

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



เส้นใยพอลิเมอร์นำแสง : (III) การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับเทคนิค  
การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

นางสาว จันทร์จิรา ทับทิมทอง  
นางสาววิวัลยา ทันด่วน

จ 2676

เลขหมู่ 2536  
เลขทะเบียน  
วันเดือนปี

612524037

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2536

**Polymer Optical Fibres : (III) Preliminary Studies of Analysis and  
Characterisation of Polymer Optical Fibres**

**Miss Chanchira Tubtimthong**

**Miss Wiwalya Tunduan**

**A Special Project Submitted in partial Fulfillment of the  
Requirement for the Degree of Bachelor of Science**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**1993**



## หัวข้อโครงการพิเศษ

เส้นใยพอลิเมอร์นำแสง:(III)การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับ  
เทคนิคการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะ  
ของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

นักศึกษา

นางสาว จันทริจรา ทับทิมทอง

นางสาว วิวัลยา ทันด่วน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2536

## บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงโดยทดสอบเชิงเคมีและเชิงกายภาพ เส้นใยพอลิเมอร์นำแสงที่ทดสอบมี 2 ขนาดคือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม.และเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. ซึ่งได้รับความเอื้อเฟื้อจากบริษัท ไทยเทคลูมินเซ็นไทย จำกัด การศึกษาเชิงเคมีได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของส่วนที่เป็นแกนของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงกายภาพของเส้นใยโดยใช้เทคนิคทางสเปกโตรสโคปี ส่วนทางด้านกายภาพได้ศึกษาถึงความสามารถในการส่งผ่านแสงโดยพิจารณาถึงผลของการให้แรงกดบนเส้นใย ผลของการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิและความโค้งงอของเส้นใยต่อการส่งผ่านแสง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึง ขนาดของการเปิดรับให้แสงผ่าน และได้ทดสอบความแข็งแรงเชิงกลของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงด้วย จากการศึกษาลทางด้านเคมีพบว่าเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงมีองค์ประกอบหลักคือพอลิ(เมทิล เมธาไครเลต) ในกรณีนี้เส้นใยนำแสง (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม.)ถูกนำมาใช้งานแล้วจะเกิดการเสื่อมสภาพโดยสังเกตได้จากผลของรามานสเปกตรัมที่เห็นแถบของพันธะคาร์บอน-คาร์บอนที่ประมาณ 1650 ซม.<sup>-1</sup> ส่วนผลทางด้านกายภาพพบว่า ความสามารถในการส่งผ่านแสงของเส้นใยต่ำกว่าทางทฤษฎีโดยพิจารณาจากค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงเมื่อมีแรงกระทำต่อเส้นใยจะทำให้ความสามารถในการส่งผ่านแสงเปลี่ยนไป ในด้านผลของอุณหภูมิพบว่าอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิห้องมากจะส่งผลทำให้ค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงเพิ่มมากขึ้น และความโค้งงอที่เพิ่มขึ้นของเส้นใยจะมีผลทำให้ค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่านของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง(ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม.)ที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 0.7 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าทางทฤษฎีเล็กน้อย จากการทดสอบความแข็งแรงเชิงกลของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง(ขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 0.73 มม.) พบว่ามีความแข็งแรงมากพอที่จะนำไปใช้งานในสภาวะที่มีความเค้นโดยปราศจากการแตกหักได้

<b>Special Project Title</b>	Polymer Optical Fibres (III) Preliminary Studies of Analysis and Characterisation of Polymer Optical Fibres
<b>Name</b>	Miss Chanchira Tubtimthong Miss Wiwalya Tunduan
<b>Spicial Project Advisor</b>	Dr. Anucha Eaupermkiati
<b>Department</b>	Chemistry
<b>Year</b>	1993

