58
5.3 ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	I
- เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับโครงการพิเศษ	II
- เครื่องโอทีดีอาร์ (Optical Time Domain Reflectometer)	II
- เครื่องตัดสายไฟเบอร์	II
- เครื่องเชื่อมสายไฟเบอร์	IV



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 แสดงหลักการวัดชนิด Intrinsic	2
1.2 แสดงผลกระทบจากสิ่งแวดลอมที่มีผลต่อทางเดินแสงในเส้นใยแก้ว	3
2.1 แสดงกฎการหักเหของแสง	6
2.2 แสดงกฎการสะท้อนกลับของแสง	6
2.3 แสดงปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมด	8
2.4 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง	8
2.5 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงในกรณีต่าง ๆ กัน	9
2.6 แสดงการกระจายของแสงเข้าไปในใยแก้วนำแสง	11
2.7 ไดอะแกรมของการหา NA ของใยแก้วชนิดดัชนีหักเหชั้นบันได	
(ก)	12
(ข)	12
2.8 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแก้วนำแสง	13
2.9 แสดงการลดทอนของแสงในใยแก้วนำแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่น	14
2.10 แสดงการดูดกลืนจากไฮดรอกซิล	15
2.11 แสดงทางเดินของแสงในใยแก้วนำแสง	16
2.12 แสดงการสูญเสียของเส้นใยแก้วนำแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ	17
2.13 แสดงการสูญเสียที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของ PCS	17
2.14 แสดงสเปกตรัมของการลดทอน	18
2.15 แสดงลักษณะการทำงาน และ โครงสร้างของแบรคเกรตติง	19
2.16 แสดงลักษณะความยาวคลื่นที่แบรคเกรตติงสะท้อนกลับ	20
2.17 การตอบสนองที่เกิดจากอูณหภูมิของแบรคเกรตติง	21
2.18 แสดงลักษณะกราฟของ Single Fiber	23
2.19 แสดงลักษณะกราฟของ Whole Link	24
2.20 แสดงลักษณะกราฟของ Beginning of a Fiber	24
2.21 แสดงลักษณะกราฟของ Fiber End	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การสูญเสียจากการดัดโค้งของสารที่สารและความยาวคลื่นต่าง ๆ	14
4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 0.35 dB	41
4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 1.24 dB	42
4.3 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 1.40 dB	45
4.4 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 2.89 dB	48
4.5 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 6.77 dB (เพิ่มอุณหภูมิ)	50
4.5.1 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 6.77 dB (ลดอุณหภูมิ)	51
4.6 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 11.6 dB	53
4.7 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนค่าสูญเสียการเชื่อมต่อ	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันใยแก้วนำแสงได้เข้ามามีบทบาทในการนำไปใช้งานทางด้านการสื่อสารและการตรวจวัดเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงมีข้อดีอยู่หลายประการ เช่น มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีการลดทอนข้อสัญญาณในระดับที่ต่ำมาก ซึ่งส่งผลให้ปราศจากการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสามารถส่งสัญญาณได้ครั้งละมากๆ ทั้งยังเหมาะสำหรับการตรวจวัดในระยะไกล และระบบเครือข่าย เป็นต้น จากข้อดีดังกล่าวมาแล้วทำให้เทคโนโลยีใยแก้วนำแสงได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยที่มีการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการสื่อสาร และการตรวจวัดด้วยใยแก้วนำแสงควบคู่กันไปอย่างไม่หยุดยั้ง ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์การสื่อสารและการตรวจวัดด้วยเส้นใยแก้วนำแสง จึงเป็นที่น่าสนใจและมีอยู่อย่างแพร่หลาย

ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาอุปกรณ์การตรวจวัดด้วยเส้นใยแก้วนำแสง โดยทำการใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบซิงเกิลโหมด (single mode) ประยุกต์เข้ากับหลักการของแฟบริ – เพอโรต์ (Fabry – Perot) เพื่อทำเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ โดยที่เส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว (single mode) นี้จะมีคุณสมบัติของแฟบริ – เพอโรต์ (Fabry – Perot) อยู่แล้วเมื่อทำการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน เพราะฉะนั้นในงานวิจัยนี้เราจะประยุกต์ข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว (single mode) นี้มาเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิแทนตัวตรวจวัดอุณหภูมิที่ได้จากตัวตรวจวัดอุณหภูมิทางเส้นใยแก้วนำแสงชนิดอื่น เช่น เกรตติงใยแก้วนำแสง (Fiber Bragg Grating : FBG) นั่นเอง

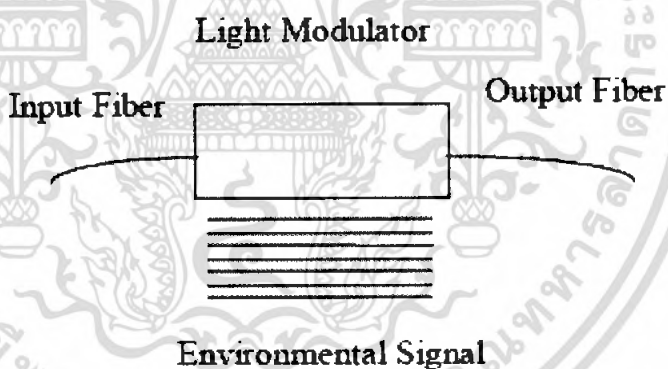
ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว (single mode) ประยุกต์ใช้หลักการของแฟบริ – เพอโรต์ (Fabry – Perot) มาใช้เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ ที่สามารถควบคุมความไวได้ โดยการนำเอาเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว (single mode) 2 ส่วน นำมาเชื่อมต่อกัน แล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิเข้าไป โดยการวัดอุณหภูมิจะวัดจากการที่เส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว (single mode) มีการขยายตัวเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มเข้าไป โดยวัดออกมาในรูปแบบของการสูญเสียกำลังทางแสงจากเครื่อง Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการประยุกต์ใช้เส้นใยแก้วนำแสง (fiber optic) แบบโหมดเดี่ยว (single mode) โดยใช้หลักการแฟบริ – เพอโรต์ (Fabry – Perot) เป็นตัวตรวจวัดหรือ fiber optic sensor
2. ศึกษาความสามารถของ fiber optic sensor โดยใช้เครื่อง OTDR ดูการเปลี่ยนแปลงของกำลังสูญเสียทางแสงหรือการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในสายเส้นใยแก้วนำแสงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
3. ศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดอุณหภูมิโดยการนำเส้นใยแก้วนำแสง (fiber optic)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

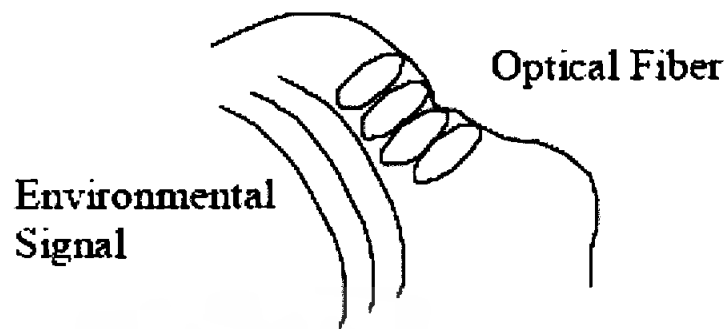
โครงการพิเศษนี้จะทำการศึกษาดังเครื่องมือวัดอุณหภูมิโดยการประยุกต์เครื่องตรวจวัดจากสายไฟเบอร์ออปติก ซึ่งการตรวจวัดด้วยระบบใยแก้วนำแสง มักจะจำแนกระบบการวัดเป็นสองประเภท คือ Hybrid fiber optic sensors (Extrinsic) และ All fiber sensors (Intrinsic) (Udd,1991a)



รูปที่ 1.1 แสดงหลักการวัดชนิด Intrinsic

ในกรณีนี้จะมีบริเวณตรวจจับ (Black box) ที่มีแรงกระทำจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่มีผลต่อทางเดินของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงอาจจะมีผลในด้านของความเข้มแสง, เฟส, ความถี่, การโพลาไรซ์เซชัน (Polarization) , การจัดเรียงสเปกตรัม ฯลฯ สัญญาณของแสงที่ถูกกระทำจากแรงกดหรือการตรวจจับต่างๆ จะให้สัญญาณออกมาในรูปแบบของสัญญาณทางแสงเองหรือนำไปประมวลผลต่อเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อทางเดินแสงในเส้นใยแก้ว

การตรวจจับชนิดที่ใช้งานบ่อยที่สุดเป็นแบบผสม (Hybrid type) เป็นพื้นฐานของการมอดูเลตหรือปรับเปลี่ยนความเข้มของสัญญาณ (Intensity modulation) เมื่อแสงออกจากเส้นใยแก้วเส้นแรกโดยจะทำการที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับดัชนีหักเหของแกนกลาง (Core) กับผนัง (Cladding) ของเส้นใยแก้ว แสงที่สามารถส่งผ่านมายังเส้นใยแก้วอันถัดมาจะขึ้นอยู่กับมุม (Acceptance angle) และระยะทางระหว่างเส้นใยแก้วทั้งสอง d เมื่อระยะทาง d เป็นระยะทางที่มอดูเลต อยู่ในเทอมของการมอดูเลตความเข้มแสงที่วัดได้

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- ศึกษาขั้นตอนการทำงานตลอดจนปัญหาและอุปสรรคในการใช้เครื่องมือเครื่อง OTDR
- ดำรงงานวิจัย ทฤษฎี และหน่วยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เครื่อง OTDR
- เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต้องใช้ในการประยุกต์ใช้เครื่อง OTDR ในการวัดอุณหภูมิ
- ออกแบบการทดลองจากทฤษฎีข้างต้น รวมถึงการจัดเก็บข้อมูลและนำเข้าสู่ข้อมูลในการสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิ
- ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง
- ทดสอบใช้เครื่องมือและปรับปรุง
- ใช้งานจริง
- วิเคราะห์ผลที่ได้จากการสร้างเครื่องมือ เปรียบเทียบกับผลของการตรวจวัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
- สรุปผลที่ได้จากงานวิจัยและเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดชิ้นนี้สามารถใช้ในการศึกษาในเชิงฟิสิกส์ในการประยุกต์ใช้เพื่อช่วยหาอุณหภูมิ
- นำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจหาอุณหภูมิในที่เกิดขึ้นกับสิ่งก่อสร้างเพื่อใช้ในการบำรุงรักษาหรือใช้ในที่เป็นอันตรายสำหรับมนุษย์ได้
- พัฒนาใช้เป็นเครื่องมือตรวจวัดที่มีขนาดเล็กและใช้งานง่ายต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาและออกแบบระบบตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้ไฟเบอร์ออปติก เซ็นเซอร์ โดยแสดงผลออกทางเครื่อง Optical time domain reflectometer (OTDR) ที่มีข้อเด่นในด้านความเร็วในการตรวจวัด ง่ายต่อการบำรุงรักษา และราคาถูก ทั้งนี้ก่อนที่จะได้ทำการจำลองอุปกรณ์ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจำลองอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิด้วยตัวตรวจวัดที่ใช้หลักการของใยแก้วนำแสง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบที่จะพัฒนาขึ้น การศึกษานี้ได้แบ่งการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับ หลักการพื้นฐานและธรรมชาติของแสง รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองเครื่องมือตรวจวัด ส่วนที่สองเป็นการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองและสร้างเครื่องมือตรวจวัด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

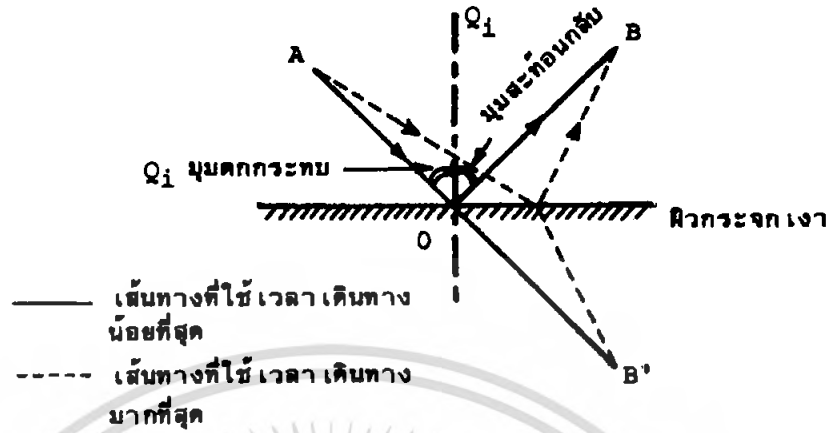
2.1 แนวคิดและทฤษฎี

สำหรับการสื่อสารและส่งข้อมูลด้วยใยแสงนั้น แสงจะเป็นตัวนำพาข่าวสาร ข้อมูลต่างๆ จากจุดส่งไปยังจุดรับ ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติพื้นฐานของแสงที่จำเป็นในการศึกษาการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง

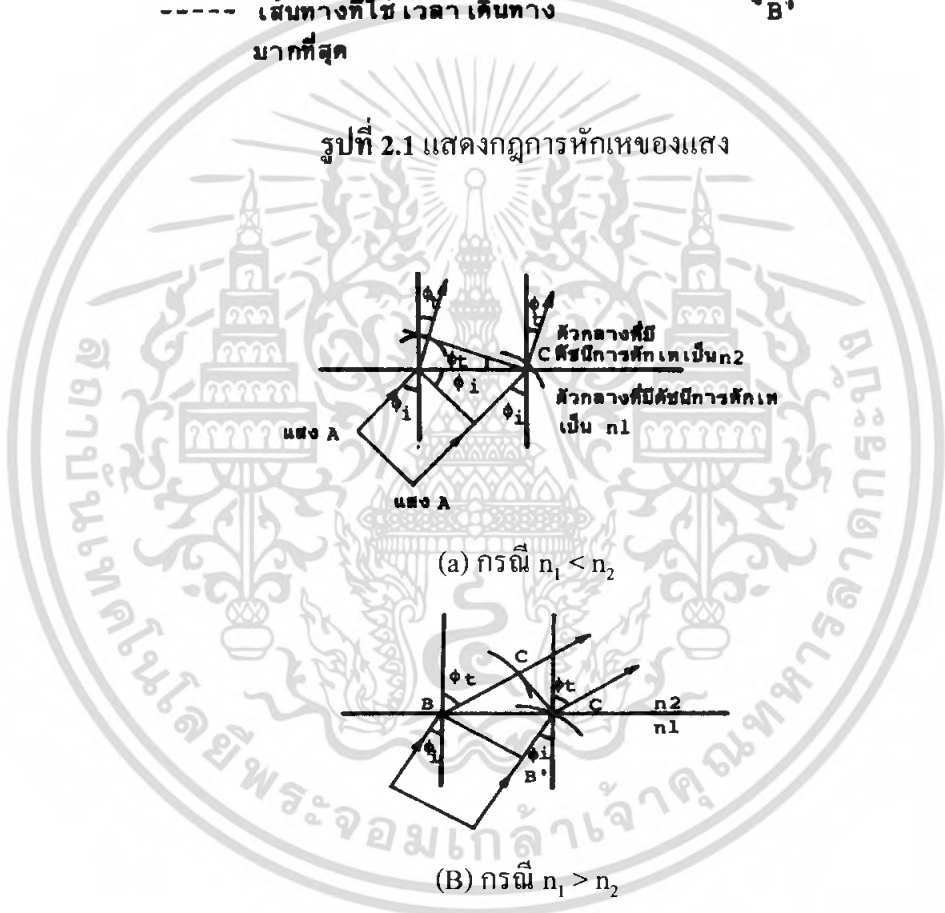
2.1.1 กฎ 3 ข้อของแสง

ในตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงค่าเดียวกันนั้น แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง ส่วนตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่างกันนั้นตรงรอยต่อของตัวกลางทั้งสอง แสงจะเกิดการหักเหและเกิดการสะท้อนกลับ ปรากฏการณ์เหล่านี้ เกิดขึ้นจากคุณสมบัติทั้ง 3 ข้อของแสง ได้แก่ คุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสง คุณสมบัติการหักเหของแสง และคุณสมบัติการสะท้อนกลับของแสง ดังได้กล่าวมาข้างต้น คุณสมบัติเหล่านี้เรียกว่า กฎ 3 ข้อของแสง

จากรูปที่ 2.1 สมมติว่าแสงเดินทางจากจุด A สะท้อนกลับที่ผิวกระจกเงาที่จุด 0 และเดินทางไปถึงจุด B มุมตกกระทบของแสงที่จุด 0 คือมุม θ , และมุมสะท้อนของแสงที่จุด 0 คือมุม θ , จะเท่ากัน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า กฎการสะท้อนกลับของแสง ในรูปที่ 2.1 นี้ถ้าพิจารณาเส้นทางเดินของแสงจากจุด A ไปยังจุด B ด้วยเวลาที่น้อยที่สุด ก็คือ เส้นตรง AOB' ซึ่งจุด B' ดังรูป และกรณีนี้ก็เช่นกันมุมตกกระทบ θ , เท่ากับมุมสะท้อน θ ,



รูปที่ 2.1 แสดงกฎการหักเหของแสง



รูปที่ 2.2 แสดงกฎการสะท้อนกลับของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกฎการหักเหของแสงนั้นแสดงดังรูป 2.2 โดยรูป 2.2a นั้นเป็นกรณีค่าดัชนีการหักเห $n_1 < n_2$ และรูป 2.2b นั้นเป็นกรณีที่ค่าดัชนีการหักเห $n_1 > n_2$ โดยที่สมมุติว่าแสงที่เดินทางจากต้นกำเนิดแสงเป็นลำแสงขนาน 2 อัน คือ A,A' โดยที่แสงทั้งสองเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_1 ไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_2 เมื่อลำแสง A เดินทางไปถึงจุด B ที่รอยต่อของตัวกลางทั้งสองนั้น ลำแสง A' ยังเดินทางไปไม่ถึงจุด C' เมื่อลำแสง A เดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_1 ไปถึงจุด C ของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_2 นั้นเป็นเวลาพอดีกับที่ลำแสง A' เดินทางไปถึงจุด C' ที่รอยต่อของตัวกลางทั้งสอง โดยที่แสงใช้เวลาเดินทางในเส้นทาง BC และ B'C' เท่ากัน

สมมุติว่าความเร็วของแสงในอากาศเป็น V และให้ความเร็วของแสงในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเห n_1, n_2 เป็น $V/n_1, V/n_2$ ตามลำดับ จะได้ว่า

$$\frac{BC}{V/n_2} = \frac{B'C'}{V/n_1} \quad (2.1)$$

ดังนั้นถ้ากำหนดให้ มุมตกกระทบและมุมหักเหของลำแสง A เป็น θ_i และ θ_t และมุมตกกระทบของลำแสง A' มีค่าเท่ากับ θ_i แล้ว จากความสัมพันธ์ทางตรีโกณมิติ จะได้ว่า

$$BC = BC' \sin \theta_t \quad (2.2)$$

$$B'C' = BC \sin \theta_i \quad (2.3)$$

โดยการใช้ (1) เราสามารถพิสูจน์ได้ว่า

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t \quad (2.4)$$

โดยสมการที่ (2.4) ข้างต้นเรียกว่ากฎของ Snell (Snell's Law)

สำหรับกรณีของรูป 2.2c นั้นเป็นการสะท้อนกลับหมดของแสงในกรณีของ $n_1 > n_2$ ยกตัวอย่างเช่นแสงที่เดินทางจากน้ำไปยังอากาศถ้าหากมุมตกกระทบ θ_i มีค่ามากขึ้นๆ จะทำให้มุมหักเห θ_t มีค่าเข้าใกล้ 90° งามมากขึ้น และเมื่อมุมตกกระทบ θ_i มีค่าถึงค่าหนึ่งแล้วจะทำให้แสงไม่สามารถเดินทางเข้าไปในตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเห n_2 ได้เลยนั่นคือเกิดการสะท้อนกลับหมดนั่นเอง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า " การสะท้อนกลับหมด " และมุมตกกระทบที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดนี้เรียกว่า " มุมวิกฤต " (Critical Angle)

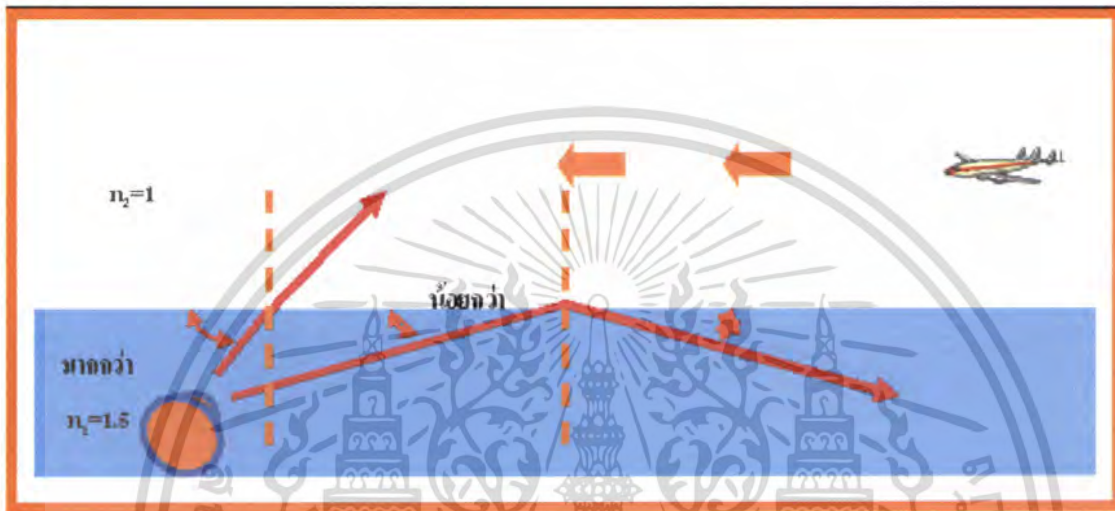
ดังนั้นถ้าให้มุมวิกฤตเป็น θ_c ในกรณีนี้มุมหักเห $\theta_t = 90^\circ$ งาม ดังนั้น $\sin \theta_t = \sin 90^\circ = 1$ กฎของ Snell ในกรณีเกิดการสะท้อนกลับหมดจะเป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\sin \theta_c = n_2/n_1 \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.5) นี้จะสามารถหาของ θ_c ได้

ตัวอย่างของปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมด แสดงดังรูป 2.3 กล่าวคือ เมื่อเรา