### Abstract

This special project was involved in analysis and characterisation of polymer optical fibres by chemical and physical test methods. The fibres test had two size. One had diameter 0.73 mm. and the other diameter 0.5 cm., which were donated by Thai Tech Lumination Co., Ltd. For chemical analysis, the chemical structure and characteristic components of core, a part of polymer optical fibres, were analysed using spectroscopic techniques. For the physical analysis, the ability of light transmission was studied as a function of applied force, service temperature and bending of fibres. Besides numerical aperture and mechanical strength of polymer optical fibres were also evaluated. From these studies, it was found that the main components of polymer optical fibres is poly(methyl methacrylate). In the case that polymer optical fibres (diameter 0.5 cm.) had been under services, the chemical degradation could be observed especially from the alkenyl peak characteristic at  $1650\text{ cm}^{-1}$  of the Raman spectrum. The ability of light transmission was lower than that of theoretical values. The ability of light transmission changed according to forces applied to the fibres. The effect of higher or lower service temperature resulted in the loss light transmission than that at room temperature. Bending of fibres was another factor leading to more loss. The Numerical Aperture (NA) of the polymer optical fibres (diameter 0.73 mm.) was measured equal to 0.7 which was approximately values equal to that of theoretical calculations. The fibres (diameter 0.73 mm.) was found to have high tensile strength enough to be used without break down.

## กิตติกรรมประกาศ

ในโครงการพิเศษเรื่องเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง : (III) การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับเทคนิคในการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ดังมีรายนามต่อไปนี้

- ดร.อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ ดร.ปรีชา ยุพาพิน และ Dr. Fu Kuo Hsu ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำ

- ผศ.ดร.ศักดิ์ ไตรศักดิ์ และดร.ประเสริฐ คุณคำชู ที่กรุณาช่วยตรวจรายงานและให้คำปรึกษา

- บริษัท ไทยเทคลูมิเนชันไทย จำกัด ที่เอื้อเฟื้อเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง เจ้าหน้าที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้ ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวจันทร์จิรา ทับทิมทอง

นางสาววิวิธยา ทันดวน

1 เมษายน 2537

## สารบัญตาราง

	หน้า	
ตาราง 2.1	แสดงการเปลี่ยนแปลงของ $\alpha_0$ ก่อนและหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °ซ	26
ตาราง 4.1	แสดงผลค่าการลดทอนแสงที่สภาวะต่างๆ	59
ตาราง 4.2	แสดงผลของอุณหภูมิต่อค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง	59
ตาราง 4.3	แสดงผลค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงในสภาวะปกติและในสภาวะที่ทำให้เส้นใยเกิดการโค้งงอ	60
ตาราง 4.4	แสดงผลของค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน	60
ตาราง 4.5	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง	61
ตาราง 4.6	แสดงการวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม.	65
ตาราง 4.7	แสดงการวิเคราะห์รามานสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม	65
ตาราง 4.8	แสดงการวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม.	69
ตาราง 4.7	แสดงการวิเคราะห์รามานสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม	69

## สารบัญรูป

		หน้า
รูป 2.1	แสดงการหักเหของแสงจากตัวกลางต่างชนิด	4
รูป 2.2	แสดงโครงสร้างของเส้นใยนำแสง	5
รูป 2.3	แสดงมุมรับแสงของเส้นใย	6
รูป 2.4	แสดงผลของ NA และขนาดของแกนที่มีผลต่อการเชื่อมโยงแสง	8
รูป 2.5	แสดงภาพตัดขวางของการส่งผ่านแสงตามสายเส้นใย	9
รูป 2.6	แสดงโหมดการเดินทางของแสง	10
รูป 2.7	แสดงลักษณะการเดินทางของแสงในเส้นใยชนิด SI และ GI	13
รูป 2.8	แสดงแผนผังของเครื่อง OTDR	15
รูป 2.9	แสดงสาเหตุต่างๆที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง	17
รูป 2.10	แสดงปัจจัยการสูญเสียสำหรับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก	20
รูป 2.11-2.12	แสดงสเปกตรัมการสูญเสียและปัจจัยการสูญเสียแสงของแกนที่ทำจาก PS และ PMMA ตามลำดับ	22-23
รูป 2.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียการดูดกลืนกับจำนวนคว้นดัมการสิ้นสะท้อน	24
รูป 2.14	แสดงสเปกตรัมการสูญเสียการส่งผ่านแสงก่อนและหลังการให้ความร้อน	26
รูป 2.15-2.16	แสดงค่าการสูญเสียเฉพาะตัวของเส้นใยนำแสงก่อนและหลังการให้ความร้อน	27-28
รูป 2.17	แสดงสเปกตรัมการสูญเสียการส่งผ่านแสงของ MMA-POF และ FMA-POF ก่อนการให้ความร้อน	29
รูป 2.18-2.21	แสดงสเปกตรัมการสูญเสียการส่งผ่านแสงของ MMA-POF และ FMA-POF หลังการให้ความร้อนที่เวลาต่างๆกัน	30-31
รูป 2.22	แสดงสเปกตรัมการสูญเสียการส่งผ่านแสงของ MMA-POF และ FMA-POF หลังการให้ความร้อนที่เวลาเท่ากัน	32
รูป 2.23	แสดง Zisman plot ของ PMMA และ FMA	33
รูป 2.24	แสดงเครื่องมือในการดึงเส้นใย	35
รูป 2.25	แสดงสเปกตรัมการสูญเสียการส่งผ่านแสงของแกนที่ทำจาก	40