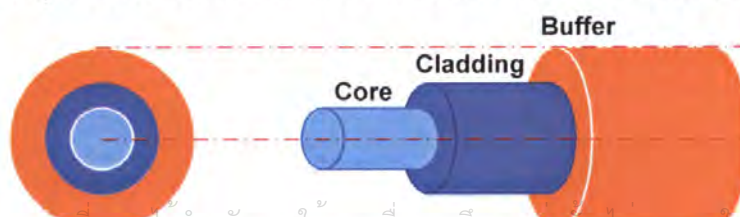
ค่าน้ำลงไปใต้อากาศแล้วลึกลงตามองจากในน้ำไปยังอากาศ เนื่องจากค่าดัชนีหักเหของน้ำมีค่าประมาณ 1.5 และของอากาศเป็น 1 จากสมการที่ (2.5) เราจะได้ $\theta_c = 42$ องศา แล้วเราจะมองไม่เห็นอะไรเลย การที่เรามองเห็นผิวน้ำในสระน้ำระยิบระยับนั้นก็คือปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดนั่นเอง



รูปที่ 2.3 แสดงปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมด

2.1.2 เส้นใยแก้วนำแสง

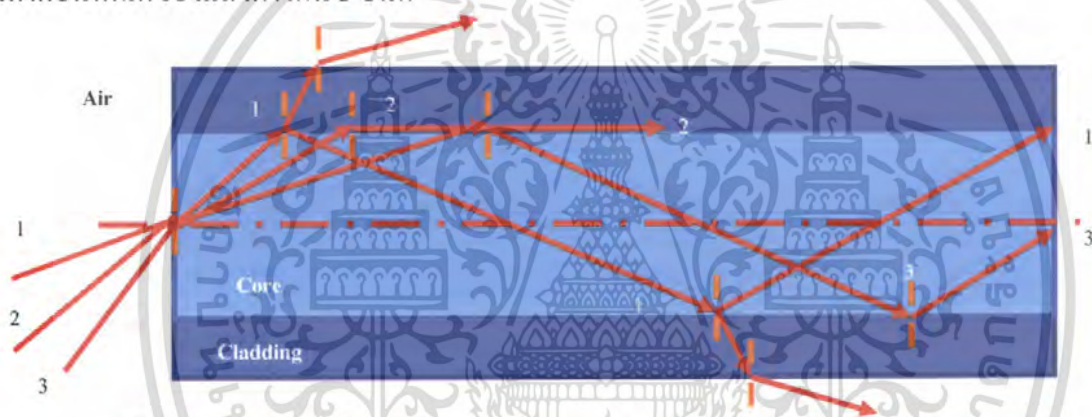
เส้นใยแสงคือเส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแสงประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า core และส่วนที่หุ้ม core เรียกว่า clad ทั้ง core และ clad นี้เป็นสารประเภท Dielectric ใสสองชนิดโดยการทำให้ค่าดัชนีหักเหของ clad มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีหักเหของ core เล็กน้อยประมาณ 0.2~3% และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงดังที่กล่าวในส่วนของกฎ 3 ข้อของแสง ข้างต้นแล้วสามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน core เดินทางไปได้ นอกจากนั้นเนื่องจากกล่าวกันว่าเส้นใยแสงขนาดเล็กมากขนาดเท่าเส้นผม นั่นหมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของ clad ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.1 มม. ส่วน core ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกคือประมาณหลาย μm ~ หลายสิบล้าน μm เท่านั้น ซึ่งมีค่าหลายเท่า~หลายสิบล้านเท่าของความยาวคลื่นแสงที่ใช้ งาน ค่าต่างๆเหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและคุณสมบัติทางเมคานิกส์ที่ต้องการ เส้นใยแสงนอกจากมีคุณสมบัติการส่งดีเยี่ยมแล้วยังมีลักษณะเด่นอย่างอื่นอีกเช่น ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรในองค์กรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสง

2.1.2.1 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง

ปัญหาอันดับแรกที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ทำอย่างไรจึงจะสามารถป้อนแสงเข้าไปใน core ที่มีขนาดเล็กมากของเส้นใยแสงได้ และเมื่อป้อนแสงเข้าไปแล้ว แสงนั้นจะเดินทางใน core ได้อย่างไร เนื่องจากว่าแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น จะกระจายกว้างออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในการจะป้อนแสงเข้าไปใน core ที่มีขนาดเล็กมากนั้น ต้องใช้เลนส์ทำการรวมแสง แต่ทว่าแสงที่รวมนั้นไม่ใช่ว่าจะถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้ทั้งหมด แสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้ ดังรูป 2.5 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง จากรูปจะเห็นว่าที่จุดป้อนแสงของเส้นใยแสงนั้นจะเป็นจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิด



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสงในกรณีต่าง ๆ กัน

ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดนี้คืออากาศ core ของเส้นใยแก้วนำแสง และ clad ของเส้นใยแก้วนำแสง ถ้าให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 นี้เป็น n_0 , n_1 และ n_2 ตามลำดับ จะเกิดการหักเห การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับ core และ clad ตามกฎที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นในที่นี้ ให้มุมรับแสงของเส้นใยแสงที่มีค่ามากที่สุดเป็น θ_{\max} จะพบว่าถ้าแสงที่มีความเหมาะสมที่สุดนั้นมุมรับแสงตรงรอยต่อของ core และ clad นั้นมีค่าเป็นมุมวิกฤต เมื่อพิจารณาตรงรอยต่อของอากาศกับ core และของ core กับ clad นั้นจากกฎของ Snell จะได้ว่า

$$\sin \theta_{\max} = n_1 \sin \theta \quad (2.6)$$

$$\sin(90^\circ - \theta_c) = \cos \theta_c = n_2/n_1 \quad (2.7)$$

ดังนั้นกรณีที่มีมุมรับแสง θ_{\max} มีค่าสูงสุดได้นั้น

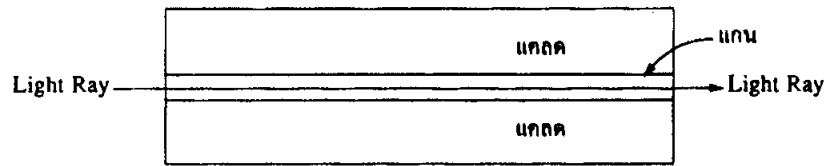
$$\sin \theta_{\max} = \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_0^2}} \doteq n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.8)$$

เรียกว่าอัตราของผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

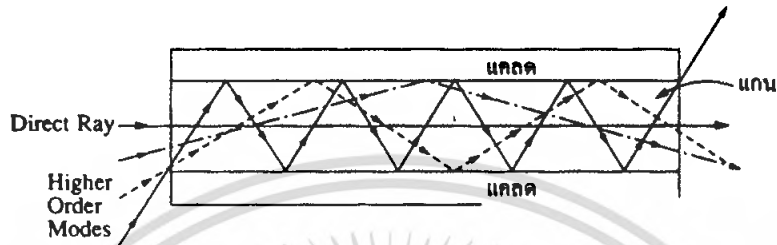
สำหรับ $\sin \theta_{\max}$ นี้ตามศัพท์เทคนิคเรียกว่า Numerical Aperture หรือ NA หมายถึงขนาดของการเปิดรับแสงผ่านและใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง นอกจากนี้ยังถือเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงด้วย ยกตัวอย่างสมมุติว่าเส้นใยแสงมี $n_1 = 1.475$ และ $n_2 = 1.46$ ในกรณีนี้มีค่า $NA = 0.21$ และขนาดของ core ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง

หากขนาดของ core และ NA มีค่าคงที่แล้วกำหนดปริมาณของแสงที่ป้อนเข้าไปใน core ได้ทันที เส้นใยแสงที่มี core ขนาดใหญ่และมีค่า NA มากจะมีประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงสูงมาก

แสงสามารถแพร่กระจายเข้าไปในใยแก้วได้โดยการสะท้อนหรือการหักเหแสง กล่าวคือแสงจะแพร่กระจายอย่างไรนั้นขึ้นกับโหมดของการแพร่กระจายและรูปแบบของดัชนีหักเห โหมดของการแพร่กระจายหรือโหมด หมายถึง ทางเดิน (Path) ของแสงนั่นเองถ้าทางเดินของแสงมีเพียงทางเดียวที่ทำให้แสงแพร่กระจายเข้าไปในใยแก้วนำแสงได้เรียกโหมดเดียว (Single Mode) แต่ถ้าทางเดินของแสงหลาย ๆ ทาง เรียกว่า มัลติโหมด (Multimode) หรือหลายโหมด ดังแสดงในรูป 2.6 แสดงการกระจายของแสงเข้าไปในใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดียวและแบบหลายโหมด



(ก) โหมดเดียว



(ข) หลายโหมด

รูปที่ 2.6 แสดงการกระจายของแสงเข้าไปในใยแก้วนำแสง

1. นิวเมอริคัลแอปเจอร์

รูปที่ 2.7 แสดงรูปตัดขวางของใยแก้วนำแสงชนิดดัชนีหักเหแบบชั้นบันไดที่ใช้ในการหา นิวเมอริคัลแอปเจอร์ (NA) จะเห็นว่ารูปกรวยของรังสีของแสงที่รับ โดยใยแก้วนำแสงจะหาได้จาก ความแตกต่างของดัชนีหักเหของแกนและแกลด ส่วนของความแตกต่างของดัชนีหักเหนี้นิยามโดย

$$\Delta = (n_{core} - n_{cl}) / n_{core} \tag{2.09}$$

จากนิยามของมุมวิกฤตนั้นสามารถหาขนาดของรูปกรวยของแสงที่จะรับ โดยใยแก้วนำแสง รูปที่ 2.7 รังสีตกกระทบที่รอยต่อของแกนและแกลดที่มุมวิกฤต ถ้ามุมของกรวยเป็น θ_c จากกฎของ Snell จะได้

$$\begin{aligned} n_i \sin \theta_i &= n_{core} \sin \theta_i = n_{core} \sin(90^\circ - \theta_c) \\ &= n_{core} \cos \theta_c = n_{core} (1 - \sin^2 \theta_c)^{1/2} \\ \sin \theta_c &= n_{cl} / n_{core} \end{aligned} \tag{2.10}$$

ดังนั้น $n_i \sin \theta_i = \sqrt{n_{core}^2 - n_{cl}^2}$ นิวเมอริคัลแอปเจอร์ คือ การวัดว่าระบบของแสงว่าจะรับ แสงได้มากน้อยเพียงใด ระบบของแสงอาจจะเป็นใยแก้วนำแสงหรือออปเจกทีฟเลนส์ โดยสรุปได้ว่า NA คือ ผลคูณของค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่แสงตกกระทบกับค่า \sin ของมุม θ_c ที่มากที่สุดคือ

$$NA = n_i \sin \theta_{max} \tag{2.11}$$

ส่วนมากแสงที่ตกกระทบจะมาจากอากาศดังนั้น $n_i = 1$ ในกรณีนี้ นิวเมอริคัลแอปเจอร์ของใยแก้วนำแสงชนิดสเตปอินเด็กซ์ คือ

$$NA = \sqrt{n_{core}^2 - n_{cl}^2} \tag{2.12}$$

เมื่อ $\Delta \ll 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 NA &= \sqrt{(n_{core} - n_{cl})(n_{core} + n_{cl})} \\
 &= \sqrt{(2n_{core}\Delta)(n_{core})} \\
 &= n_{core}\sqrt{2\Delta}
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

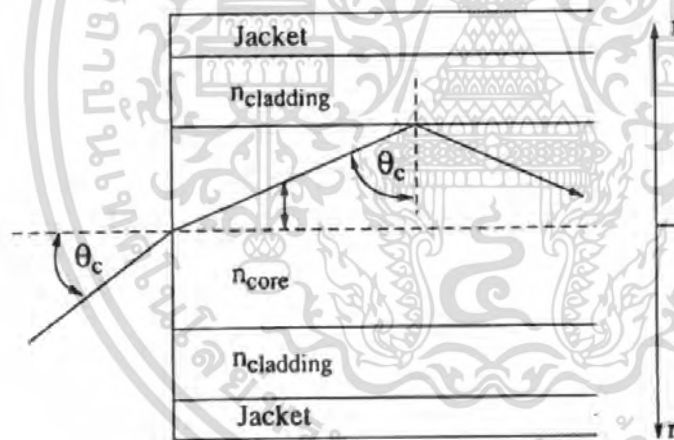
เงื่อนไขที่ $\Delta \ll 1$ เรียกว่า วิคส์ไกด์ (Weakly-guide)

2. ค่าผลต่างดัชนีหักเหจำเพาะ (Δ)

สำหรับค่าผลต่างดัชนีหักเหจำเพาะนั้นเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงขนาดของความแตกต่างของดัชนีหักเหแสงในส่วนแกน และเคลด โดยกำหนดค่าผลต่างดัชนีหักเหจำเพาะดังสมการ

$$\Delta = \frac{(n_{core} - n_{cl})}{n_{core}} \tag{2.14}$$

โดยทั่วไปค่าผลต่างดัชนีหักเหจำเพาะจะมีค่าที่น้อยกว่า 1 มาก จึงมักจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยค่าผลต่างดัชนีหักเหนี้มีค่ามากจะทำให้ง่ายต่อการป้อนแสงเข้าไปในแกน



(ก)

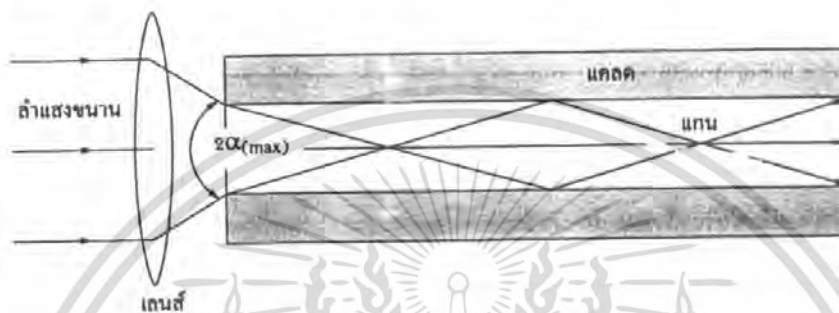


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.7 โค้ดแแกรมของการหา NA ของใยแก้วชนิดดัชนีหักเหชั้นบันได
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มุมรับแสง

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าการที่แสงสามารถเดินทางเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้นั้น มุมตกกระทบที่ปลายของเส้นใยแก้วนำแสงจะต้องมีค่าที่น้อยกว่า $\alpha_{(max)}$ พิจารณารูปที่ 2.8 ดังนั้น มุมรับแสงที่เหมาะสมจึงหมายถึงมุมที่มีค่าเป็น 2 เท่าของ $\alpha_{(max)}$



รูปที่ 2.8 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแก้วนำแสง

นั่นหมายถึงความสัมพันธ์ของผลต่างดัชนีหักเหจำเพาะ นิวเมอริกัลลอปเปอร์เจอร์ และมุมรับแสงอธิบายจากตัวอย่างของเส้นใยแก้วนำแสงดังนี้คือ

$$\begin{aligned}
 n_{core} &= 1.53 \quad ; \quad n_{cl} = 1.50 \quad ; \quad n_0 = 1 \\
 \theta_c &= \sin^{-1}(1.50/1.53) = 78.6^\circ \\
 \Delta &= (1.53-1.50)/1.53 = 0.0196 = 1.96\% \\
 NA &= 1.53(2 \times 0.0196)^{1/2} = 0.303 \\
 \alpha_{(max)} &= \sin^{-1} 0.303/1 = 17.6^\circ
 \end{aligned}$$

2.1.2.2 คุณสมบัติใยแก้วนำแสง

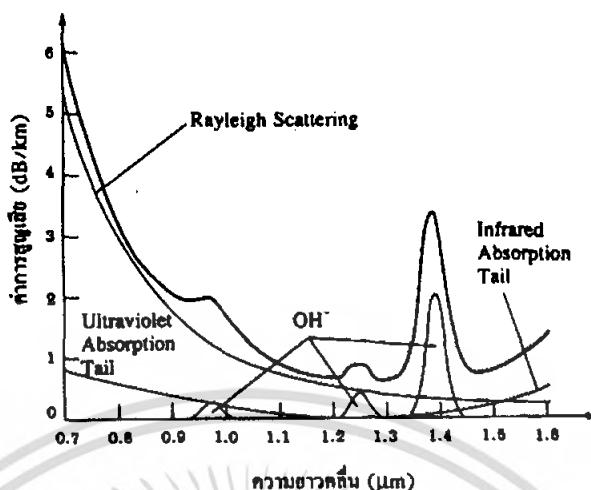
- การลดทอน

กำลังของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (P_i) ถูกส่งเข้าไปในใยแก้วนำแสงยาว (L) กิโลเมตรแล้ว กำลังของแสงที่ออกจากเส้นใยแก้วนำแสง (P_o) เมื่อพิจารณาที่ $P_o < P_i$ โดยทั่วไปแล้วการสูญเสียกำลังของแสงในใยแก้วนำแสงจะกำหนดเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการลดทอน (Attenuation Coefficient α) ซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิเบลต่อกิโลเมตร ซึ่งแทนด้วยความสัมพันธ์คือ

$$\alpha L = -10 \log \frac{P_o}{P_i} \tag{2.15}$$

เมื่อการลดทอนกำลังของแสงในใยแก้วนำแสงนั้นมีผลมาจากการดูดกลืนของในส่วนของแกน หรือแคลด การสะท้อนของรังสีของแสง และการโค้งงอของใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการลดทอนของแสงในใยแก้วนำแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่น

1. การดูดกลืนของวัสดุ

พิจารณาการดูดกลืนในแก้วซิลิกาที่บริสุทธิ์ จากรูปข้างต้นรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าแก้วซิลิกาที่บริสุทธิ์จะดูดกลืนแสงน้อย และจะเห็นได้ว่าอยู่ในช่วงของความยาวคลื่นระหว่าง 0.8 ถึง 1.6 ไมครอน จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวถูกเลือกเพื่อใช้งานทางด้านการศึกษา การดูดกลืนแบบนี้จะมีค่ามากบริเวณความยาวคลื่นในช่วงของอัลตราไวโอเล็ต (UV) และอินฟราเรด (IR)

2. การดูดกลืนจากภายนอก

การลดทอนของแสงที่เกิดจากการดูดกลืนแสงนี้เกิดจากการที่สารที่ใส่ผลิตเส้นใยแก้วนำแสงหรือแก้วนั้นมีสารเจือปนอยู่ทำให้เกิดการดูดกลืนของแสงขึ้น โดยทั่วไปแล้วจะมีการดูดแสงอันเนื่องมาจากแก้วและสารเจือปน ตัวอย่างเช่น กรณีที่มีสารเจือปนอยู่ 1 ในล้านส่วนก็จะทำให้เกิดการดูดกลืนแสงที่มีค่าดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การสูญเสียจากการดูดกลืนของสารที่สารและความยาวคลื่นต่างๆ

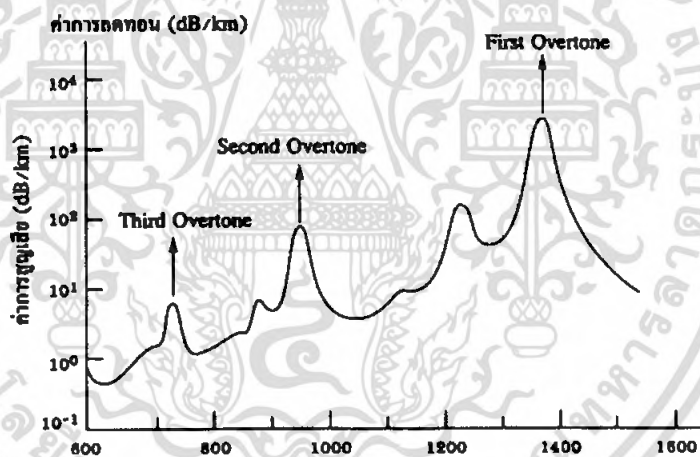
สารเจือปน	ความยาวคลื่น (nm)	ค่าการสูญเสีย (dB/km)
Cr ³⁺	625	1.6
C ²⁺	685	0.1
Cu ²⁺	850	1.1
Fe ²⁺	1100	0.68
Fe ³⁺	400	0.15
Ni ²⁺	650	0.1
Mn ³⁺	460	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการผลิตใยแก้วนำแสงสมัยใหม่นั้นสามารถลดอิมพัลส์ของสารเจือปนพวกนี้ได้จนถึงระดับที่ไม่มีผลต่อการดูดกลืนได้ อย่างไรก็ตามอิมพัลส์ดักกลืนตัวหนึ่งที่ไม่สามารถขจัดได้ก็คือไฮดรอกซิล ดังแสดงในรูป 2.10 จุดยอดของการสั่นพื้นฐานของอิมพัลส์ไฮดรอกซิล จะเกิดที่ค่าความยาวคลื่นประมาณ 2.27 ไมครอน และพื้นฐานการสั่นที่ 4.2 ไมครอน ซึ่งการสั่นพื้นฐานนี้จะทำให้เกิดโอเวอร์โทน (Overtone) ที่ฮาร์โมนิกต่างๆ ดังนี้ 1.38, 0.95 และ 0.72 ไมครอน และเมื่อรวมระหว่างการสั่นพื้นฐานและโอเวอร์โทนจะได้จุดยอดที่ 1.24, 1.13 และ 0.88 ไมครอนตามลำดับ

3. การสะท้อนเรย์ลี

การดักกลืนของใยแก้วนำแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นซึ่งขึ้นอยู่กับการสะท้อนของแสงที่เกิดจากใยแก้วนำแสงมีค่าดัชนีหักเหที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการดักกลืนชนิดเรย์ลี (Rayleigh) จะเท่ากับ $1/\lambda^4$ ของค่าสูญเสียของกำลังแสงที่เกิดจากการสะท้อนเรย์ลีนั่นดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการดักกลืนจากไฮดรอกซิล

4. การสูญเสียจากการโค้งงอ

การสูญเสียจากการโค้งงอ (Bending Loss) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือการโค้งงอชนิดมหภาค หรือแมโครเบนด (Macrobend) ที่มีรัศมีส่วนโค้งมากกว่า 10 มิลลิเมตร และการโค้งงอชนิดจุลภาคหรือไมโครเบนด (Microbend) ที่มีรัศมีส่วนโค้งน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร โดยการโค้งงอแบบแมโครเบนดเกิดขึ้นเมื่อเส้นใยแก้วม้วนอยู่รอบหลอดม้วน เนื่องมาจากการถูกโค้งงอตามมุมต่างๆ การเกิดการสูญเสียเนื่องจากการโค้งงอแบบนี้รังสีของแสงที่เคลื่อนที่ในเส้นใยแก้วตรงบริเวณที่โค้งงอ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 พิจารณาการสูญเสียจากไมโครเบนด

$$L_f = N \langle h^2 \rangle \frac{a^4}{D^6 \lambda^3} \left(\frac{E_b}{E_f} \right)^{3/2} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ $D^6 \lambda^3 \left(\frac{E_b}{E_f} \right)^{3/2}$ นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N คือ จำนวนโค้งของการโค้งงอต่อความยาว

h คือ ส่วนสูงเฉลี่ยของเคเบิลที่โค้งงอ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของเคเบิลใยแก้วนำแสง

a คือ รัศมีของแกนใยแก้ว

λ คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง

E_b คือ ค่าดัชนีหักเหของใยแก้ว

E_f คือ ค่าดัชนีหักเหของเคเบิล

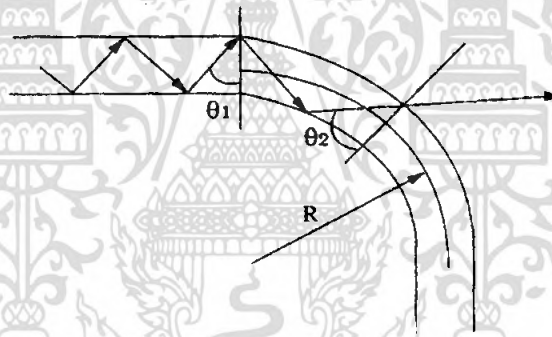
พิจารณาค่าการสูญเสียจากแมคโครเบนดแปรผันกับ \exp^{-R/R_c}

R คือ รัศมีของการโค้งงอ

เมื่อ $R_c = a / NA^2$

a คือ รัศมีของแกนใยแก้ว

NA คือ นิวเมอริคัลเอปอร์เจอร์



θ_1 และ θ_2 คือมุมตกกระทบของลำแสงภายในใยแก้วนำแสง

รูปที่ 2.11 แสดงทางเดินของแสงในใยแก้วนำแสง

การสูญเสียของกำลังจะมีค่าต่ำสำหรับแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำ และถ้าผลต่างของค่าดัชนีหักเหระหว่างแกนและเคลดมีค่ามากก็จะทำให้การสูญเสียมีค่าสูง เส้นใยแก้วชนิดโหมคเดียวที่ทำงานที่ความยาวคลื่นยาว ๆ จะไวต่อการสูญเสียจากการโค้งงอ และเส้นใยแก้วที่ถูกพันอยู่รอบแกนมีวงที่มีรัศมี 10 เซนติเมตร ซึ่งนับว่าสั้นนั้นก็ยังสามารถแก้ไขได้โดยการตัดใยแก้วนำแสงส่วนที่โค้งงอทิ้งไปได้ การโค้งงอชนิดไมโครเบนดเกิดขึ้นจากความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างทางเรขาคณิตของเส้นใยแก้วนำแสง ในกระบวนการผลิตเช่น รัศมีของแกน จุดต่อระหว่างแกน และ เคลดที่ขรุขระ เป็นต้น ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการผลิตนอกจากนั้นการที่เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแก้วไม่เท่ากันตลอดทั้งเส้นก็ทำให้มีแสงบางส่วนกระจายออกมาจากใยแก้วนำแสงได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

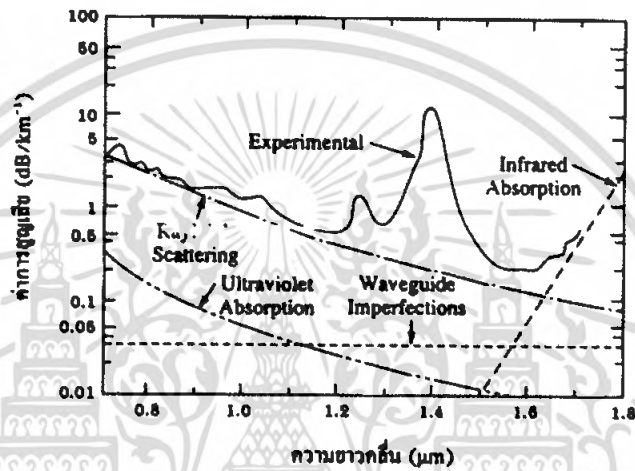
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

5. การลดทอนรวม

พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการลดทอนทั้งหมด ตามสมการ

$$\alpha = \alpha_A + \alpha_B + \alpha_C \tag{2.17}$$

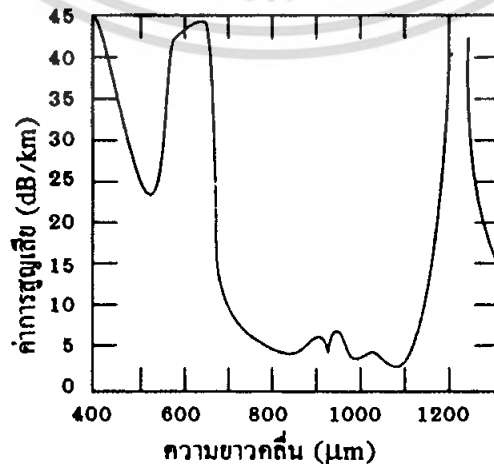
เมื่อ $\alpha_A, \alpha_B, \alpha_C$ คือค่าสัมประสิทธิ์ของการลดทอนภายในใยแก้วนำแสงที่แสงเดินทางผ่านไป ที่ตำแหน่ง A, B และ C รูปที่ 2.12 ข้างล่างแสดงการลดทอนที่วัดได้สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงชนิด โหมดเดียว ซึ่งเห็นว่าการลดทอนต่ำสุดจะอยู่ที่ความยาวคลื่น $\lambda = 1.55$ ไมครอนเพื่อให้สูญเสียต่ำสุด



รูปที่ 2.12 แสดงการสูญเสียของเส้นใยแก้วนำแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ

6. การลดทอนและวัสดุใยแก้ว

พี ซี เอส เป็นเส้นใยแก้วที่มีการสูญเสียสูงมาก ทั้งนี้เพราะเส้นพลาสติก (Plastic Fiber) จะมีการสูญเสียมากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาใยแก้วฟลูออไรด์ จะมีการสูญเสียในช่วงความยาวคลื่นของอินฟราเรด ที่มีค่าต่ำกว่าเส้นใยแก้วชนิดอื่นๆ จึงทำให้สามารถใช้ในช่วงความยาวคลื่นมากกว่า 1.6 ไมครอน ขณะเดียวกันก็สามารถลดการสะท้อนเรย์ลีที่ความยาวคลื่นยาวๆ ได้ด้วย

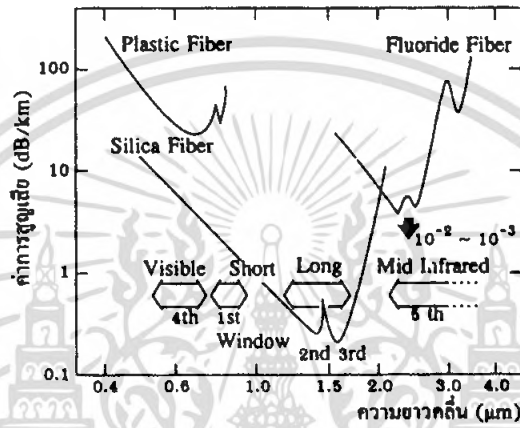


รูปที่ 2.13 แสดงการสูญเสียที่ความยาวคลื่นต่างๆของ PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สเปกตรัมของการลดทอน

สเปกตรัมของการลดทอนในรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นว่าช่วงความยาวคลื่นที่มีค่าการสูญเสียต่ำจะมีอยู่ 3 ช่วง คือ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 850, 1300 และ 1500 นาโนเมตร ซึ่งแต่ละความยาวคลื่นจะมีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น 850 นาโนเมตร กับงานทางด้าน Local Area Network (LAN) 1300 นาโนเมตร กับงานทางด้าน High Speed LAN และ 1500 นาโนเมตร กับงานทางด้าน การสื่อสาร



รูปที่ 2.14 แสดงสเปกตรัมของการลดทอน

2.1.2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดแสง

- แบริกเกรตติง

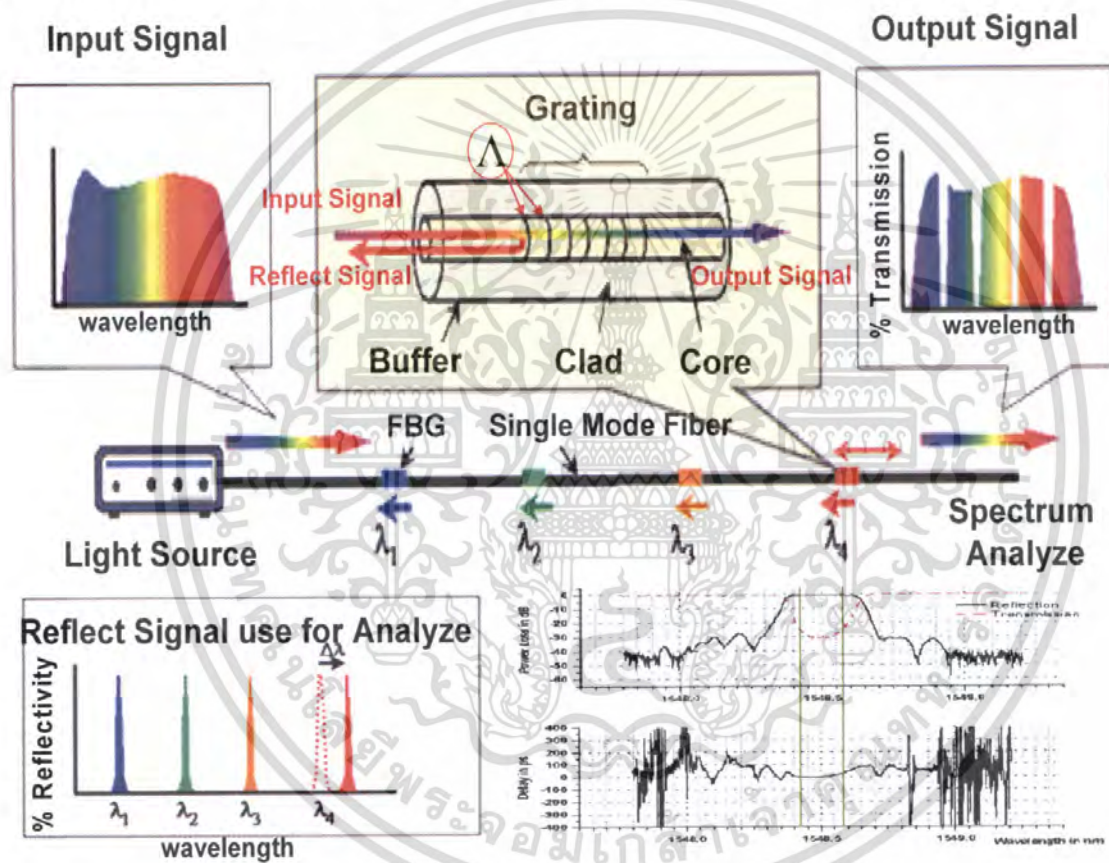
การพัฒนาทางด้านอุปกรณ์ในใยแก้วนำแสงอื่นๆเช่น ได้มีการทำอุปกรณ์ใยแก้วแบบแบรคเกรตติง (Bragg Grating) มาใช้ร่วมในระบบสื่อสารใยแก้วด้วย ทั้งนี้ก็เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการประมวลสัญญาณซึ่งมาสารณนำไปใช้ได้ทั้งงานทางด้าน การสื่อสารและการตรวจวัดใยแก้วนำแสงแบรคเกรตติงเป็นอุปกรณ์แถบความถี่แคบที่ใช้ในการเปลี่ยนความยาวคลื่นของแบรค (Bragg Wavelength) หรือทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์กรองสัญญาณ (Filter) ได้ซึ่งความยาวคลื่นที่ต้องการที่สัมพันธ์กับช่องระหว่างเกรตติงหรือที่เรียกว่า พิตช์ (Pitch : L) ซึ่งสามารถควบคุมได้และสามารถหาได้จากสมการ

$$\lambda_B = 2mn_c\Lambda \tag{2.18}$$

เมื่อ λ_B คือ ความยาวคลื่นของแบรค $m = 1,2,3,\dots,\infty$ ซึ่งก็คืออันดับของเกรตติงที่เกิดการสะท้อนกลับของความยาวคลื่น n_c คือดัชนีหักเหของแกนใยแก้วนำแสง การสร้างเกรตติงบนใยแก้วนำแสงนี้สามารถสร้างได้โดยการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ซึ่งมีวิธีสร้าง 3 วิธีด้วยกันคือ วิธีการแทรกสอดแสง วิธีการทำด้นแบบที่เป็นเฟรม และวิธีการเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบรคเซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดซึ่งอาศัยความยาวคลื่นแสงในการตรวจวัดโดยสามารถให้ความละเอียดสูงหรือตัววิเคราะห์สเปกตรัมทางแสง ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีข้อจำกัดในการใช้งานและมีราคาสูง ต่อมาระบบการตรวจวัดดังกล่าวได้มีการพัฒนาด้านต่างๆ เช่น โครงสร้างของระบบตรวจวัด รวมทั้งวิธีการตีמודดูเลชันซึ่งทำให้มีระดับความสามารถในการวัดสูงขึ้น และความคลาดเคลื่อนมีน้อยลง รูปที่ 2.15 เป็นตัวอย่างของแบรคเกรตติงที่สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งงานด้านสื่อสารและการตรวจวัดเพียงแต่เชื่อมต่อเข้ากับใยแก้วเท่านั้น



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะการทำงาน และ โครงสร้างของแบรคเกรตติง

จากหลักการทำงานในรูปที่ 2.15 จะสนใจพิจารณาผลจากค่าความยาวคลื่นสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงไปจากหลักการคลื่นสะท้อนของแบรคเกรตติง เมื่อพิจารณาให้ส่วนแกน (Core) ของแบรคเกรตติงมีค่าดัชนีหักเหเฉลี่ย n_0 ดังนั้นค่าดัชนีหักเหสามารถเขียนได้ดังนี้

$$n(z) = n_0 + \Delta n \cos\left(\frac{2\pi z}{\Lambda}\right) \quad (2.19)$$

เมื่อ Δn คือ ขนาดช่วงกว้างคลื่นของดัชนีหักเหเหนี่ยวนำ z คือ ทิศทางในแนวแกนขนานตามยาวของเส้นใยแก้วแบรคเกรตติง โดยใช้ทฤษฎีโหมดคัปเปิล ของ Lam และ Garside เพื่อใช้ในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยพิจารณาลักษณะคุณสมบัติการสะท้อนของช่วงแบรคเกรตติง โดยค่าดัชนีหักเหของเกรตติงกับค่าคงที่ขนาดของการมอดดูเลชันและคาบเป็นไปดังสมการนี้

$$R = \frac{\Omega^2 \sinh^2(sl)}{\Delta k^2 \sinh^2(sl) + s^2 \cosh^2(sl)} \quad (2.20)$$

เมื่อ R คือ คุณสมบัติการสะท้อนคลื่นที่มีความยาว (l) และความยาวคลื่น (λ) Ω คือสัมประสิทธิ์การคัปปลิง Δk คือ ค่าเวกเตอร์คลื่นที่เปลี่ยนแปลงไป และ s^2 คือผลต่างระหว่างกำลังสองของสัมประสิทธิ์การคัปปลิงกับค่ากำลังสองของค่าเวกเตอร์คลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปโดยที่

$$\Omega = \frac{\pi \Delta n}{\lambda} M_p \quad (2.21)$$

เมื่อ M_p คือส่วนของกำลังในแกนของโหมคโยแก้วนำแสงโดยสามารถประมาณค่าให้ M_p เท่ากับ $1/v^2$ เมื่อ v คือความถี่ของโหมคโยแก้วนำแสง และ

$$\Delta k = k - \frac{\pi}{\lambda} \quad (2.22)$$

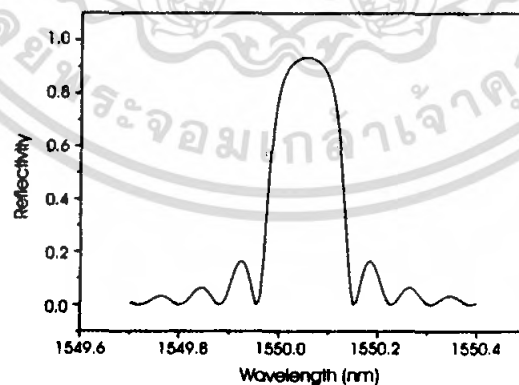
เมื่อ

$$k = \frac{2\pi n_0}{\lambda} \quad (2.23)$$

ได้ว่า k คือ ค่าคงที่การแพร่

ขณะที่ Δk เป็นศูนย์ หรือค่าเวกเตอร์คลื่นไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง จะได้ค่าการสะท้อนคลื่นสูงสุด (R_{\max}) ดังนั้นสามารถเขียนสมการที่ (2.34) ได้ใหม่ดังนี้

$$R_{\max} = \tanh^2(\Omega l) \quad (2.24)$$



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะความยาวคลื่นที่แบรคเกรตติงสะท้อนกลับ

จากสมการที่ (2.25) ได้ว่าเมื่อค่าดัชนีการสะท้อนของคลื่น (R) เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การคัปปลิงก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และความยาว (l) ของเกรตติงมีผลต่อค่าการสะท้อนคลื่นด้วยเช่นกัน เอกสารเมื่อนำมาพิจารณาสเปกตรัมที่สะท้อนกลับที่ความยาวคลื่นสะท้อนมีลักษณะเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.16 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่ามิลอนของการกำทอนเนื่องด้วยจากการสะท้อนกลับของครึ่งหนึ่งที่มีความกว้างคลื่นสูงสุด (FWHM หรือ -3 dB) ที่ความยาวคลื่นต่างๆและจากปลายช่วงทั้งสองของบริเวณเกรตติง โดยสเปกตรัมรูปไซน์เพิ่มขึ้นในรูปแบบอนุกรมฟูเรียร์ซึ่งทำให้เกิดลักษณะของสัญญาณฮาร์มอนิก โดยทั่วไปแล้วจะสามารถประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงครึ่งหนึ่งที่มีความกว้างคลื่นสูงสุด (FWHM หรือ -3 dB) ที่แบนด์วิดจ์ของเกรตติงได้จาก

$$\Delta\lambda = \lambda_B S \sqrt{\left(\left(\frac{\Delta n}{2n_0}\right)^2 + \left(\frac{1}{N}\right)^2\right)} \quad (2.25)$$

เมื่อ N คือ จำนวนของแถบเกรตติงและ S มีค่าประมาณ 1 สำหรับเกรตติงที่มีความสมบูรณ์ (สะท้อนกลับเกือบ 100%) มีค่า 0.5 สำหรับเกรตติงที่มีความสมบูรณ์น้อย



รูปที่ 2.17 การตอบสนองที่เกิดจากอุณหภูมิของแบรคเกรตติง

- ความไวในการตอบสนองที่เกิดจากอุณหภูมิของแบรคเกรตติง

การกำทอนที่เกิดขึ้นเป็นช่วงกึ่งกลางของความยาวคลื่นสะท้อนกลับจากแบรคเกรตติงขึ้นอยู่กับค่าดัชนีหักเหภายในแกน (Core) และระยะคาบของเกรตติง โดยค่าดัชนีหักเหสะท้อนกลับนี้เกิดขึ้นจากช่องว่างระหว่างคาบของแถบเกรตติงซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงด้วยความเค้นและอุณหภูมิเมื่อพิจารณารูปที่ 2.17 พบว่าการเปลี่ยนแปลงกึ่งกลางของความยาวคลื่นของแบรคเกรตติงขึ้นกับความเค้นและอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงจะได้ว่า

$$\Delta\lambda_B = 2 \left(\Lambda \frac{\partial n_{eff}}{\partial l} + n_{eff} \frac{\partial \Lambda}{\partial l} \right) \Delta l + 2 \left(\Lambda \frac{\partial n_{eff}}{\partial T} + n_{eff} \frac{\partial \Lambda}{\partial T} \right) \Delta T \quad (2.26)$$

ในเทอมที่สองของสมการที่ (2.26) แสดงถึงผลกระทบของอุณหภูมิต่อใยแก้วนำแสงเมื่อความยาวคลื่นตอบสนองของแบรคเกรตติงเกิดการเปลี่ยนแปลงตามการขยายตัวของอุณหภูมิซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลต่อดัชนีหักเหในบริเวณเกรตติง โดยสามารถพิจารณาความยาวคลื่นที่เปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (ΔT) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B (\alpha_\Lambda + \alpha_n) \Delta T \quad (2.29)$$

เมื่อ α_{λ} คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวของอุณหภูมิในใยแก้วนำแสง (ในซิลิกาที่มีค่าประมาณ 0.55×10^{-6}) และปริมาณ α_{λ} สัมประสิทธิ์การขยายตัวของแก้วต่ออุณหภูมิมีค่าประมาณ 8.6×10^{-6} ในแกนใยแก้วนำแสงที่เจือด้วย Germanium คำนีที่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนนี้เป็นผลกระทบที่สำคัญจากสมการที่ (2.29) โดยให้ค่าความยาวคลื่นที่ตอบสนองที่ 1550 nm มีค่าเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิประมาณ $13.7 \text{ pm}^{\circ}\text{C}$ ดังรูปที่ 2.17 แสดงผลการทดลองการเลื่อนกึ่งกลางของความยาวคลื่นสะท้อนกลับจากแบรคเกรตติงตามผลของอุณหภูมิ

ผลกระทบจากความเค้นและอุณหภูมิแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงต่อเกรตติงโดยผลกระทบจากตัวแปรภายนอกอย่างไรก็ดี ในการประยุกต์ใช้แบรคเกรตติงในระบบตรวจวัดที่มุ่งเน้นต่อผลกระทบอย่างใดอย่างหนึ่งจำเป็นต้องให้ความสำคัญต่อผลกระทบทั้งสองนี้ด้วย

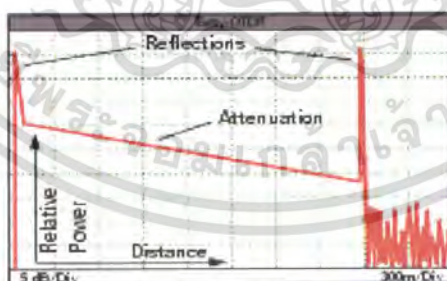
2.2 ทฤษฎีเครื่องมือที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

ความต้องการในการขนส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงขึ้นและระยะทางที่ไกลขึ้น นำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ การใช้โฟตอนแทนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการรับส่งสัญญาณผ่านเคเบิล ทำให้ได้แบนด์วิธที่สูงขึ้นแต่ราคาต่ำลง อย่างไรก็ตามแนวคิดในการส่งข่าวสารโดยใช้แสงไม่ใช่ของใหม่เพียงแต่ในทศวรรษหลังสุดนี้ สามารถที่จะนำวัสดุและอุปกรณ์ทางแสงที่ได้สร้างและพัฒนามาให้ใช้ประโยชน์ได้ต่อไปข้อดีของใยแก้วนำแสงที่สร้างจากแก้วซึ่งเป็นฉนวน คือ สนามพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจะไม่ถูกรบกวนและถูกดูดซับแก้วเป็นวัสดุที่มีผลต่อการลดทอนน้อยมากและเป็นอิสระจากการมอดูเลตทางความถี่ เมื่อเปรียบเทียบกับเคเบิลชนิดทองแดงแล้วจะมีความสามารถในการรับส่งเหมือนกันแต่ไฟเบอร์ออปติกมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาอย่างมาก และสูดขอดีของออปติกก็คือมีราคาถูกแม้ว่าจะพิจารณา รวมถึงต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ แล้วด้วยการพัฒนาต่อไปในอนาคตจะสามารถลดต้นทุนเครือข่ายไฟเบอร์ออปติกได้มากกว่านี้ไม่ว่าจะเป็นด้านการผลิตการติดตั้งการบำรุงรักษา และที่สำคัญก็คือการใช้งานเครือข่ายการส่งข้อมูลไปบนไฟเบอร์ออปติกจะต้องมีอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ถูกมอดูเลตดังที่กล่าวในบทที่ 1 โดยทั่วไปแล้วจะใช้เลเซอร์ไดโอดที่ทำหน้าที่ปล่อยพัลส์แสง (lightpulse) เข้าไปยังไฟเบอร์และที่ด้านตรงปลายทาง และต้องมีอุปกรณ์ตรวจจับแสง (photo detector) ซึ่งมักจะเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำงานคล้ายกับโซลาร์เซลล์ด้วยการแปลงแสงไปเป็นกระแสไฟฟ้า ปัจจุบันไฟเบอร์ออปติกทำงานกับแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ $1 \mu\text{m}$ ซึ่งตรงกับความถี่ 3.1014 Hz หรือ 300.000 GHz สำหรับเหตุผลทางเทคนิค อุปกรณ์ส่วนใหญ่ทำงานกับการผสมของสัญญาณที่อาศัยความแรงของสัญญาณ (AM) ซึ่งจะส่งผลให้มีแบนด์วิธเป็น 5 ถึง 10 GHz เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่พาหะ (carrier frequency) แล้วจะเห็นว่าน้อยมาก ค่าของมันจะถูกจำกัดโดยเทคโนโลยีที่ใช้งานได้การลดทอนของแสงใน glass fiber ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น มีค่าลดทอนต่ำสุดในเอกสารที่เขียนถึงเส้นโค้งการลดทอนของใยแก้วนำแสงที่ความยาวคลื่น 1310 nm และ 1550 nm ระยะความกว้าง 100 nm โดยประมาณบริเวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า วินโดวส์ ซึ่งความถี่บริเวณในวินโดวส์นี้จะใช้สำหรับการส่งข้อมูล ไฟเบอร์ในปัจจุบันนี้ควมคลุมหลายวินโดวส์ (1300/1400/1500/1600 nm) สามารถป้อนสัญญาณที่มีความยาวคลื่นต่างกันในวินโดวส์เดียวกันเข้าไปในหนึ่งไฟเบอร์ และที่ด้านปลายทางสัญญาณแสงจะถูกแยกออกได้ รูปแบบดังกล่าวนี้จะเป็นหลายช่องสัญญาณต่อวินโดวส์โดยใช้ไฟเบอร์อันเดียวซึ่งเรียกกันว่า wavelength-division multiplexing (WDM) เทคนิคอีกวิธีหนึ่งคือการส่งสัญญาณที่มีความยาวคลื่นต่างกันในลักษณะสองทิศทางโดยผ่านไฟเบอร์อันเดียว วิธีการแบบนี้เรียกว่า bi-directional transmission ซึ่งสามารถจะลดจำนวนเคเบิลที่ต้องใช้ลง 50 %

Events on Fibers

ในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นรู้จักกับ trace ของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่มีจะเจอกับ Single Fibers single fiber จะทำให้เกิด trace ดังรูปข้างล่างเหตุการณ์ (event) บนไฟเบอร์หรือพดิกจะเกิดจากการสูญเสีย (loss) หรือการสะท้อน (reflection) มากกว่าการกระจาย (scattering) ที่เกิดจากวัสดุของไฟเบอร์ หลักการนี้จะใช้กับการเชื่อมต่อทุกแบบ รวมถึงความเสียหายที่เกิดจากการ โค้งงอ (bending) การแตก (crack) หรือการขาด (break) ของไฟเบอร์ OTDR trace จะแสดงผลของการวัดเป็นกราฟฟิคบนจอภาพ โดยแกนในแนวตั้งจะเป็นแกนกำลัง (power axis) ส่วนแกนในแนวนอนเป็นแกนระยะทาง จะเห็นว่ามีการลดของ power level (attenuation) ลงเรื่อย ๆ และที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายของไฟเบอร์จะมีการการสะท้อนกลับ (reflecton) สูง

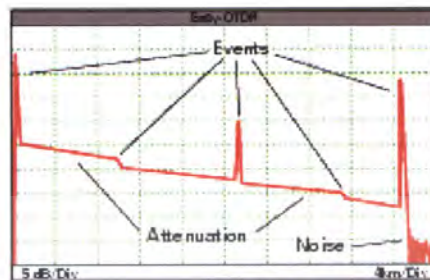


รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะกราฟของ Single Fiber

2.2.1 Whole Links

Whole links หมายถึง " การเชื่อมโยงทั้งหมด " (whole แปลว่า ทั้งหมด ทั้งสิ้น สมบูรณ์) เช่น การเชื่อมโยงระหว่างเมืองสองเมือง (between two cities) สามารถจะมองให้เป็นแบบ whole link ได้ นอกจากจะมีการลดทอนแบบทั่วไปแล้ว (normal attenuation) จะเห็นว่ายังมีอีเวนต์ต่าง ๆ และ noise หลังจากจุดปลายของ link ด้วย

เอ็งก็งานนี้ผมก็สงสัยเหมือนกันนะสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะกราฟของ Whole Link

2.2.2 Beginning of a Fiber

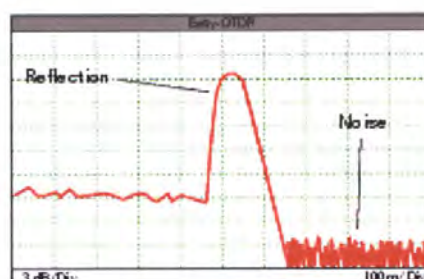
ถ้าใช้ normal straight connector จุดเริ่มต้นของไฟเบอร์จะแสดงเป็นการสะท้อนกลับอย่างแรงที่ front connect



รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะกราฟของ Beginning of a Fiber

2.2.3 Fiber End or Break (จุดสิ้นสุดของไฟเบอร์หรือจุดที่ขาด)

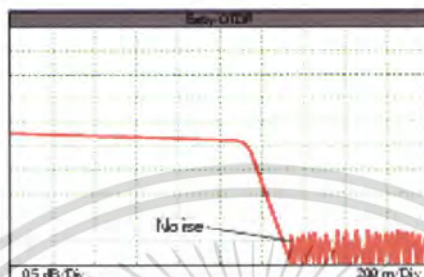
จุดสิ้นสุดไฟเบอร์ : โดยทั่วไปแล้วจะมองเห็นเป็นการสะท้อนอย่างแรง (strong reflection) ที่จุดปลายของไฟเบอร์ก่อนที่ trace จะลดต่ำลงถึงระดับของ noise ดังรูป



รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะกราฟของ Fiber End

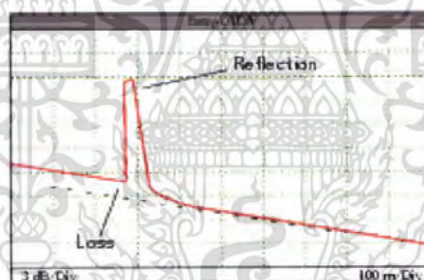
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าไฟเบอร์ถูกขัดขวางหรือถูกทำให้ขาด (interrupted or broken) จุดที่ขาด จะไม่มีอีเวนต์ของการสะท้อนกลับ นั่นคือ trace จะลดต่ำลงถึงระดับของ noise ดังรูป



รูปที่ 2.22 แสดงลักษณะกราฟของ Break

Connector or Mechanical Splice (จุดที่มีคอนเน็คเตอร์หรือจุดที่มีการต่อประกบกัน) การใช้ Connectors ภายใน link จะเป็นต้นเหตุของทั้งการสะท้อนกลับและการ loss ดังรูป



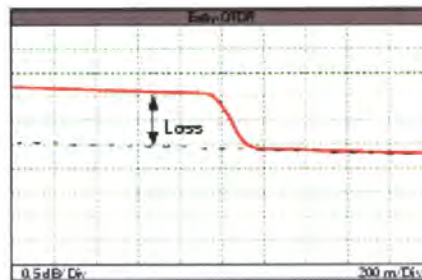
รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะกราฟของ Connector

การเชื่อมต่อแบบประกบกัน (mechanical splice) จะมีลักษณะที่คล้ายกับ connector แต่มักจะมีการ loss และการสะท้อนกลับที่ต่ำกว่า

2.2.4 Fusion Splice (การเชื่อมประกบแบบหลอมละลาย)

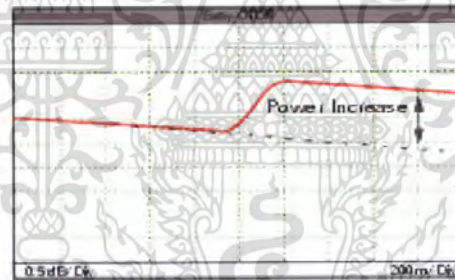
การเชื่อมประกบแบบหลอมละลายจะไม่ทำให้เกิดอีเวนต์ของการสะท้อนกลับ เพียงแต่จะเกิด loss ที่สามารถตรวจจับได้เท่านั้น การเชื่อมต่อประกบแบบหลอมละลายสมัยใหม่จะดีมาก ซึ่งอาจจะมองเห็นอีเวนต์ได้ยากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะกราฟของ Fusion Splice

ในกรณีที่เป็นการเชื่อมประกบไม่ดี (bad splice) อาจจะมีการสะท้อนกลับเล็กน้อย การเชื่อมประกบบางจุดจะปรากฏเป็นการเพิ่ม (gainers) เหมือนเป็นการเพิ่มขึ้นของ power level ที่เป็นแบบนี้ก็เกิดจากค่าสัมประสิทธิ์ backscatter (backscatter coefficients) ก่อนและหลังการเชื่อมประกบในไฟเบอร์มีค่าต่างกัน ดังรูป



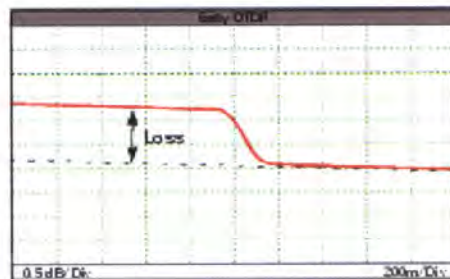
รูปที่ 2.25 แสดงลักษณะกราฟของ A Splice as a Gainer

ถ้าเห็นเป็น gainer จากการวัดในทิศทางหนึ่งแล้ว เมื่อทำการวัดจุดปลายทางของอีกด้านก็จะเห็นเป็น loss ที่จุดนี้ ความแตกต่างระหว่าง gainer และ loss (ถ้า loss โดยเฉลี่ย) จะแสดงเป็นค่า loss จริงของจุดนี้ ที่จุดนี้เป็นคำตอบว่าทำไมจึงต้องทำการวัดคูไฟเบอร์ทั้งสองทิศทางแล้วใช้ค่าเฉลี่ยของทั้งสองด้าน

2.2.5 Bends and Macro bending (การโค้งงอและการโค้งงอมาก)

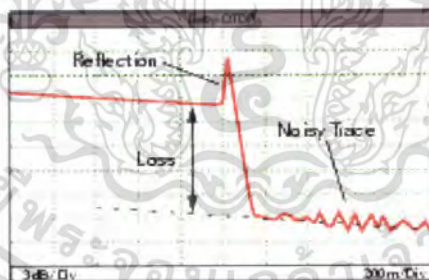
(macro เป็นคำอุปสรรค มีความหมายว่า ใหญ่ โต ยาว มากเกิน) การโค้งงอของในไฟเบอร์ทำให้เกิดการ loss แต่จะไม่มีอิเวนต์ของการสะท้อนกลับ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 แสดงลักษณะกราฟของ Bend or Macrobending

การแยกความแตกต่างระหว่าง bend กับ splices ให้อุบัติการณ์ในการติดตั้งและบันทึกการบำรุงรักษา (installation and maintenance records) ในกรณีของ macrobending (คือการโค้งงอมาก) ตำแหน่งของการ loss จะอยู่ที่ unknown location คือไม่รู้ตำแหน่งนั่นเอง ส่วนกรณีที่เป็น splices จะอยู่ที่ documented ซึ่งเป็นระยะที่รู้กันดีถ้าหากวัดโดยใช้ค่า wavelength สูง ลักษณะของ macrobending จะแสดงเป็น higher loss ดังนั้นจึงให้ทำการวัดเป็นแบบ multi-wavelength ซึ่งจะช่วยให้คุณแยกความแตกต่างระหว่าง bending และ splices ได้ Cracks (แตก, ร้าว) การ crack หรือการแตกร้าวคือไฟเบอร์ที่ถูกทำลายบางส่วน (partially damaged fiber) เป็นเหตุให้เกิดการสะท้อนกลับและการสูญเสีย (reflection and loss) ดังรูป



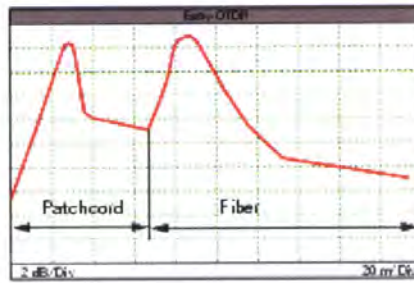
รูปที่ 2.27 แสดงลักษณะกราฟของ Crack

การสะท้อนกลับและการ loss อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งเคเบิล

2.2.6 Patchcords

Patchcords ถูกใช้สำหรับเชื่อมต่อ OTDR กับไฟเบอร์ที่ต้องการวัดการสะท้อนกลับเริ่มต้น (initial reflection) จะไม่ครอบคลุมจุดเริ่มต้นของไฟเบอร์ ลักษณะแบบนี้จึงทำให้การตรวจสอบคอนเนกเตอร์ตัวแรกสามารถทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

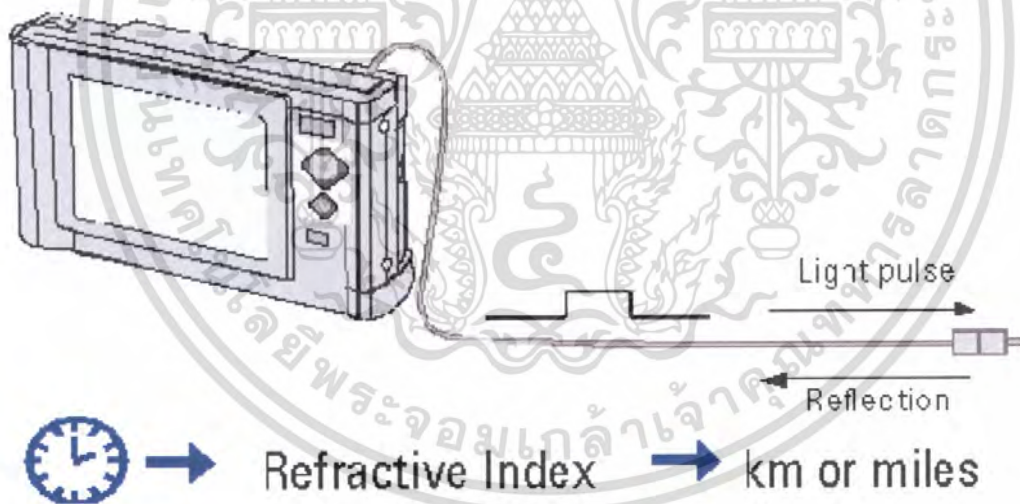


รูปที่ 2.28 แสดงลักษณะกราฟของ Short Patchcord

2.3 พารามิเตอร์ที่สำคัญ

เช็คลักษณะการวัดของพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ถูกใช้เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของไฟเบอร์

- The Refractive Index (ดัชนีการหักเห)



รูปที่ 2.29 แสดงรูปลักษณะการวัดจากเครื่อง OTDR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Refractive Index (ดัชนีการหักเห)

Definition of the refractive index:

$$\text{refractive index} = \frac{(\text{speed of light in vacuum})}{(\text{speed of a light pulse in a fiber})}$$

Displayed distance on the OTDR:

$$\text{distance} = \frac{\text{measured time} \times (\text{speed of light in vacuum})}{\text{refractive index}}$$

OTDR กำหนดระยะทางไปยัง event โดยการหาเวลาที่ใช้ตั้งแต่การปล่อยแสงออกไปจนถึงเวลาที่รับการสะท้อนกลับ เช่น ขอบขาขึ้นในการสะท้อนกลับของ frontpanel connector หรือการสะท้อนกลับจากคอนเน็กเตอร์ ระยะทางจะถูกแสดงและเวลาที่วัดได้จะถูกเชื่อมโยงจากดัชนีการหักเห (บางครั้งเรียกว่า group index) ซึ่งหมายถึงว่าการเปลี่ยนแปลงดัชนีการหักเหเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระยะทางที่คำนวณได้

ดัชนีการหักเหขึ้นอยู่กับวัสดุของไฟเบอร์ที่ใช้และความต้องการที่จะให้ผู้ผลิตไฟเบอร์ provided ให้มันเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องเข้าใจในเรื่องดัชนีการหักเหของไฟเบอร์ที่จะวัดความผิดพลาด (error) ที่เกิดจากการไม่รู้ค่าที่แท้จริงของดัชนีการหักเหจะมีมากกว่าความผิดพลาดที่เกิดจากสาเหตุอื่นๆ

-The Scatter Coefficient (สัมประสิทธิ์การแตกกระจาย)

OTDR ไม่เพียงแต่จะรับสัญญาณจาก Event ต่าง ๆ เพียงอย่างเดียว แต่ยังรับสัญญาณที่เกิดจากตัวไฟเบอร์เอง (fiber itself) ด้วย ในขณะที่แสงเดินทางไปในไฟเบอร์ แสงจะถูกลดทอนด้วย Rayleigh scattering การลดทอนนี้เป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในดัชนีการหักเหของแก้ว บางทีแสงจะแตกกระจายโดยตรง (scattered directly) ไปยัง OTDR ซึ่งเรียกกันว่า backscatter สัมประสิทธิ์การแตกกระจาย (scatter coefficient) คือการวัดปริมาณของแสงที่มีการแตกกระจายกลับ (scattered back) ในไฟเบอร์ การแตกกระจายกลับจะมีผลกระทบต่อค่า return loss และค่าของการสะท้อนกลับ (reflectance) สัมประสิทธิ์การแตกกระจาย (scatter coefficient) ถูกคำนวณจากอัตราส่วนของ optical pulse power (not energy) ที่เอาท์พุทของ OTDR ต่อ backscatter power ณ ตำแหน่งที่ใกล้กับจุดเริ่มต้นของไฟเบอร์ อัตราส่วนนี้ถูกแสดงเป็น dB และสัดส่วนผกผันของ pulse width เพราะ optical pulse width ไม่ขึ้นกับ pulse width ค่าที่เป็นแบบฉบับ (typical value) ประมาณ 50 dB สำหรับ pulse width ขนาด 1 μs (ขึ้นอยู่กับ wavelength และชนิดของไฟเบอร์)

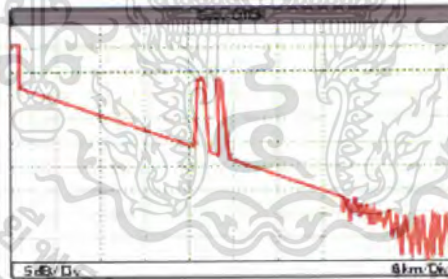
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-The Pulse Width (ความกว้างของพัลส์)

พารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่จะทำให้ผลการวัดคือ ความกว้างของพัลส์ของแสงที่ถูกปล่อยไปในไฟเบอร์ ความกว้างของพัลส์แสงเป็นตัวกำหนดความเที่ยงตรงหรือความละเอียดของระยะทาง (distance resolution) ซึ่งสำคัญมากที่จะให้แยกอีเวนต์ต่าง ๆ อย่างชัดเจน ได้พัลส์ที่แคบกว่า จะได้ความละเอียดของระยะทาง (distance resolution) ที่ดี แต่พัลส์ที่แคบซึ่งหมายถึงว่า dynamic range มีค่าน้อยและอาจจะมีกรรบกวน (noisy) ถ้าต้องการวัดเส้นทางที่มีระยะไกลจำเป็นต้องมีค่า dynamic range ที่สูง นั่นคือพัลส์ควรจะกว้าง แต่จะได้ความละเอียดต่ำ (lower resolution) มันขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่ต้องการ ต้องเลือกเอาอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างความละเอียดสูง (high-resolution) กับ high dynamic range นั่นคือเลือกขนาดพัลส์ที่แคบเมื่อต้องการวัด loss ของ splice หรือ connector ที่อยู่ติดใกล้ชิดกัน แต่เลือกพัลส์ที่กว้างเมื่อต้องการวัดจุดขาด (break) ที่อยู่ไกล