	ดีวีเทอเวต PMMA	
รูป 2.26	แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง	42
รูป 3.1	แสดงการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงเข้ากับแหล่งกำเนิด	47
รูป 3.2	แสดงการต่อชุดอุปกรณ์ในการหาค่าการสูญเสียของเส้นใยนำแสง	47
รูป 3.3	แสดงการหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง	49
รูป 3.4	แสดงการหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงในสภาวะที่มีแรงกด	50
รูป 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแรงกดที่มีต่อค่าปริมาณการลดทอนของแสง	62
รูป 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่มีต่อค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง	63
รูป 4.3	กราฟแสดงการกระจายของความสม่ำเสมอในโครงสร้างของเส้นใยนำแสง	64
รูป 4.4	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอรรนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม.	66
รูป 4.5	แสดงรามานสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอรรนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม.	67
รูป 4.6	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอรรนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม.	70
รูป 4.7	แสดงรามานสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอรรนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม.	71
รูป 4.8	แสดงเทอร์โมแกรมที่ได้จากเครื่อง Thermogravimetric Analyser ของเส้นใยพอลิเมอรรนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม.	

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1      บทนำ	1
บทที่ 2      ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเส้นใยนำแสง	4
2.2 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง	6
2.3 ชนิดของเส้นใยนำแสง	11
2.4 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้	14
2.5 สมบัติต่างๆของเส้นใยนำแสง	16
2.6 ปัจจัยการสูญเสียการส่งผ่านแสงของเส้นใยพอลิเมอร์ นำแสง	20
2.7 การวัดค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง	24
2.8 การสูญเสียการส่งผ่านแสง	25
2.9 การสังเคราะห์เส้นใยพอลิเมอร์นำแสง	34
2.10 การประยุกต์ใช้เส้นใยนำแสงในงานด้านการสื่อสาร	42
2.11 การประยุกต์ใช้เส้นใยนอกเหนือจากงานด้านการสื่อสาร	43
บทที่ 3      การดำเนินการวิจัย	44
3.1 สารเคมีที่ใช้	44
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	44
3.3 การดำเนินการวิจัย	45
3.3.1 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพ	45
3.3.2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงเคมี	52
บทที่ 4      ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	55
4.1 ผลการทดลองหาค่าปริมาณการลดทอนและค่าการ	55

	สูญเสียการส่งผ่านแสงที่สภาวะต่างๆกัน	
	4.2 ผลการทดลองหาค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน	57
	4.3 การทดสอบความแข็งแรงดึงของเส้นใยพอลิเมอร์	57
	4.4 การทดสอบความสม่ำเสมอของโครงสร้างภายในเส้นใย พอลิเมอร์นำแสง	58
	4.5 ผลการศึกษาองค์ประกอบภายในเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม.	65
	4.8 ผลการศึกษาองค์ประกอบภายในเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม.	68
บทที่ 5	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปผลการทดลอง	76
	5.2 ข้อเสนอแนะ	78
ภาคผนวก		
เอกสารอ้างอิง		

# บทที่ 1

## บทนำ

การสื่อสารยุคใหม่ที่กำลังมีวิวัฒนาการก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วมากในปัจจุบันได้แก่ การสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง ทั้งนี้เพราะเป็นระบบการสื่อสารที่สามารถควบคุมผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมต่างๆได้ดี และมีข้อได้เปรียบเหนือการสื่อสารโดยใช้เส้นลวดทองแดงเป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลอยู่หลายประการเช่น มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลได้สูงกว่า จึงทำให้เกิดการค้นคว้าพัฒนาเกี่ยวกับระบบการสื่อสารด้วยตัวกลางชนิดนี้อย่างต่อเนื่องและจริงจัง

สถานภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของการสื่อสารด้วยแสงมากที่สุดคือ สถานภาพของตัวกลาง(เส้นใยนำแสง)ที่ใช้สำหรับให้แสงเดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ สามารถแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงได้ตามชนิดของสารไดอิเล็กตริกที่ใช้ในการเตรียมส่วนที่เป็นแกนของเส้นใยนำแสงได้เป็น 3 ประเภท [3] ดังต่อไปนี้

1. เส้นใยนำแสงชนิดแก้วซิลิกา เส้นใยชนิดนี้จะใช้สารไดอิเล็กตริกที่เป็นแก้วซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังอาจใช้สารอื่นเติมลงไปเพื่อทำให้ดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการหรือเป็นการเพิ่มคุณสมบัติที่มีผลต่อการส่งผ่านแสง
2. เส้นใยนำแสงชนิดแก้วหลายชนิดปนกันมักใช้โซดาแคลเซียม แก้วที่มีโบรอน-ซิลิกอนผสมกันแล้วเติมสารตัวเติมประเภทโซเดียมและแคลเซียม
3. เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกมักใช้สารในกลุ่มของซิลิโคนเรซินหรือไวนิลเรซิน เช่น พอลิ(เมทิล เมธาไครเลท)

เส้นใยนำแสงที่ใช้ในการสื่อสารโทรคมนาคมในระยะทางไกลๆ นั้นนิยมใช้เส้นใยนำแสงชนิดแก้ว เนื่องจากมีข้อดี คือ มีการสูญเสียการส่งผ่านแสงต่ำ และสมบัติในการส่งผ่านแสงที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติการส่งผ่านแสงด้อยลงมา มักจะเลือกใช้เส้นใยพอลิเมอร์ นำแสงเพราะการใช้งานสะดวก เช่น สะดวกในเชื่อมต่อเข้าด้วยกันระหว่างเส้นใยนำแสงกับเส้นใยนำแสง หรือระหว่างเส้นใยนำแสงกับแหล่งกำเนิด นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบา แตกหักได้ยาก แม้งอเป็นมุมโค้งมากๆ และทั้งมีราคาถูก

เส้นใยพอลิเมอร์นำแสงได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลดีขึ้นโดยให้มีการสูญเสียการส่งผ่านแสงที่ลดลง โดยทั่วไปแล้วเส้นใยพอลิเมอร์ในเชิงการค้าจะมีค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงประมาณ 200 dB/km. ในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) [10] ต่อมาได้มีการพัฒนาโดยนำสารพอลิ(เมทิล เมธาไครเลต) และพอลิสไตรีนมาเตรียมเป็นแกนของเส้นใยทำให้ค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงต่ำลงมากประมาณคือ 55 dB/km. ที่ความยาวคลื่น 570 nm. และ 114 dB/km. ที่ความยาวคลื่น 670 nm. [10]

## ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

เนื่องจากในปัจจุบันการสื่อสารโทรคมนาคมที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อกิจกรรมต่างๆ ในสังคมมากขึ้นเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงเป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลที่ได้รับการพัฒนาจนมีประสิทธิภาพมาก แต่เนื่องจากราคาของเส้นใยนี้มีราคาแพงและต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศหากสามารถทำการวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงและตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของเส้นใยชนิดนี้ได้จะให้ความรู้เบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางในการสังเคราะห์วัสดุใช้ทำเส้นใยได้ต่อไปโดยอาจส่งผลให้ช่วยลดปริมาณการนำเข้าจากต่างประเทศได้

## วัตถุประสงค์

การทำโครงการพิเศษมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. ศึกษารวบรวมและสรุปข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะ ของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง
2. ทดลอง ทดสอบค่าคุณสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพ (เคมีและฟิสิกส์)

## ของเส้นใย พอลิเมอร์นำแสง

### วิธีดำเนินงานโดยย่อ

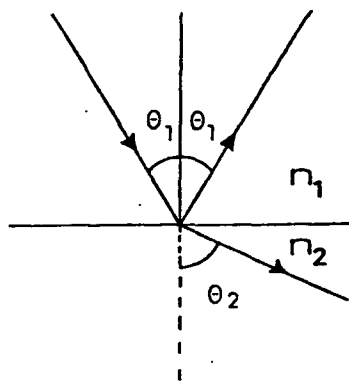
นำเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงตัวอย่างที่ได้รับความเชื่อใจจากบริษัท ไทยเทคคอมมิเนชั่นไทย จำกัด มาทำการวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีเทคนิคทางสเปกโตรสโคปี เช่นฟูเรียรทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี รามานสเปกโตรสโคปี เป็นต้นและวิเคราะห์ทางความร้อน เช่น การทดสอบโดยการวิเคราะห์น้ำหนักด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก ( Thermogravimetric Analysis : TGA ) นอกจากนี้ยังทดสอบสมบัติเชิงกายภาพทางฟิสิกส์ของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงได้แก่การทดสอบประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลโดยนำเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงตัวอย่างมาทำการวัดหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ สภาวะที่มีแรงภายนอกกระทำบนเส้นใย สภาวะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และเมื่อเส้นใยเกิดการโค้งงอในขณะใช้งาน อีกทั้งได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของเส้นใยนั้นโดยวัดขนาดของการเปิดรับแสงและทดสอบสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเมอร์โดยได้ทำการทดสอบความแข็งแรงดึงของเส้นใย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเส้นใยนำแสง

เส้นใยนำแสงคือเส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสงโดยอาศัยหลักการสะท้อนกลับหมดที่ผิวของสารไดอิเล็กตริก 2 ชนิด(สารไดอิเล็กตริก หมายถึงสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้าเช่น แก้ว พลาสติก) เมื่อคลื่นแสงเคลื่อนที่จากสารไดอิเล็กตริกชนิดที่ 1 เข้าสู่สารไดอิเล็กตริกที่ 2 จะเกิดการสะท้อนกลับและหักเห ดังรูป 2.1



รูป 2.1

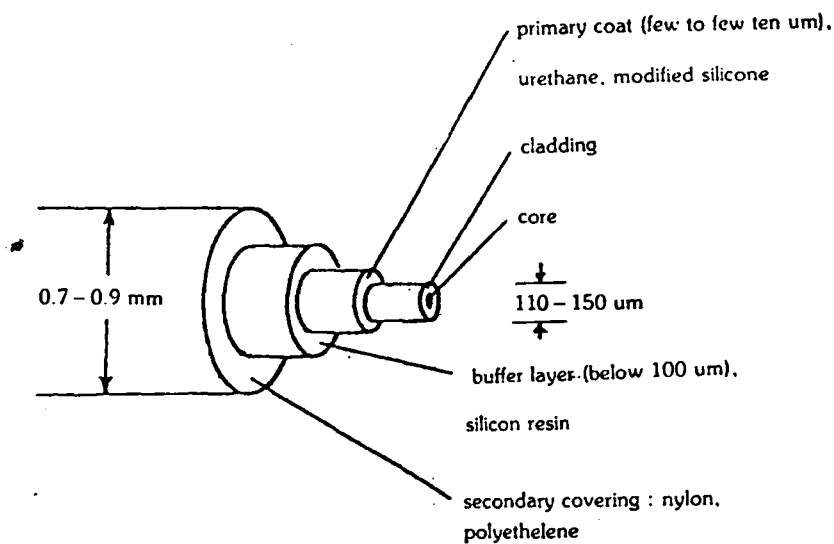
แสดงการหักเหของแสงจากตัวกลางต่างชนิด

โครงสร้างของเส้นใยนำแสงประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า 'แกน' (core) และส่วนที่หุ้มห่อแกนอยู่เรียกว่า 'ครอบ' (clad) ซึ่งจะเป็นตัวจำกัดขอบเขตของแสงให้อยู่ภายในแกน ครอบยังช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ข้ามผ่าน(cross migration) ของสารเสริมความอ่อนตัว (plasticizer) เนื่องจาก

จากค่าสัมประสิทธิ์การละลาย (Solubility Parameter(SP)) ของวัสดุที่ใช้ทำเป็นครอบบมีค่าน้อยกว่า สารเสริมความอ่อนตัว นอกจากนี้ครอบบยังช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงให้แก่เส้นใยด้วย โดยดัชนีการหักเหของครอบบต้องมีค่าน้อยกว่าดัชนีการหักเหของแกนเล็กน้อย เพื่อที่เมื่อลำแสงใดๆที่ไปกระทบบริเวณรอบๆแกนและครอบบเกินมุมวิกฤตจะถูกทำให้สะท้อนภายใน ซึ่งการเกิดการสะท้อนกลับหมดได้จะต้องมีเงื่อนไข 2 ประการคือ

1.  $n_1 > n_2$  เมื่อ  $n_1$  และ  $n_2$  เป็นค่าดัชนีการหักเหของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 ตามลำดับ