-Short pulse width

จะได้ความละเอียดสูงแต่ก็มี noise มาก การลด pulse width จะทำให้ deadzones สั้นลงและสามารถแยกอีเวนต์ที่ใกล้ชิดได้ชัดเจนขึ้น

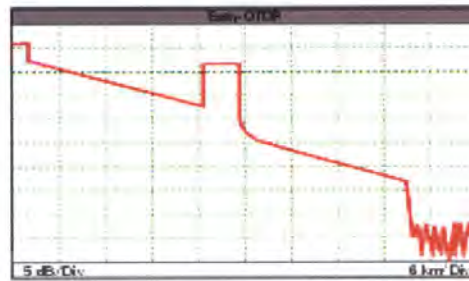


รูปที่ 2.30 แสดงลักษณะกราฟของ Short Pulses for Better Resolution

-Long pulse width

จะได้ high dynamic range แต่ dead zones ยาว การเพิ่ม pulse width จะสามารถลด noise ลงได้ และสามารถตรวจจับอีเวนต์ที่อยู่ไกล ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 แสดงลักษณะกราฟของ Long Pulses for Large Dynamic Range

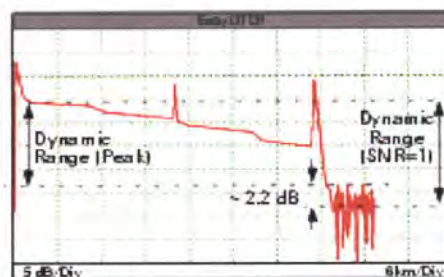
-Typical values (ค่าตัวอย่าง)

5 ns / 10 ns / 30 ns / 100 ns / 300 ns / 1 μ s (short links),

100 ns / 300 ns / 1 μ s / 3 μ s / 10 μ s (long fiber links)

-Dynamic Range

Dynamic Range เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของ OTDR ซึ่งจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการสูญเสียของกำลังสูงสุด (maximum power loss) ระหว่าง backscatter กับ noise peaks ถ้าออฟติกที่ทดสอบมีค่า loss สูง จุดปลายทาง (far end) ก็จะหายไปคือมองเห็นเป็น noise แต่ถ้าค่า loss มีค่าต่ำ ก็จะมองเห็นจุดปลายทางอยู่เหนือ noise อย่างชัดเจน และก็จะสามารถตรวจการ break ได้ อย่างไรก็ตาม trace หนึ่ง ๆ จะถูกรบกวน ใกล้กับระดับ noise ตัวอย่างเช่น หากจำเป็นต้อง trace ที่ระดับอยู่เหนือ noise 6 dB เป็นอย่างน้อยเพื่อที่จะให้สามารถวัดจุดต่อ (splice) ขนาด 0.1 dB ได้ และต้องตรวจสอบการ break ที่ 3 dB โดยประมาณ ด้วยเหตุนี้เองที่ dynamic range ของ OTDR ควรจะมากกว่า totalsystem loss อย่างน้อยที่สุดก็ 3 ถึง 6 dB เช่นเดียวกันกับ deadzone ค่าของ dynamic range จะขึ้นอยู่กับ การเชื่อมต่อ สิ่งที่มีผลมากที่สุดคือ pulse width, optimization mode และ wave length ดังนั้นรายละเอียดของ dynamic range จะต้องลงเป็นรายการเงื่อนไขการเชื่อมต่อ



รูปที่ 2.32 แสดงลักษณะกราฟของ Dynamic Range

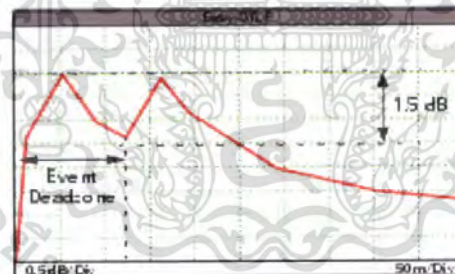
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 แสดงลักษณะกราฟของ Attenuation Deadzone

-The Event Deadzone

Event deadzone เป็นระยะทางสั้นที่สุดที่ความต้องการระหว่างสองเหตุการณ์ที่เป็นแบบเดียวกัน เพื่อที่จะสามารถดูให้แยกออกจากกันได้ ตัวอย่างเช่น ถ้ามีคอนเนกเตอร์สองตัวห่างกันสองเมตร จะเห็นการสะท้อนเป็นสองยอดและเห็นการตกลง (drop) ระหว่างยอดทั้งสอง การตกลงแสดงให้เห็นว่ามี การสะท้อนสองอันจริงๆ จากเหตุการณ์ทั้งสอง ถ้าเหตุการณ์ (event) อยู่ใกล้กันเกินไป ก็จะไม่สามารถเห็น การตกลง (drop) และไม่สามารถแยกเหตุการณ์ทั้งสองได้โดย Event-deadzone จะขึ้นอยู่กับการเซต เครื่องมือวัดนั่นเอง

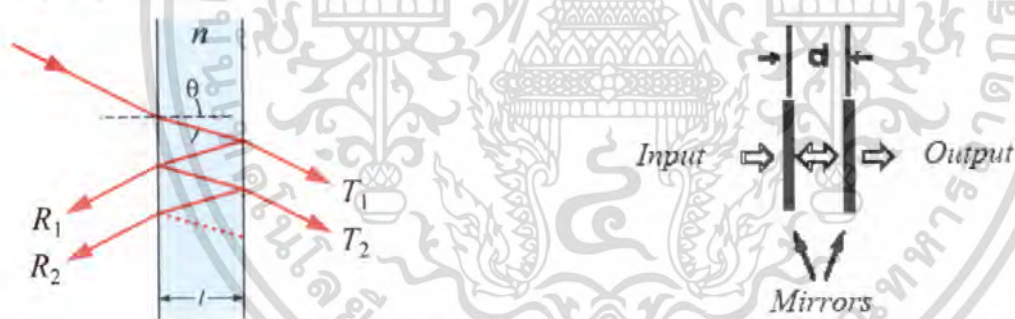


รูปที่ 2.34 แสดงลักษณะกราฟของ Event Deadzone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 หลักของอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดแฟบริ-เพอร์โรต์ (Fabry-Perot interferometer)

ซึ่งหลักการที่ใช้ในการทดลองนี้คือหลักของอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดแฟบริ-เพอร์โรต์ (Fabry-Perot interferometer) โดยหลักการของตัวกรองชนิดนี้เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1898 โดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสคือชาร์ล แฟบริ (Charles Fabry) และ อัลเฟรด เพอร์โรต์ (Alfred Perot) ลักษณะการจัดวางแสดงดังรูปที่ 2.35 ก็คือใช้กระจก 2 แผ่นวางขนานห่างกันเล็กน้อย มีผิวด้านในที่เรียบมากและสะท้อนดีมากด้วย การสะท้อนทำได้โดยฉาบโลหะบางชนิดลงบนแผ่นแก้ว การฉาบต้องให้เรียบและบางเพื่อให้แสงส่งผ่านได้ด้วย แสงที่ตกกระทบกระจกแผ่นแรกจะเกิดการสะท้อน แต่ก็ยังแสงบางส่วนที่ทะลุผ่านกระจกและเดินทางอยู่ในโพรงระหว่างกระจกทั้งสองแผ่น (ซึ่งอาจจะมีสารเติมสารไดอิเล็กตริกบางประเภทเช่น ฟลักซ์เหลว) และเกิดการชนกับกระจกแผ่นที่ 2 ที่กระจกแผ่นที่ 2 นี้แสงจำนวนมากจะเกิดการสะท้อนในขณะที่บางส่วนก็เกิดการทะลุผ่าน แสงที่สะท้อนจะเดินทางย้อนกลับและชนกับกระจกแผ่นที่ 1 ซึ่งแสงบางส่วนก็จะเกิดการสะท้อนกลับและทะลุผ่านอีกครั้ง ผลที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับระยะห่างและดัชนีหักเหของสารระหว่างกระจก แสงอาทิตย์ที่เกิดจากการแทรกสอดจะเป็นผลรวมของแสงอินพุตที่ถูกหน่วงโดยจำนวนของการสะท้อนในโพรง



รูปที่ 2.35 อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดแฟบริ-เพอร์โรต์

เครื่องมือชนิดนี้ใช้ฟิล์มบางที่มีผิวสองด้านขนานกันเป็นตัวทำให้เกิดการแทรกสอดและใช้ประโยชน์จากแสงที่ส่งผ่านไปทำให้เกิดการแทรกสอดดังกล่าวหลักการที่อธิบายข้างต้น การนำเครื่องมือนี้ไปใช้ก็คล้ายๆกับของชนิดไมเคลสัน หากแต่กำลังแยกของเครื่องมือชนิดนี้สูงกว่ามากรูปแสดงอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดแฟบริ-เพอร์โรต์

ลักษณะการจัดเครื่องมือชนิดนี้ แสดงในรูปที่ 2.35 มีการใช้แผ่นแก้วหรือควอตซ์ 2 แผ่นวางขนานกัน เพื่อทำให้เกิดฟิล์มอากาศที่มีผิวสองด้านขนานกัน แผ่นแก้วหรือควอตซ์ที่ใช้ต้องมีด้านในเรียบมากและสะท้อนดีมากด้วย การสะท้อนนี้ทำได้โดยฉาบโลหะบางชนิด เช่น เงินหรืออะลูมิเนียมไว้บนแผ่นแก้วหรือควอตซ์นั้น ชนิดของโลหะที่ฉาบต้องเลือกให้เหมาะกับช่วงของความยาวแสงที่ใช้ เช่น เงินจะทำให้การสะท้อนดีในย่านที่ตามองเห็น แต่ในช่วง 400 นาโนเมตรการสะท้อนจะไม่ดี ส่วนไมวาลูมิเนียมเงิน อีกทั้งหากเงินให้ดัดแปลงเนื้อๆ และควอตซ์อาจอิงสีเงินของเอกสารถึงที่มีสีเงินไปใช้ อะลูมิเนียมจะให้การสะท้อนในช่วง 400 นาโนเมตรได้ดีกว่า เป็นต้น การฉาบฟิล์มโลหะนี้ต้องฉาบ

เรียบและบางความเรียบต้องเรียบกว่า $\lambda/50$ และควรบางประมาณ 50 นาโนเมตร เพื่อให้แสงสามารถส่งผ่านได้ด้วย ระยะห่างระหว่างแผ่นแก้วหรือควอทซ์นี้มีความสำคัญมาก เพราะเป็นความหนาของฟิล์ม t ที่ทำให้เกิดการแทรกสอด ความหนานี้อาจทำให้คงที่หรือปรับค่าได้ก็ได้ แต่ส่วนใหญ่จะทำให้คงที่ และในกรณีนี้เรียกแผ่นแก้วคู่นี้ว่า “เอตาโลน” (etalon)

จากรูป S เป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบแผ่กระจาย และเป็นชนิดความยาวคลื่นเดียว ให้แสงลำหนึ่งออกมาโดยทำมุม θ_i ดังรูป ลำแสงนี้จะทำให้เกิดการสะท้อนหลาย ๆ ครั้งและมีแสงหักเหผ่านออกไปอีกด้านหนึ่งไปรวมกันด้วยเลนส์นูน และเกิดภาพการแทรกสอดบนฉากที่จุด P ลักษณะของภาพการแทรกสอดที่เกิดขึ้นนี้สามารถหาได้จากสมการ

$$\Delta = 2n_f t \cos \theta_i \quad \text{โดยที่ } n_f = 1$$

ดังนั้นจะเกิดแถบสว่าง ถ้า $2t \cos \theta_i = m\lambda$ (2.30)

แสงจากจุดอื่น ๆ บนแหล่งกำเนิด ถ้ามุม θ_i เท่ากัน และมี OPD เท่ากัน ก็จะทำให้ผลการแทรกสอดที่จุด P เช่นเดียวกัน แต่ถ้า θ_i มีค่าเปลี่ยนไปก็จะทำให้ได้วงสว่างที่ตำแหน่งอื่นๆ ภาพการแทรกสอดที่ได้บนฉากจะเป็นแบบที่มีความเอียงเท่ากัน คือเป็นวงกลมมืด-สว่างสลับกันไปเช่นเดียวกันในอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดไมเคลสัน วงต่าง ๆ จะมี θ_i ที่ต่างกัน และทำให้ได้ θ_i ต่างกันหรือมีค่า m ตามสมการ 2.30 ต่างกันนั่นเอง

Fringe profile-Airy function

การเปลี่ยนแปลง irradiance ของภาพการแทรกสอดของอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ชนิดแฟบริ-เพอโรต์ โดยอาศัยความต่างเฟส หรือ OPD เรียกชื่อว่า fringe profile ความคมชัดของภาพการแทรกสอดมีส่วนสำคัญมากต่อกำลังแยก (resolving power) ของเครื่องมือนี้ โดยพิจารณาจากสมการจะได้ว่า

$$I_T = \left[\frac{(1-r^2)^2}{1+r^4-2r^2 \cos \phi} \right] I_i \quad (2.31)$$

และใช้ความสัมพันธ์ $\cos \phi = 1 - 2 \sin^2 \left(\frac{\phi}{2} \right)$

จะทำให้เขียนค่าการทะลุผ่าน (transmittance) T หรือเรียกว่า Airy function (Sir George Biddell Airy ค.ศ. 1801-1892) ได้เป็น

$$T = \frac{I_T}{I_I} = \left[\frac{1}{1 + \left[\frac{4r^2}{(1-r^2)^2} \right] \sin^2\left(\frac{\phi}{2}\right)} \right] \quad (2.32)$$

ถ้าในวงเล็บ [] คือ $\frac{4r^2}{(1-r^2)^2}$ ขึ้นกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ค่านี้เรียกว่า

สัมประสิทธิ์ฟิเนสส์ (coefficient of finesse) ใช้สัญลักษณ์ว่า F

นั่นคือ
$$I_0 = I_i \left[\frac{1}{1 + F \sin^2\left(\frac{\phi}{2}\right)} \right] \quad (2.33)$$

โดยที่

$$F \equiv \frac{4r^2}{(1-r^2)^2}$$

และ

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} nL$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีขั้นตอนดำเนินงานและวิจัย

จากการศึกษาในบทที่ 2 ที่กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจวัดด้วยใยแก้วนำแสง ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น เป็นส่วนช่วยในการตัดสินใจถึงวิธีขั้นตอนดำเนินงานและวิจัย รวมถึงอุปกรณ์ที่จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

ในส่วนของวิธีขั้นตอนดำเนินงานและวิจัย ในการศึกษาได้แบ่งเป็น 3 ส่วน ในส่วนที่หนึ่งกล่าวถึงจุดประสงค์ในการดำเนินงานและวิจัย ในส่วนที่สองกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานและวิจัย และส่วนที่สามกล่าวถึงขั้นตอนดำเนินงานและวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 จุดประสงค์ในการดำเนินงานและวิจัย

1. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจระบบตรวจวัดด้วยเส้นใยแก้วนำแสง โดยทำการตรวจวัดผลที่ได้ด้วยเครื่อง OTDR
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำหลักการของระบบตรวจวัดด้วยเส้นใยแก้วนำแสงข้างต้นไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ
3. เพื่อจำลองและศึกษาลักษณะการทำงานของไฟเบอร์แบรกเกรตติงที่เปลี่ยนตามอุณหภูมิในสถานะต่างๆ
4. เพื่อจำลองและศึกษาลักษณะการทำงานของเครื่อง OTDR มาประยุกต์ใช้ในงานตรวจวัด
5. เพื่อพัฒนาตัวแบบอุปกรณ์ระบบตรวจวัดด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

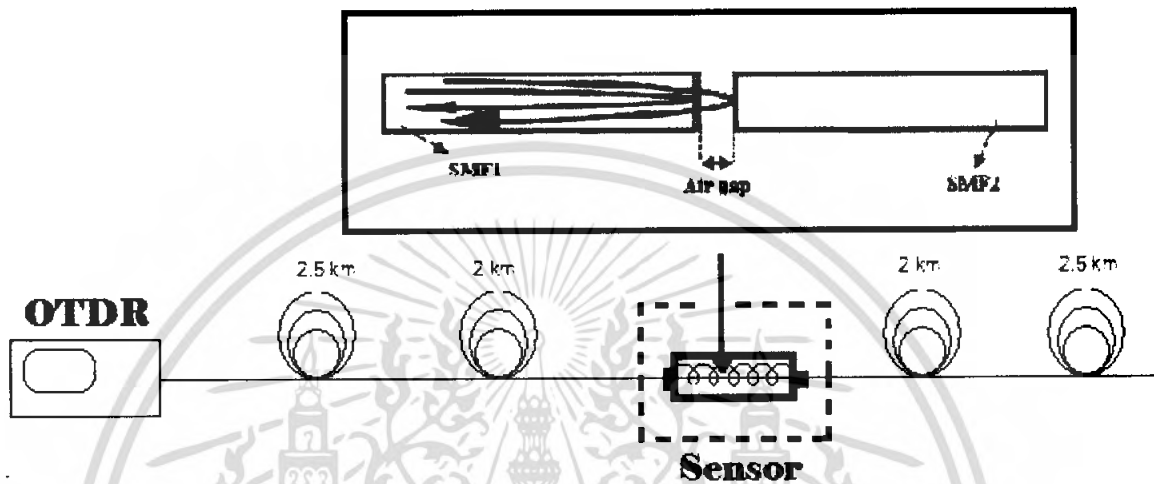
3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. OTDR (optical time domain reflection)
2. เส้นใยแก้วแบบ single mode
3. ตัวต้านทานปรับค่าได้
4. โวลต์มิเตอร์
5. หลอดแก้ว (Chamber)
6. ขดลวดนิโครม
7. เทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอล
8. เครื่องสไปซ์ (Spice)

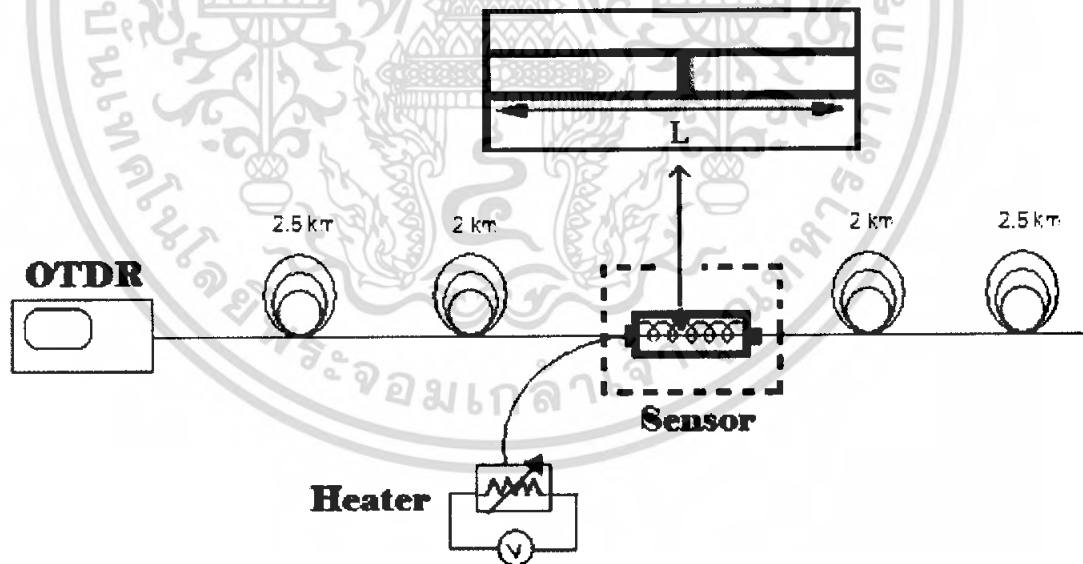
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เพื่อจำลองและศึกษาลักษณะของการทำงานของใยแก้วนำแสงแบบ single mode ที่นำมาประยุกต์เป็นตัวตรวจวัด โดยสังเกตค่าการสูญเสียที่แสดงการสะท้อนกลับแล้วแสดงผลโดยสังเกตจากเครื่อง OTDR



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการจัดอุปกรณ์การทดลอง โดยที่บริเวณรอยต่อเป็นอากาศ



รูปที่ 3.2 แสดงแผนผังการจัดอุปกรณ์การทดลองโดยทำการเชื่อมแบบหลอมละลายโดยเปลี่ยนค่าสูญเสียบริเวณรอยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

1. ทำการเตรียมการทดลองโดย

- วัดความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง แต่ละช่วงก่อนที่จะนำมาการตัดหรือสไปซ์
- นำเส้นใยแก้วนำแสงมาทำการตัดแต่งผิวหน้าให้เรียบ โดยการตัดด้วยเครื่องตัดหรือคลิปเวอร์
- นำเส้นใยแก้วนำแสงที่ได้มาทำการเชื่อมต่อกันแบบหลอมละลายหรือสไปซ์ โดยทำการสไปซ์ให้กับขดที่ 1 เข้ากับขดที่ 2 และสไปซ์ขดที่ 3 เข้ากับขดที่ 4
- จากนั้นทำการกำหนดช่วงเซ็นเซอร์ โดยทำการสไปซ์ปลายขดที่ 2 และปลายขดที่ 3 เข้าด้วยกัน โดยใช้หลักการของแฟบริ – แพรโรต์ (Fabry - Perot)

2. ขั้นตอนการทดลองโดย

- จัดวางอุปกรณ์ตามรูปที่ 3.1
- จากนั้นทำการป้อนแสงจากเครื่อง OTDR ในย่านความยาวคลื่น 1550 nm (ยังไม่มี การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิให้กับระบบ)
- สังเกตผลค่ากำลังการสูญเสียที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง OTDR ทำการบันทึกผล
- จัดวางอุปกรณ์ตามรูปที่ 3.2
- จากนั้นทำการป้อนแสงจากเครื่อง OTDR ในย่านความยาวคลื่น 1550 nm (ทำการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิให้กับระบบ) ทา
- สังเกตผลค่ากำลังการสูญเสียที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง OTDR ทำการบันทึกผล
- นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลง จากนั้นนำไปพล็อตกราฟระหว่างค่า ความสูญเสียที่บริเวณรอยต่อกับอุณหภูมิ

หมายเหตุ : เราจะทำการทดลอง โดยเปลี่ยน Air gap เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงในบทที่ 4 ดังต่อไปนี้