2. มุมตกกระทบจะต้องเท่ากับหรือใหญ่กว่ามุมวิกฤตหรือ  $\theta > \theta_c = \sin^{-1}(n_1/n_2)$  ในกรณีที่แกนและครอบบของเส้นใยนำแสงทำด้วยแก้วซิลิกาที่บริสุทธิ์มากๆ เมื่อถูกยึดเป็นเส้นใยเล็กๆจะทำให้เกิดความเปราะจึงแก้ปัญหาโดยการหุ้มเส้นใยด้วยชั้นต่างๆ ดังรูป 2.2 เพื่อทำหน้าที่เป็นกันชนคอยสกัดกั้นแรงจากภายนอกไม่ให้กระทำบนเส้นใยโดยตรง



รูป 2.2

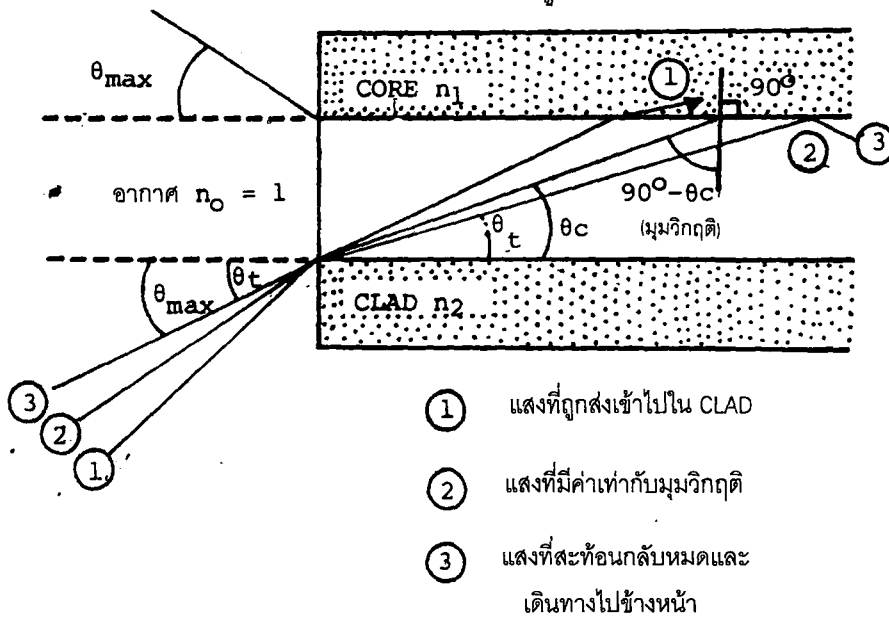
แสดงโครงสร้างของเส้นใยนำแสง

### ลักษณะพิเศษของเส้นใยนำแสง

1. สายเส้นใยนำแสงมีค่าการสูญเสียต่ำ
2. มีความกว้างของแบนด์วิดท์ (bandwidth) กว้าง
3. ไม่มีสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า คือคลื่นจากแหล่งอื่นไม่สามารถเข้าไปในเส้นใยจึงมีสิ่งรบกวนได้ต่ำ
4. มีขนาดเล็กแต่มีความสามารถในการบรรจุข้อมูลของระบบได้สูง นั่นคือ เส้นใยนำแสงจะมีปริมาณช่องสัญญาณที่สามารถส่งได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดสูง
5. มีความสามารถในการทนทานต่อความร้อนและสารเคมีได้สูง
6. มีความยืดหยุ่นสูงจึงสามารถโค้งงอได้มาก
7. มีน้ำหนักเบาจึงง่ายต่อการติดตั้งและเชื่อมโยง

### 2.2 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง

ในการที่จะป้อนแสง เข้าไปในแกนที่มีขนาดเล็กมากนั้น ต้องใช้เลนส์ซึ่งแสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงสามารถเข้าไปในเส้นใยแสงได้ ดังรูป 2.3