บทที่ 4

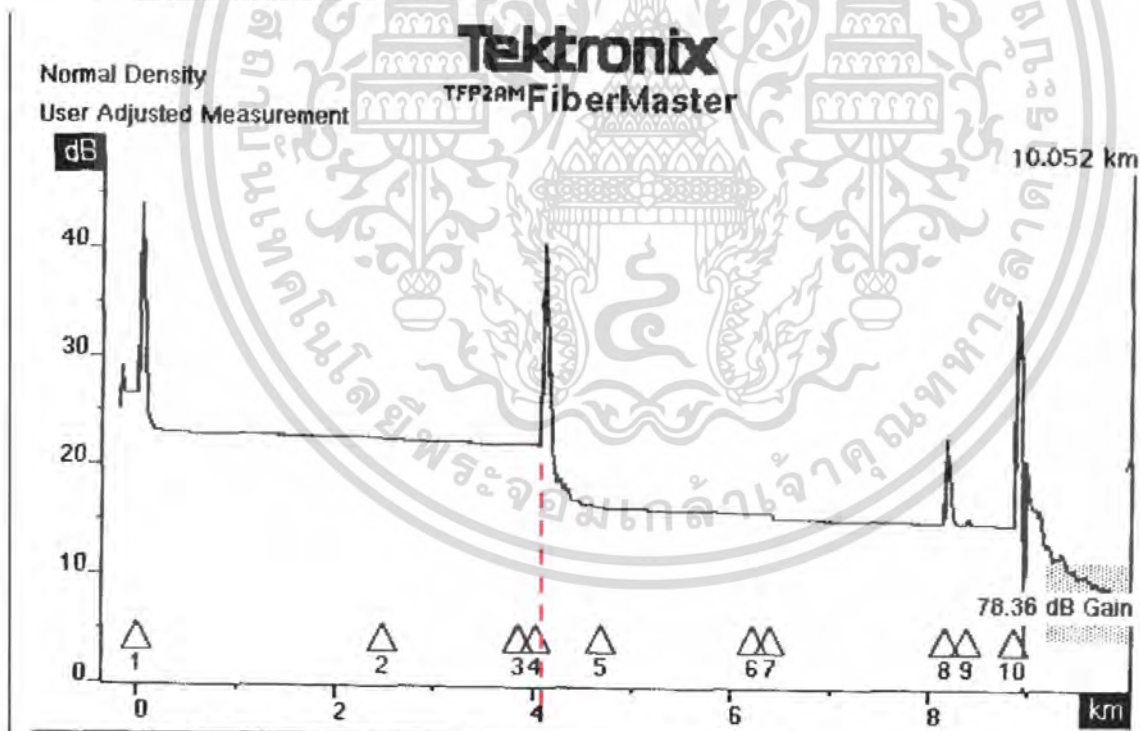
ผลการทดลอง

4.1 ผลของการตอบสนองของตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบแฟบริ-เพอโรต์

4.1.1 ผลของความกว้างช่องว่างที่มีผลต่ออุณหภูมิ

ในการศึกษาเชิงวิเคราะห์การตอบสนองของตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบแฟบริ-เพอโรต์กับการตอบสนองของอุณหภูมิพบว่าความกว้างของตัวตรวจวัดอุณหภูมิมีผลต่อการตอบสนองของอุณหภูมิ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อช่องว่างมีขนาดเหมาะสมทำให้มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ดีกว่า

- โดยให้ช่องว่างระยะห่างเป็นอากาศ



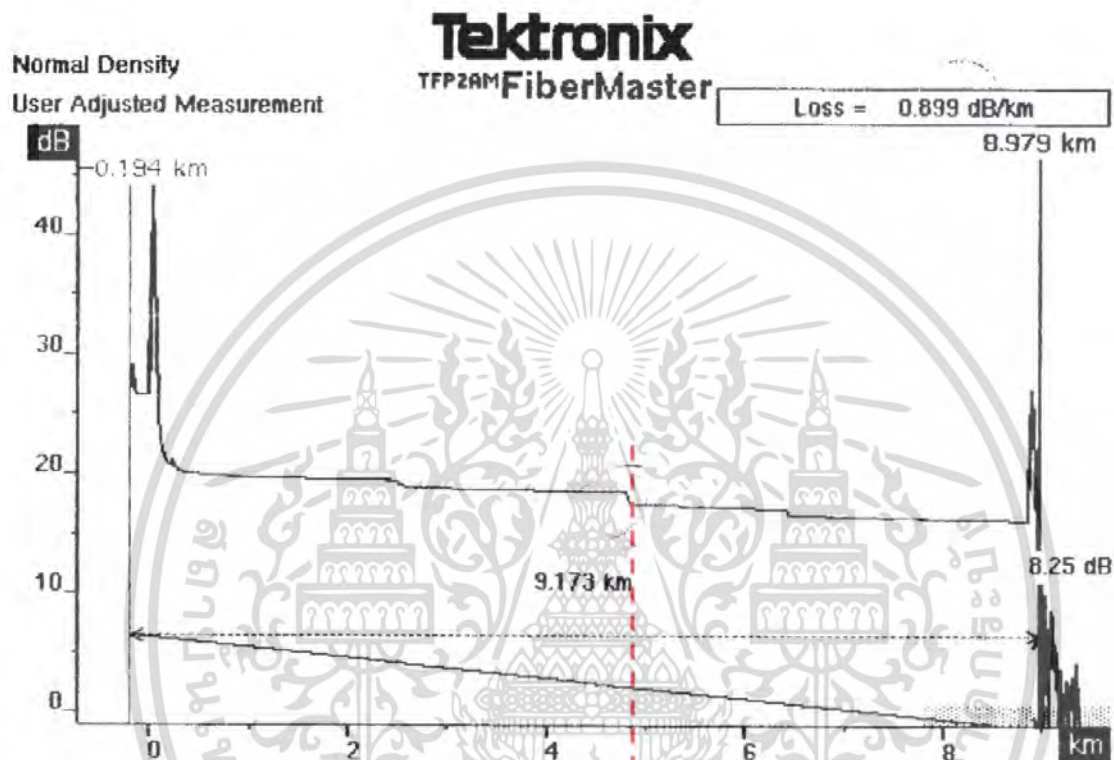
รูปที่ 4.1 แสดงความยาวคลื่นสะท้อนกลับต่อผลกระทบของอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.1 เป็นการทำให้ปลายสายไฟเบอร์สองปลายอยู่ชิดกัน โดยไม่ได้ทำการเชื่อมต่อเพื่อศึกษาผลที่ได้จากเครื่อง OTDR ซึ่งจากผลที่ได้จะพบว่าเป็นไปตามทฤษฎีในหัวข้อที่ 2.2.3 แต่ในการทดลองนี้

เป็นไปได้อย่างที่เราจะวางสายไฟเบอร์ให้เกิดช่องว่างที่เป็นอากาศเราจึงทำการเชื่อมสายไฟเบอร์สองปลาย
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ด้วยวิธีหลอมนละลายที่ค่าความสูญเสียต่าง ๆ กันดังต่อไปนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลของการเชื่อมหลอมละลายแบบต่าง ๆ ที่มีผลต่ออุณหภูมิ

- เมื่อทำการสไปซ์โดยมี ค่า splice loss เท่ากับ 0.35 dB



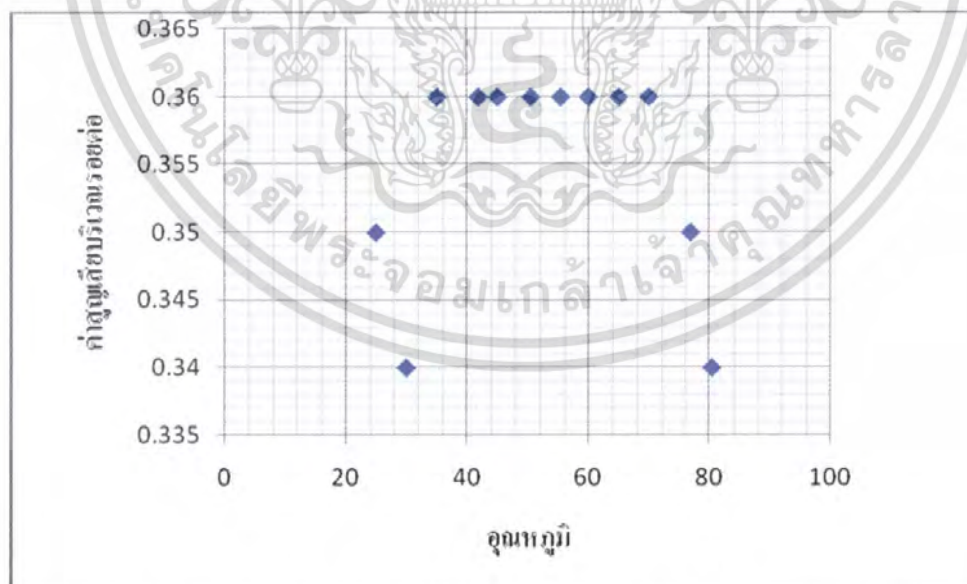
รูปที่ 4.2 แสดงความยาวคลื่นสะท้อนกลับต่อผลกระทบของอุณหภูมิ

รูปที่ 4.2 นี้เป็นรูปแสดงผลของการเชื่อมปลายสายไฟเบอร์ด้วยวิธีหลอมละลายโดยที่ค่าการสูญเสียเท่ากับ 0.35 dB แล้วจัดการทดลองตามรูปที่ 3.2 ทำการเพิ่มอุณหภูมิที่บริเวณรอยต่อแล้วทำการเก็บผลการทดลองระหว่างค่าความสูญเสียที่บริเวณรอยต่อกับอุณหภูมิ เพื่อการเปลี่ยนแปลงซึ่งจากกราฟในรูปที่ 4.3 จะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจากการสูญเสียเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ 36 องศาเซลเซียส ค่าการสูญเสียไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงและกราฟตกลงมาที่อุณหภูมิ 71 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมปลายสายไฟเบอร์ที่ค่าความสูญเสีย 0.35 dB ไม่สามารถบอกความแตกต่างของอุณหภูมิได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 0.35 dB

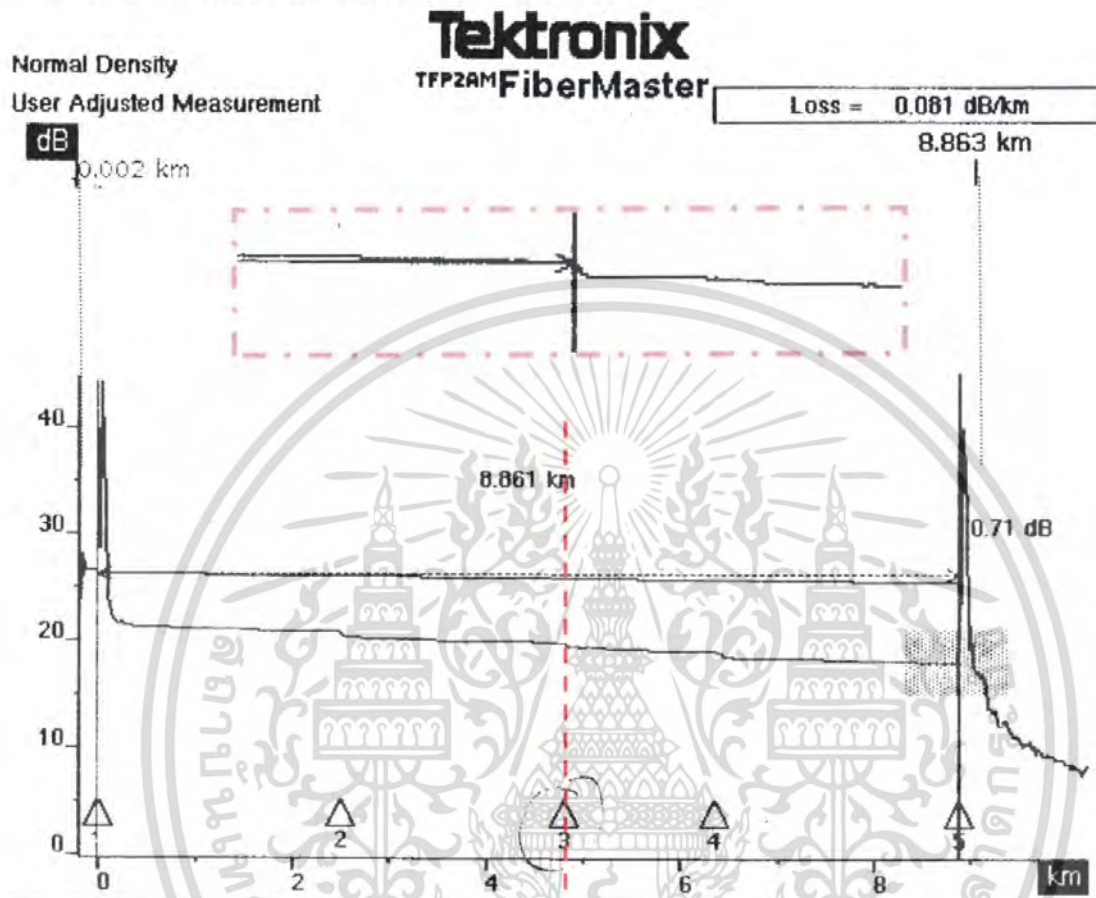
ค่า splice loss	อุณหภูมิ	ค่าการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อ			
		1	2	3	เฉลี่ย
0.35	เพิ่ม				
	25.0	0.35	0.35	0.36	0.35
	30.0	0.34	0.35	0.345	0.34
	35.0	0.37	0.36	0.36	0.36
	41.8	0.37	0.36	0.36	0.36
	45.0	0.37	0.36	0.36	0.36
	50.5	0.37	0.36	0.36	0.36
	55.4	0.37	0.36	0.36	0.36
	60.0	0.37	0.36	0.36	0.36
	65.0	0.37	0.36	0.36	0.36
	70.0	0.37	0.36	0.36	0.36
	76.9	0.36	0.35	0.35	0.35
	80.5	0.34	0.35	0.34	0.34



รูปที่ 4.2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 1.24 dB



รูปที่ 4.3 แสดงความยาวคลื่นสะท้อนกลับต่อผลกระทบของอุณหภูมิ

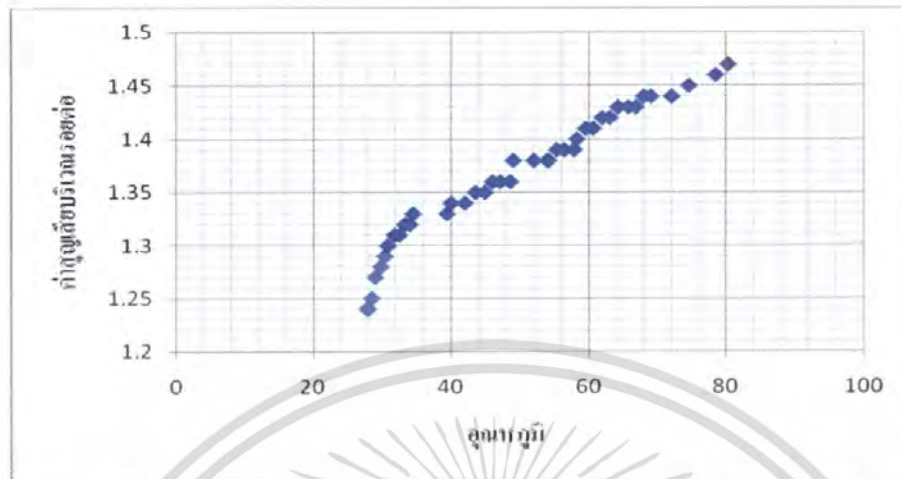
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 1.24 dB

ค่า splice loss	อุณหภูมิ	ค่าการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อ			
1.24	เพิ่ม	1	2	3	เฉลี่ย
	27.8	1.24	1.25	1.25	1.24
	28.0	1.24	1.25	1.25	1.24
	28.5	1.25	1.25	1.25	1.25
	29.0	1.26	1.27	1.27	1.27
	29.8	1.29	1.28	1.28	1.28
	30.4	1.28	1.29	1.29	1.29
	30.8	1.3	1.3	1.3	1.3
	31.8	1.31	1.31	1.31	1.31
	32.5	1.31	1.31	1.31	1.31
33.3	1.32	1.32	1.32	1.32	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทั่วไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าsplice loss	อุณหภูมิ	ค่าการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อ			
1.24	เพิ่ม	1	2	3	เฉลี่ย
	34.0	1.32	1.32	1.32	1.32
	34.5	1.32	1.33	1.33	1.33
	39.4	1.32	1.33	1.33	1.33
	40.0	1.34	1.34	1.33	1.34
	42.0	1.34	1.34	1.33	1.34
	43.5	1.35	1.35	1.35	1.35
	44.9	1.35	1.35	1.35	1.35
	46.0	1.36	1.36	1.36	1.36
	47.1	1.36	1.36	1.36	1.36
	48.6	1.36	1.36	1.36	1.36
	49.0	1.37	1.38	1.38	1.38
	52.0	1.37	1.38	1.38	1.38
	53.9	1.37	1.38	1.38	1.38
	54.1	1.37	1.38	1.38	1.38
	55.3	1.38	1.39	1.39	1.39
	56.4	1.39	1.38	1.39	1.39
	57.8	1.39	1.38	1.39	1.39
	58.2	1.4	1.4	1.4	1.4
	59.5	1.41	1.41	1.41	1.41
	60.6	1.41	1.41	1.41	1.41
	61.9	1.42	1.42	1.42	1.42
	63.0	1.42	1.41	1.42	1.42
	64.2	1.42	1.43	1.43	1.43
	65.7	1.43	1.43	1.44	1.43
	66.8	1.43	1.43	1.44	1.43
	67.9	1.45	1.44	1.44	1.44
	69.0	1.43	1.44	1.44	1.44
	72.0	1.44	1.44	1.44	1.44
	74.5	1.45	1.45	1.45	1.45
	78.4	1.46	1.45	1.46	1.46
	80.2	1.47	1.47	1.47	1.47

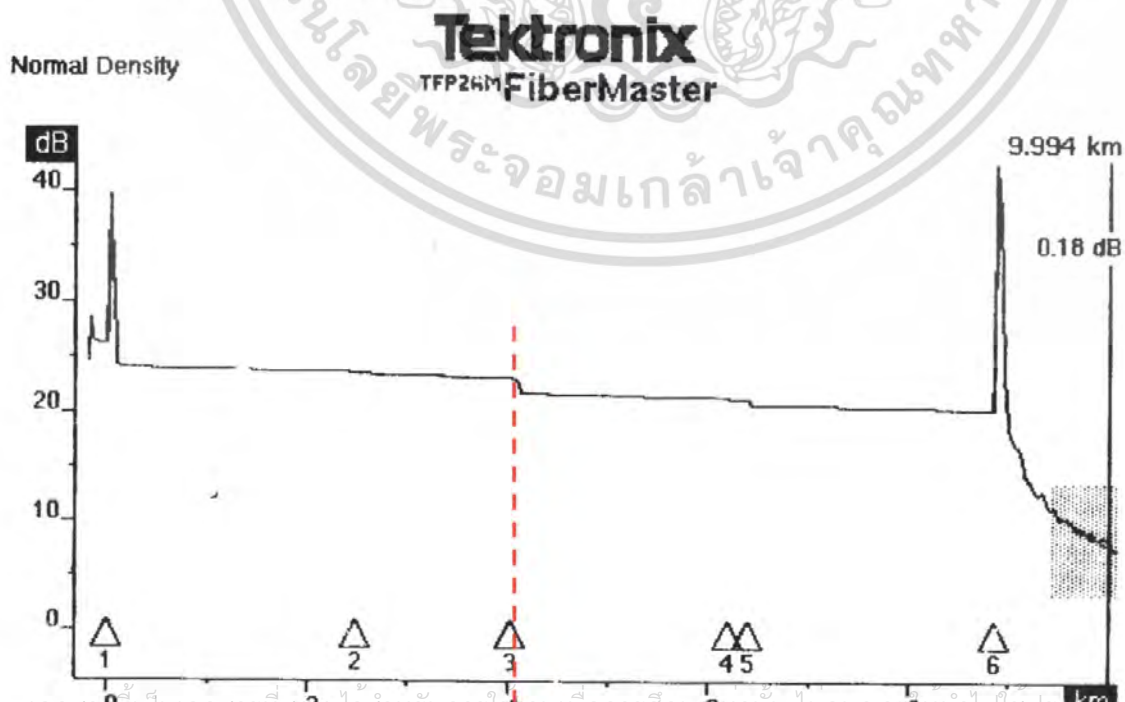
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อกับจุดต่อ

รูปที่ 4.3 นี้เป็นรูปแสดงผลของการเชื่อมปลายสายไฟเบอร์ด้วยวิธีหลอมละลายโดยที่ค่าการสูญเสียเท่ากับ 1.24 dB แล้วจัดการทดลองตามรูปที่ 3.2 ทำการเพิ่มจุดต่อที่บริเวณรอยต่อแล้วทำการเก็บผลการทดลองระหว่างค่าความสูญเสียที่บริเวณรอยต่อกับจุดต่อ จากกราฟรูปที่ 4.3 จะพบว่าเมื่อเพิ่มจุดต่อค่าการสูญเสียเพิ่มขึ้นเรื่อยตามจุดต่อ แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมปลายสายไฟเบอร์ที่ค่าความสูญเสีย 1.24 dB สามารถบอกความแตกต่างของจุดต่อได้

- เมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 1.40 dB

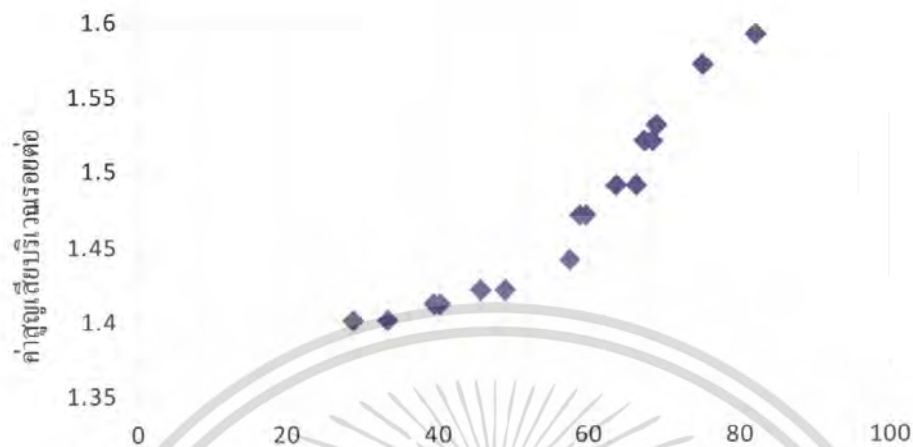


รูปที่ 4.4 แสดงความยาวคลื่นสะท้อนกลับต่อผลกระทบของจุดต่อ

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 1.40 dB

ค่า splice loss	อุณหภูมิ	ค่าการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อ			
		1	2	3	เฉลี่ย
1.4	เพิ่ม				
	28.7	1.40	1.41	1.40	1.40
	33.4	1.40	1.41	1.40	1.40
	39.4	1.41	1.41	1.41	1.41
	40.4	1.41	1.41	1.41	1.41
	45.6	1.42	1.42	1.42	1.42
	48.9	1.42	1.43	1.42	1.42
	57.6	1.44	1.43	1.44	1.44
	58.9	1.47	1.46	1.47	1.47
	59.7	1.47	1.48	1.47	1.47
	63.6	1.49	1.48	1.49	1.49
	66.3	1.49	1.50	1.49	1.49
	67.5	1.52	1.51	1.52	1.52
	68.5	1.52	1.51	1.52	1.52
	69.2	1.53	1.53	1.53	1.53
	75.4	1.55	1.54	1.55	1.55
	78.2	1.55	1.56	1.55	1.55
	80.2	1.55	1.56	1.55	1.55
	83.7	1.54	1.55	1.54	1.54
	88.8	1.55	1.55	1.55	1.55
89.3	1.56	1.56	1.56	1.56	
90.2	1.56	1.55	1.56	1.56	
94.0	1.56	1.57	1.56	1.56	
96.0	1.56	1.56	1.56	1.56	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

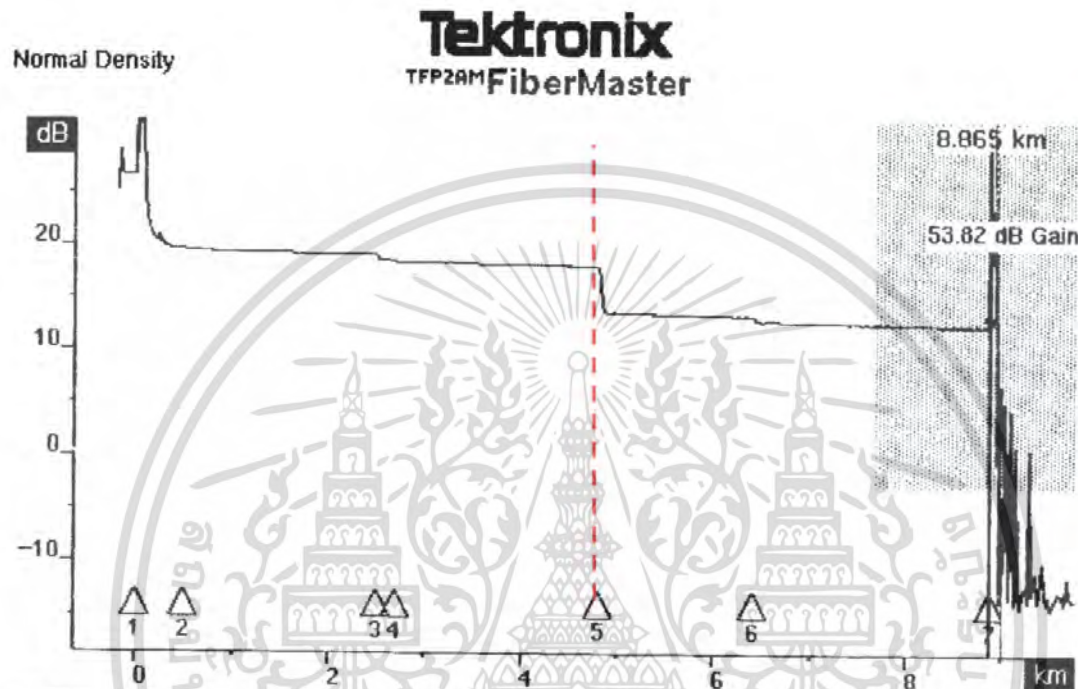


รูปที่ 4.4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อกับอูณหภูมิจานาล

รูปที่ 4.4 นี้เป็นรูปแสดงผลของการเชื่อมปลายสายไฟเบอร์ด้วยวิธีหลอมละลาย โดยที่ค่าการสูญเสียเท่ากับ 1.40 dB แล้วจัดการทดลองตามรูปที่ 3.2 ทำการเพิ่มอูณหภูมิจานาลที่บริเวณรอยต่อแล้วทำการเก็บผลการทดลองระหว่างค่าความสูญเสียที่บริเวณรอยต่อกับอูณหภูมิจานาล จากกราฟรูปที่ 4.4 จะพบว่าเมื่อเพิ่มอูณหภูมิจานาลค่าการสูญเสียเพิ่มขึ้นเรื่อยตามอูณหภูมิจานาล แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมปลายสายไฟเบอร์ที่ค่าความสูญเสีย 1.40 dB สามารถบอกความแตกต่างของอูณหภูมิจานาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 2.89 dB



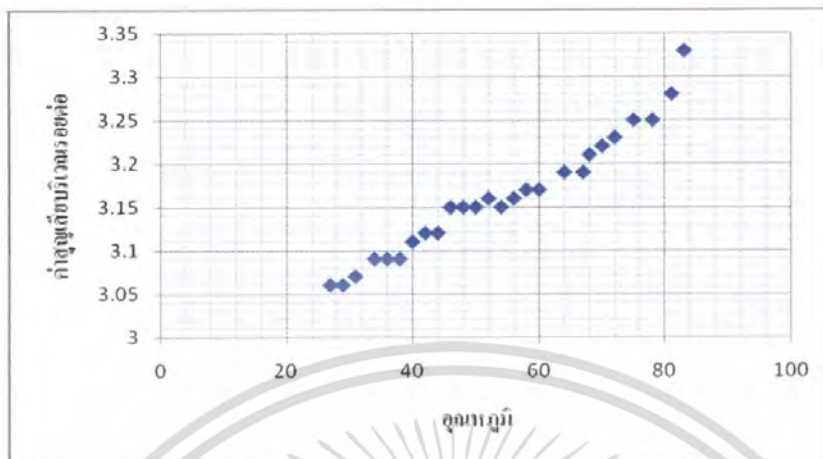
รูปที่ 4.5 แสดงความยาวคลื่นสะท้อนกลับต่อผลกระทบของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์ โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 2.89 dB

ค่า splice loss	อุณหภูมิ	ค่าการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อ			
		1	2	3	เฉลี่ย
2.89	เพิ่ม				
	27.0	3.06	3.06	3.05	3.06
	29.0	3.06	3.06	3.05	3.06
	31.0	3.07	3.07	3.08	3.07
	34.0	3.09	3.09	3.08	3.09
	36.0	3.09	3.09	3.08	3.09
	38.0	3.09	3.09	3.09	3.09
	40.0	3.11	3.11	3.11	3.11
	42.0	3.12	3.12	3.12	3.12
	44.0	3.12	3.12	3.11	3.12
	46.0	3.15	3.15	3.14	3.15
	48.0	3.15	3.15	3.14	3.15
	50.0	3.15	3.15	3.15	3.15
	52.0	3.16	3.16	3.15	3.16
	54.0	3.15	3.15	3.15	3.15
	56.0	3.16	3.16	3.16	3.16
	58.0	3.17	3.17	3.16	3.17
	60.0	3.17	3.17	3.17	3.17
	64.0	3.19	3.19	3.2	3.19
	67.0	3.19	3.19	3.19	3.19
68.0	3.21	3.21	3.2	3.21	
70.0	3.22	3.22	3.22	3.22	
72.0	3.23	3.23	3.22	3.23	
75.0	3.25	3.25	3.24	3.25	
78.0	3.25	3.25	3.25	3.25	
81.0	3.28	3.28	3.29	3.28	
83.0	3.33	3.33	3.34	3.33	

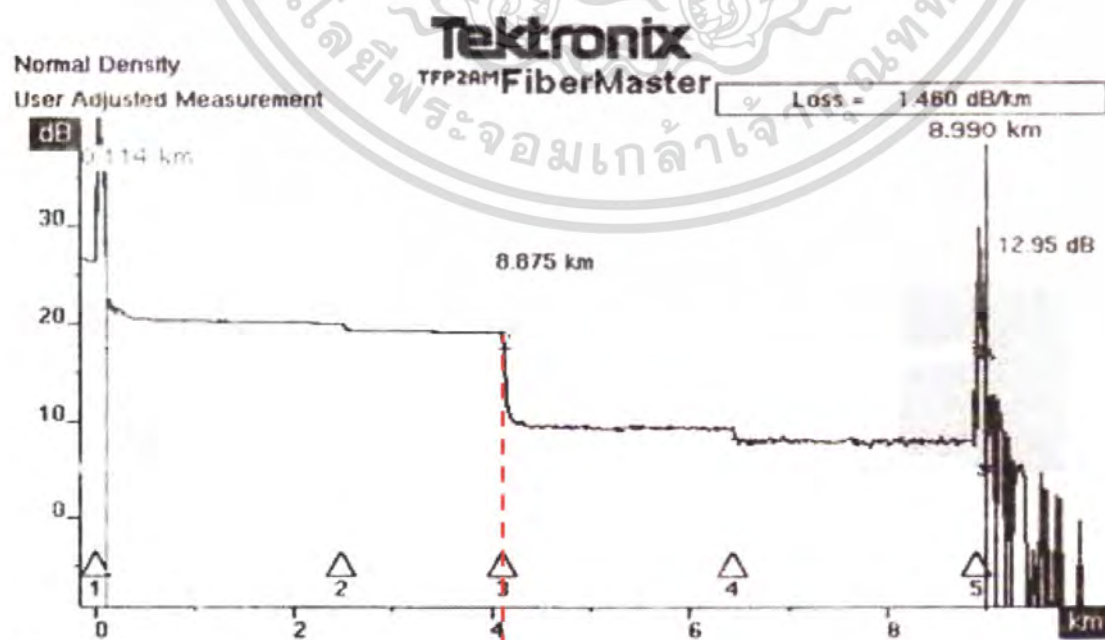
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อกับอุณหภูมิ

รูปที่ 4.5 นี้เป็นรูปแสดงผลของการเชื่อมปลายสายไฟเบอร์ด้วยวิธีหลอมละลายโดยที่ค่าการสูญเสียเท่ากับ 2.89 dB แล้วจัดการทดลองตามรูปที่ 3.2 ทำการเพิ่มอุณหภูมิที่บริเวณรอยต่อแล้วทำการเก็บผลการทดลองระหว่างค่าความสูญเสียที่บริเวณรอยต่อกับอุณหภูมิ จากกราฟรูปที่ 4.5 จะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่ำค่าการสูญเสียเพิ่มขึ้นเรื่อยตามอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมปลายสายไฟเบอร์ที่ค่าความสูญเสีย 2.89 dB สามารถบอกความแตกต่างของอุณหภูมิได้

- เมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 6.77 dB



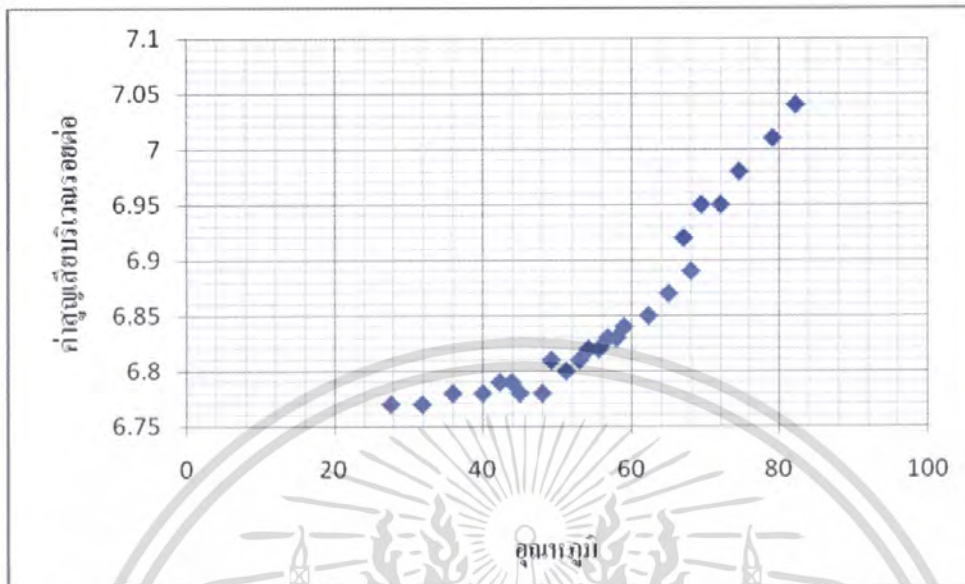
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

รูปที่ 4.6 แสดงความยาวคลื่นสะท้อนกลับต่อผลกระทบของอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 6.77 dB (เพิ่มอุณหภูมิ)

ค่า splice loss	อุณหภูมิ	ค่าการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อ			
		1	2	3	เฉลี่ย
6.77	เพิ่ม				
	27.7	6.77	6.77	6.77	6.77
	31.9	6.77	6.77	6.77	6.77
	36.0	6.78	6.78	6.78	6.78
	40.0	6.78	6.78	6.78	6.78
	42.3	6.79	6.79	6.79	6.79
	43.9	6.79	6.79	6.79	6.79
	45.0	6.78	6.78	6.78	6.78
	48.0	6.78	6.78	6.78	6.78
	49.2	6.81	6.81	6.81	6.81
	51.2	6.80	6.80	6.80	6.8
	53.0	6.81	6.81	6.81	6.81
	54.2	6.82	6.82	6.82	6.82
	55.6	6.82	6.82	6.82	6.82
	56.8	6.83	6.83	6.83	6.83
	58.0	6.83	6.83	6.83	6.83
	59.0	6.84	6.84	6.84	6.84
	62.3	6.85	6.85	6.85	6.85
	65.0	6.87	6.87	6.87	6.87
	68.0	6.89	6.89	6.89	6.89
67.0	6.92	6.92	6.92	6.92	
69.4	6.95	6.95	6.95	6.95	
72.0	6.95	6.95	6.95	6.95	
74.5	6.98	6.98	6.98	6.98	
79.0	7.01	7.01	7.01	7.01	
82.1	7.04	7.04	7.04	7.04	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



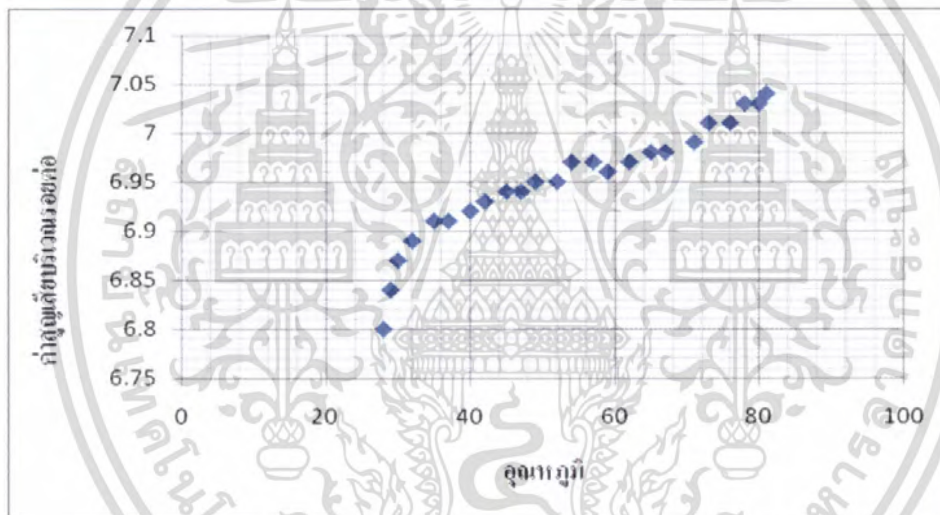
(a) กราฟแสดงความยาวคลื่นสะท้อนกลับต่อผลกระทบของอุณหภูมิเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.5.1 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์ โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 6.77 dB (ลดอุณหภูมิ)

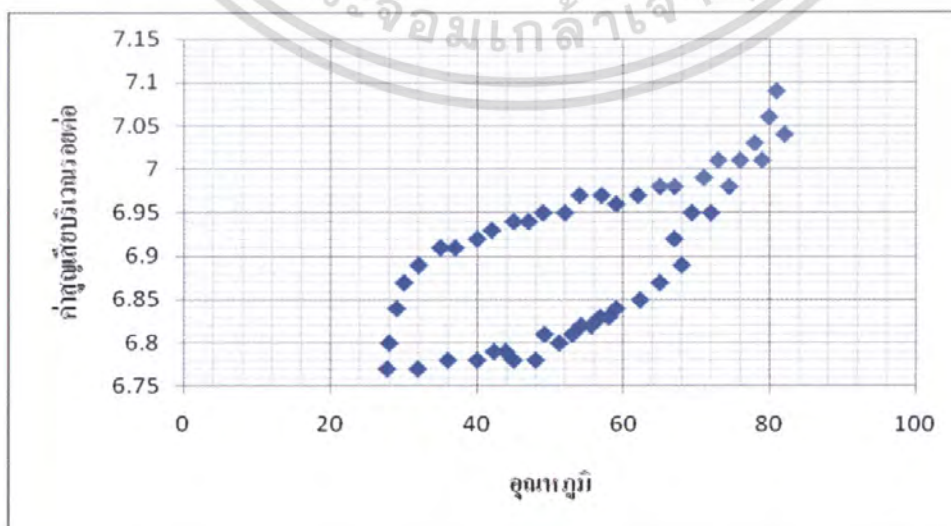
ค่า splice loss	อุณหภูมิ	ค่าการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อ			
		1	2	3	เฉลี่ย
6.77	สด				
	81.0	7.09	7.08	7.09	7.09
	80.0	7.06	7.06	7.06	7.06
	78.0	7.03	7.02	7.03	7.03
	76.0	7.01	7.00	7.01	7.01
	73.0	7.01	7.02	7.01	7.01
	71.0	6.99	6.99	6.99	6.99
	67.0	6.98	6.98	6.98	6.98
	65.0	6.98	6.98	6.98	6.98
	62.0	6.97	6.97	6.97	6.97
	59.0	6.96	6.96	6.96	6.96
	57.0	6.97	6.97	6.97	6.97
	54.0	6.97	6.97	6.97	6.97
	52.0	6.95	6.95	6.95	6.95
	49.0	6.95	6.95	6.95	6.95
	47.0	6.94	6.94	6.94	6.94
	45.0	6.94	6.94	6.94	6.94
	42.0	6.93	6.93	6.93	6.93
	40.0	6.92	6.92	6.92	6.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า splice loss	อุณหภูมิ	ค่าการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อ			
6.77	ลด	1	2	3	เฉลี่ย
	37.0	6.91	6.91	6.91	6.91
	35.0	6.91	6.91	6.91	6.91
	32.0	6.89	6.89	6.89	6.89
	30.0	6.87	6.87	6.87	6.87
	29.0	6.84	6.84	6.84	6.84
	28.0	6.80	6.80	6.80	6.80



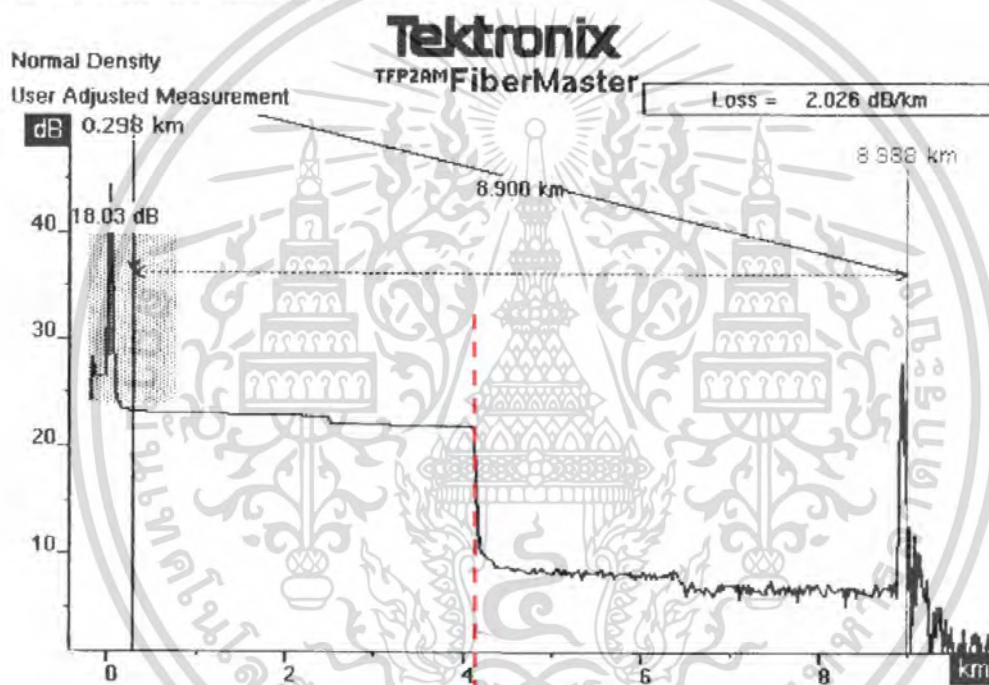
(b) กราฟแสดงความยาวคลื่นสะท้อนกลับต่อผลกระทบของอุณหภูมิเมื่อลดอุณหภูมิ



(c) กราฟแสดงความยาวคลื่นสะท้อนกลับต่อผลกระทบของอุณหภูมิเมื่อลดและเพิ่มอุณหภูมิ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับองค์กรใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ โดยไม่อนุญาตให้ใช้ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 นี้เป็นรูปแสดงผลของการเชื่อมปลายสายไฟเบอร์ด้วยวิธีหลอมละลายโดยที่ค่าการสูญเสียเท่ากับ 6.77 dB แล้วจัดการทดลองตามรูปที่ 3.2 ทำการเพิ่มอุณหภูมิที่บริเวณรอยต่อแล้วทำการเก็บผลการทดลองระหว่างค่าความสูญเสียที่บริเวณรอยต่อกับอุณหภูมิ จากกราฟรูปที่ a , b และ c จะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่ำการสูญเสียเพิ่มขึ้นเรื่อยตามอุณหภูมิและลดอุณหภูมิค่าความสูญเสียลดลงตาม แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมปลายสายไฟเบอร์ที่ค่าความสูญเสีย 6.77 dB สามารถบอกความแตกต่างของอุณหภูมิได้

- เมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 11.6 dB



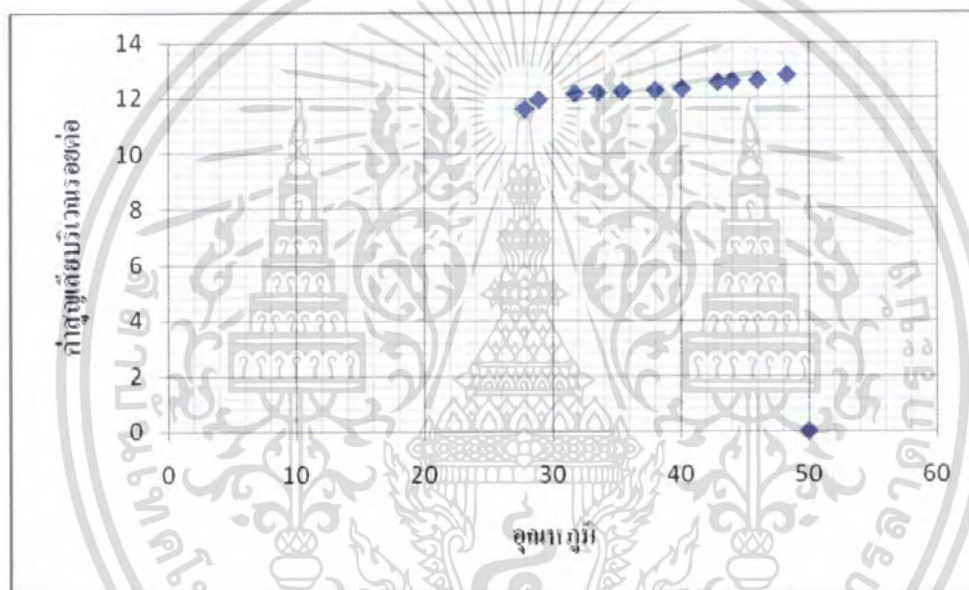
รูปที่ 4.7 แสดงความยาวคลื่นสะท้อนกลับต่อผลกระทบของอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการสไปซ์โดยมีค่า splice loss เท่ากับ 11.6 dB

ค่า splice loss	อุณหภูมิ	ค่าการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อ			
		1	2	3	เฉลี่ย
11.6	เพิ่ม				
	27.8	11.60	11.60	11.60	11.6
	28.9	11.93	11.93	11.93	11.93
	31.7	12.15	12.15	12.15	12.15
	33.5	12.19	12.19	12.19	12.19
	35.4	12.22	12.22	12.22	12.22
	38.0	12.25	12.25	12.25	12.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานใน 40.1 การศึกษา 12.31 นั้น ไม่ 12.31 วัตถุประสงค์ให้ 12.31 ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง 42.9 ให้ตัดแปลงเนื้อ 12.55 และต้อง 12.55 ถึง 12.55 เอกสาร 12.55 รั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า splice loss	อุณหภูมิ	ค่าการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อ			
11.6	เพิ่ม	1	2	3	เฉลี่ย
	44.0	12.59	12.59	12.59	12.59
	46.0	12.61	12.61	12.61	12.61
	48.3	12.81	12.81	12.81	12.81
	50.0	0	0	0	0



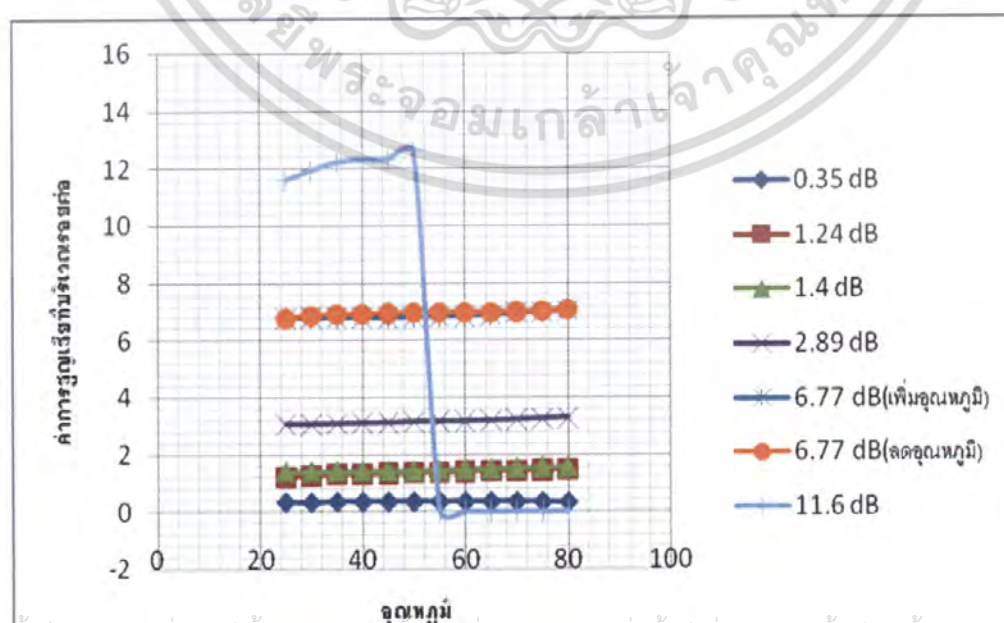
รูปที่ 4.7.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อกับอุณหภูมิ

จากกราฟรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อทำการเชื่อมต่อโดยให้ค่าการเชื่อมต่อเริ่มแรกเป็น 11.6 dB พบว่าการทดลองที่ได้ไม่สามารถเก็บผลได้ ซึ่งผลการทดลองที่แสดงทั้งหมดข้างต้นพบว่าในการใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว (single mode) ประยุกต์กับหลักการของแฟบริ – เพอโรต์ (Fabry – Perot) เพื่อทำเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิต้องหาค่าสัญญาณการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อในค่าที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ทำเป็นตัวตรวจวัดคืออยู่ในช่วง 1-11 dB จะสามารถมาใช้เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิได้ถ้ามากกว่าหรือน้อยกว่านั้นจะไม่สามารถนำมาใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบการทำงานของตัวตรวจวัดชนิดดังกล่าวจะแสดงผลดังตารางต่อไปนี้ ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการเปลี่ยนค่าสูญเสียการเชื่อมต่อ

อุณหภูมิ	ค่าการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อ						
	0.35 dB	1.24 dB	1.4 dB	2.89 dB	6.77 dB		11.6 dB
	เพิ่ม (°C)	เพิ่ม (°C)	เพิ่ม (°C)	เพิ่ม (°C)	เพิ่ม (°C)	ลด (°C)	เพิ่ม (°C)
25	0.35	1.24	1.40	3.06	6.77	6.77	11.60
30	0.34	1.28	1.40	3.07	6.78	6.87	11.93
35	0.36	1.33	1.41	3.09	6.78	6.91	12.22
40	0.36	1.34	1.41	3.11	6.78	6.92	12.31
45	0.36	1.35	1.42	3.12	6.78	6.94	12.31
50	0.36	1.38	1.42	3.15	6.80	6.95	12.59
55	0.36	1.39	1.44	3.16	6.82	6.96	0
60	0.36	1.41	1.47	3.17	6.84	6.97	0
65	0.36	1.43	1.49	3.19	6.87	6.98	0
70	0.36	1.44	1.53	3.22	6.95	6.99	0
75	0.35	1.45	1.55	3.25	6.98	7.01	0
80	0.34	1.47	1.55	3.28	7.01	7.06	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณการสูญเสียที่บริเวณรอยต่อกับอุณหภูมิ

จากผลการทดลองเมื่อเราพบว่าไม่สามารถใช้อุปกรณ์นี้มาทำเป็นตัวตรวจวัดได้เนื่องจากผลที่ได้ไม่เป็นเชิงเส้นแต่สามารถดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ซึ่งเมื่อทำการทดลองเชื่อมประกบแบบหลอมละลายระหว่างปลายสายใยแก้วนำแก้วโดยทำการทดลองที่ค่าความสูญเสียที่บริเวณรอยต่อพบว่าเราสามารถใช้อุณหภูมิเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ระหว่าง 1-11 dB จะสามารถมาใช้ได้ แต่ช่วงที่ดีที่สุดที่สามารถดูแนวโน้มการเพิ่มและลดอุณหภูมิได้คือที่ 6.77 dB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะในโครงการ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว (single mode) มาใช้เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิโดยในโครงการนี้ได้ใช้หลักการของแฟบริ-เพอโรต์ในการทำระบบตรวจวัดอุณหภูมิ ซึ่งเมื่อเทียบกับการใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิด้วยไฟเบอร์แบรคเกรตติงที่มีราคาแพงกว่าโครงการนี้จึงทำการทดลองเพื่อเสนอทางเลือกที่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้เหมือนกันเพื่อนำมาทดแทนตัวตรวจวัดไฟเบอร์แบบเดิม เมื่อพิจารณาข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการของระบบตรวจวัด ซึ่งเมื่อทำการศึกษานี้จึงเห็นควรให้มีการพัฒนาระบบการตรวจวัดเพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจวัดและสามารถใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิได้ดีที่สุด

ซึ่งจากการที่เราได้มีการศึกษาทฤษฎีเพื่อมาใช้ในการอ้างอิงผลการทดลองและพยายามสร้างตัวตรวจวัดให้มีค่าที่แน่นอนเพื่อให้สามารถนำไปสร้างเป็นระบบตรวจวัดอุณหภูมิที่ใช้งานได้จริงที่จะทำให้ระบบตรวจวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมกับการใช้งานและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้ทำการศึกษาและทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบตรวจวัดโดยใช้แบรคเกรตติง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบที่จะพัฒนาขึ้น

จากการทบทวนแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตลอดจนงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถสรุปเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาได้ว่า การทำงานของตัวตรวจวัดมีลักษณะการสะท้อนและแสดงค่าการสูญเสียของสัญญาณในบริเวณตัวตรวจวัดเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งในแต่ละครั้งที่ทำการทดลองเราจะเก็บค่าที่ได้มาเพื่อทำการวิเคราะห์เพื่อนำไปพัฒนามาใช้เป็นตัวตรวจวัด

ดังนั้นระบบตรวจวัดอุณหภูมิที่พัฒนาขึ้นนี้จึงเป็นระบบที่มีความละเอียดในผลของการตรวจวัดการทำงานของระบบตรวจวัดอุณหภูมิมุ่งเน้นพิจารณาความการสูญเสียที่บริเวณระบบตรวจวัดเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิพบว่าค่าการสูญเสียมีค่าแปรผันตามอุณหภูมิ ซึ่งโดยทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับการเชื่อมต่อของไฟเบอร์ทั้งสองเส้นที่เป็นตัวตรวจวัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการตรวจวัดโดยค่าการเชื่อมต่อแรกเริ่มที่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้นั้นอยู่ในช่วง 1 – 11 เดซิเบล ที่สามารถดูแนวโน้มการเปลี่ยนของอุณหภูมิได้ในช่วง 27 – 90 องศาเซลเซียส แต่ไม่สามารถทำเป็นตัวตรวจวัดได้เนื่องจากผลที่ได้ไม่เป็นเชิงเส้นแต่สามารถบอกได้เพียงแนวโน้มเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

จากการศึกษาการทำตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบแฟบริ - เพอโรต์ พบปัญหาและอุปสรรคดังนี้

- 1) ในการนำไปประยุกต์ใช้จริงเป็นการยากที่จะวางระบบให้เกิดการแตกร้าวน้อยที่สุดคั้งนั้นเราควรวางแผนในการติดตั้งให้เหมาะสมกับงาน
- 2) ค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากปัจจัยในระบบอื่นๆ

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานวิจัยในโครงการนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบแฟบริ – เพอโรต์ เพื่อพัฒนาต่อไปในอนาคตดังนี้

- 1) ในการเชื่อมต่อตัวตรวจวัดควรเชื่อมแบบที่มีการกำหนดได้แน่นอน
- 2) ในการศึกษาแบบนี้ไม่สามารถทำเป็นตัวตรวจวัดได้เนื่องจากผลที่ได้ไม่เป็นเชิงเส้นแต่สามารถศึกษาผลที่ได้เพื่อพัฒนาให้เป็นตัวตรวจวัด
- 3) ในการทดลองควรเลือกเก็บตัวแปรที่สามารถอธิบายผลการทดลองได้ซึ่งเครื่อง OTDR ไม่สามารถเก็บค่าได้จึงควรเสริมเข้าไปในการรูปแบบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ปรีชา ยูพาพิน. 2544. **วิศวกรรมโยธาก่อสร้างแสง**. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ

ปรีชา ยูพาพิน. 2541. **เครือข่ายโยธาก่อสร้างแสง**. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ

สุวรรณ คูสำราญ. 2537. **ทัศนศาสตร์กายภาพ**. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อภิรักษ์ มั่นยานนท์. 2536. **การสื่อสารเส้นใยแก้ว**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นายทินกร นีวันดี, นายอรรถสิทธิ์ บิฬาสันต์. 2544. **การแปลงความยาวคลื่นโดยใช้เกรตติงใยแก้วนำแสง**. สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นายปิติภูมิ ศิริมา, นายวีรพันธ์ กรโยธิน. 2545. **การตรวจวัดการสั่นและการหกรอยแตกร้าวของอาคารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง**. สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

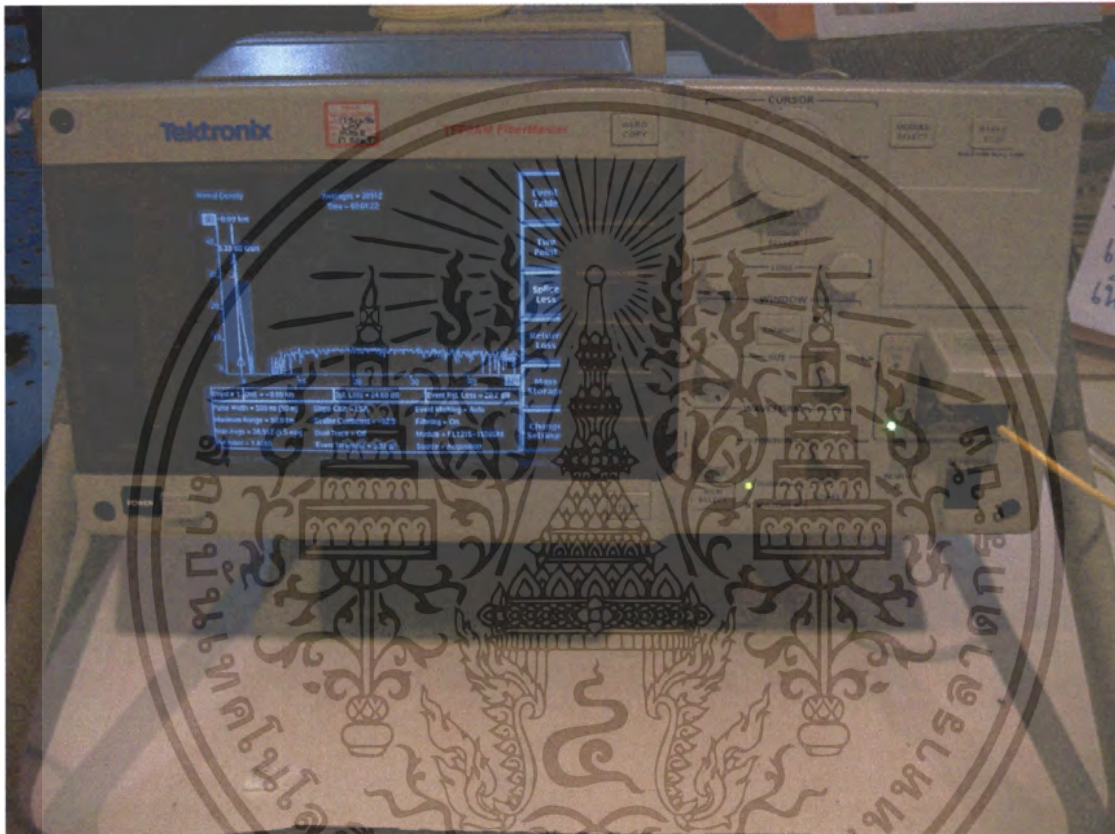
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับโครงการพิเศษ

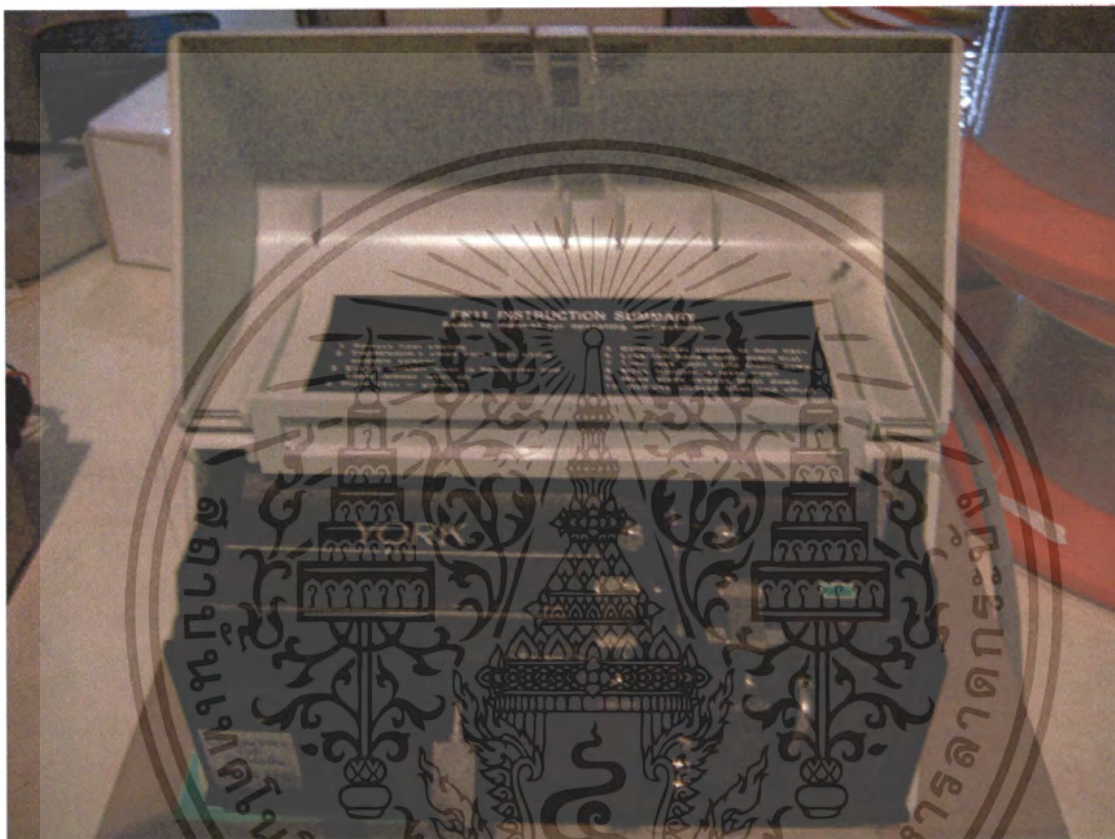
เครื่องโอทีดีอาร์ (Optical Time Domain Reflectometer)



ผลแสดงการทำงานของเครื่องได้กล่าวไว้ในทฤษฎีในบทที่ 2 ซึ่งเครื่องนี้ค่า dead zone เท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

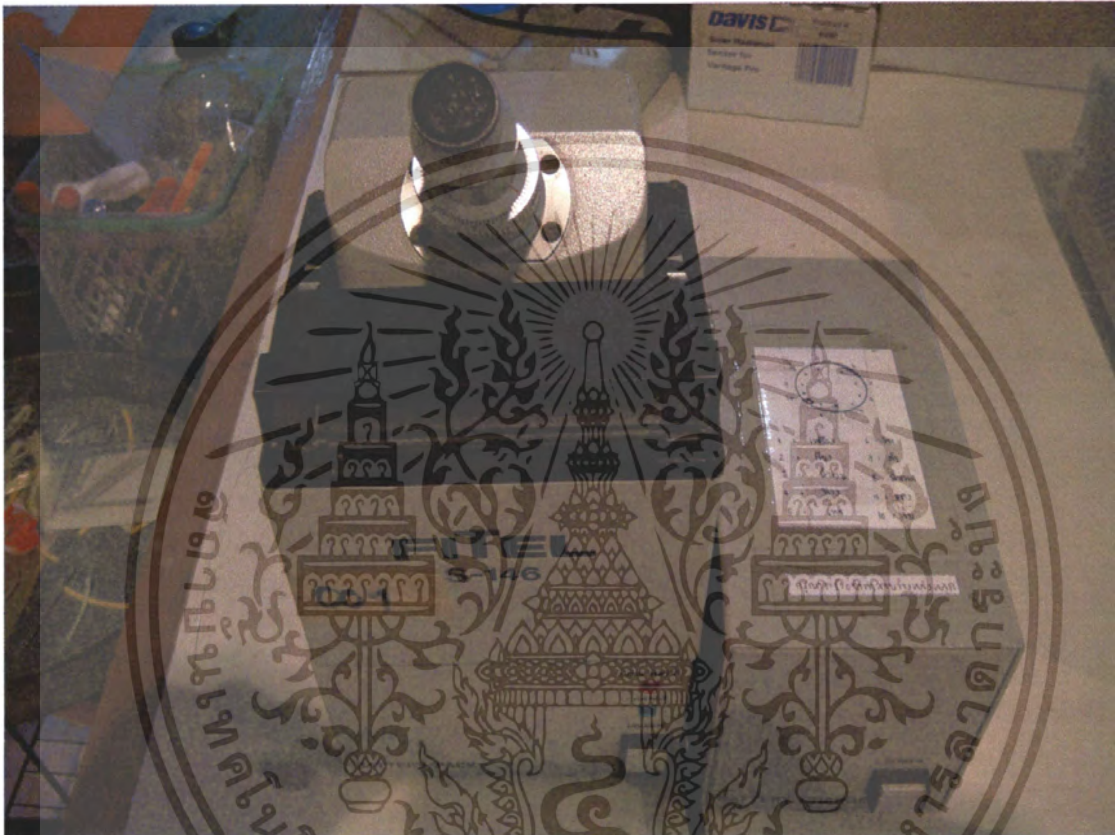
เครื่องตัดสายไฟเบอร์



เครื่องที่ใช้ตัดปลายไฟเบอร์ให้ตรงเพื่อเมื่อเชื่อมแล้วจะได้ต่อกันสนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเชื่อมสายไฟเบอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้