รูป 2.3

แสดงมุมรับแสงของเส้นใยนำแสง

จากรูป จะเห็นว่าที่จุดบิอนแสงของเส้นใยนำแสงจะเป็นจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิดคือ อากาศ  $n_0(n_0 = 1)$  แกน  $n_1$  และ ครอบ  $n_2$  ซึ่งจะเกิดการสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับแกน และแกนกับครอบ ถ้าให้มุมรับแสงของเส้นใยนำแสงมีค่ามากที่สุดเป็น  $\theta_{max}$  เช่น ลำแสง 2 มุมรับแสงตรงรอยต่อของแกน และครอบนั้นมีค่าเป็นมุมวิกฤติ  $\theta_c$  จากกฎของ SNELL [ 3 ] ได้ว่า

$$\sin\theta_{max} = n_1 \sin\theta_c \quad (1)$$

$$\sin(90 - \theta_c) = \cos\theta_c = n_2/n_1 \quad (2)$$

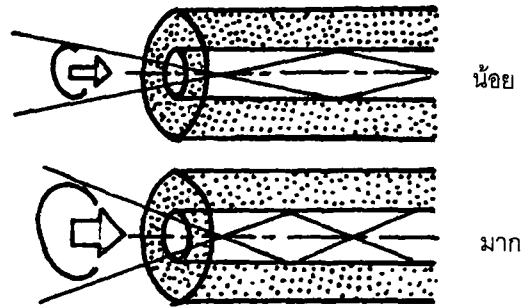
ดังนั้น กรณีที่มุมรับแสง  $\theta_{max}$  มีค่าสูงสุดได้ต่อเมื่อ  $n_1 = n_2$  จะได้ว่า

$$\sin\theta_{max} = (n_1^2 - n_2^2) / n_1^2 = n_1 \Delta \quad (3)$$

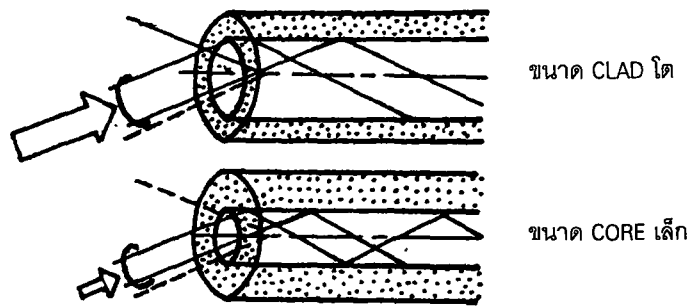
เมื่อ  $\Delta$  คืออัตราส่วนของของผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง

$$\text{และ } \Delta = (n_1 - n_2) / n_1 \quad (4)$$

สำหรับ  $\sin\theta_{max}$  เรียกว่า NUMERICAL APERTURE (NA) หมายถึง ขนาดของการเปิดรับให้ส่งผ่านโดยใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขการบิอนแสงเข้าไปในเส้นใย นอกจากนี้ยังถือเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่ผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสงด้วย พบว่าถ้าขนาดของแกนและ NA มีค่าคงที่แล้วจะกำหนดปริมาณของแสงที่บิอนเข้าไปในเส้นใยได้ทันที เส้นใยที่มีแกนขนาดใหญ่และมีค่า NA สูงจะมีประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสงได้สูงมาก [3]



กรณีขนาด CORE ใดเท่ากันแต่ค่า NA ต่างกัน



กรณีที่ NA เท่ากันแต่ขนาด CORE ต่างกัน

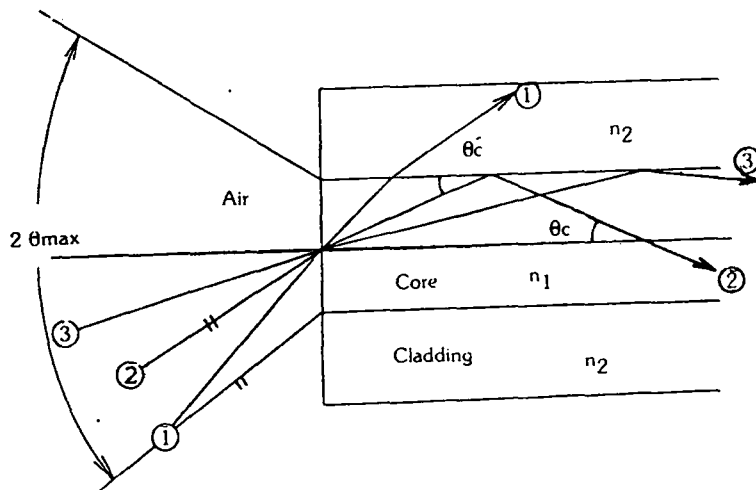
รูป 2.4

แสดงผลของ NA และขนาดของแกนที่มีต่อประสิทธิภาพ  
การเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสง

### การส่งผ่านของแสงตามสายเส้นใยนำแสง

เส้นใยนำแสงโดยทั่วไปบริเวณตรงกลางจะเป็นวัสดุที่มีสมบัติแบบสารไดอิเล็กตริกซึ่งมีค่าดัชนีการหักเหสูงกว่าบริเวณรอบๆ ดังนั้นเมื่อส่งคลื่นแสงเข้าทางปลายด้านหนึ่งในระนาบเดียวกันกับ

ภาพตัดขวางดังรูป 2.5 ถ้าคลื่นแสงเคลื่อนที่กระทบผิวขอบเขตด้วยมุมตกกระทบที่ใหญ่กว่า  $\theta_c$  คลื่นนั้นก็จะสะท้อนกลับออกไปหมดได้ และหลังจากสะท้อนที่ผิวด้านบนก็จะมาสะท้อนที่ผิวด้านล่างสลับกันไปซึ่งทำให้คลื่นแสงสามารถส่งผ่านไปตามสายเส้นใยนำแสงได้ สำหรับมุม  $\theta_c$  ในรูปแสดงถึงมุมร่วมของมุมวิกฤติ นั่นคือ  $\theta_c = 90 - \theta_c$  ลำแสง 1 เข้ามาด้วยมุมตกกระทบเล็กกว่า  $\theta_c$  ทำให้เกิดการสะท้อนและการหักเหเข้าตัวกลางรอบนอก นั่นคือคลื่นแสงสูญเสียพลังงานทุกครั้งที่สะท้อนที่ผิวด้านบนและเมื่อสะท้อนที่ผิวด้านล่างสลับกันไปหลายๆ ครั้ง พลังงานของคลื่นแสงที่ส่งผ่านไปตามสายเส้นใยนำแสงก็จะลดทอนลงจนเป็นศูนย์ในที่สุด ลำแสงที่ 2 เป็นลำแสงที่สะท้อนในมุมวิกฤติพอดีแสงจึงสามารถส่งผ่านไปตามสายเส้นใยนำแสงได้โดยไม่สูญเสียกำลังไปกับการหักเหออกไปยังสารไดอิเล็กตริกกรอบนอก ลำแสง 3 เป็นลำแสงที่สะท้อนด้วยมุมตกกระทบที่ใหญ่กว่า  $\theta_c$  จึงสามารถส่งผ่านแสงไปตามเส้นใยได้เช่นเดียวกัน

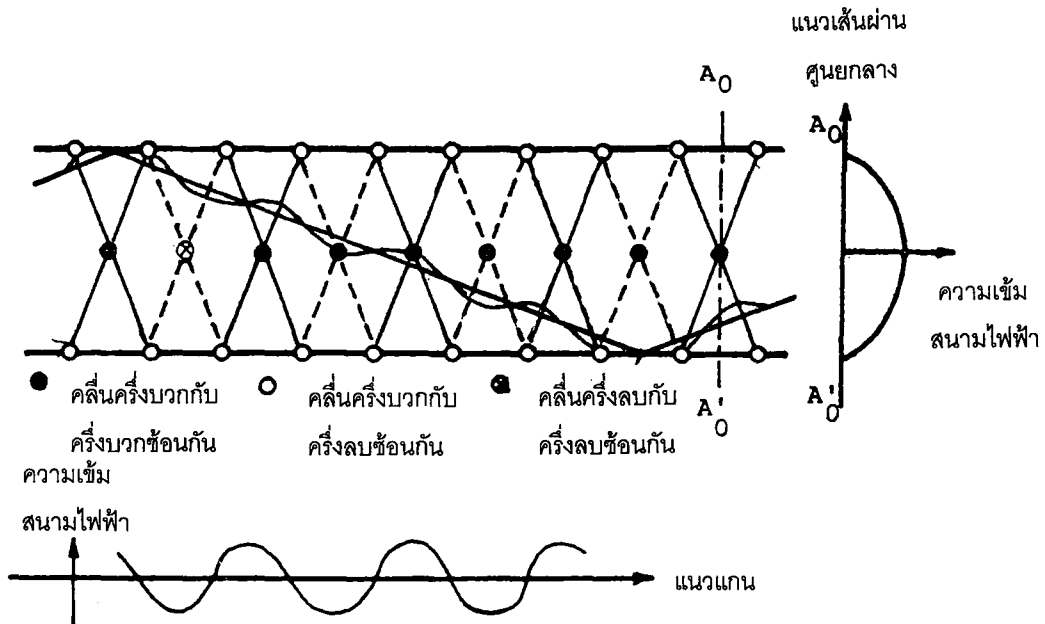


รูป 2. 5

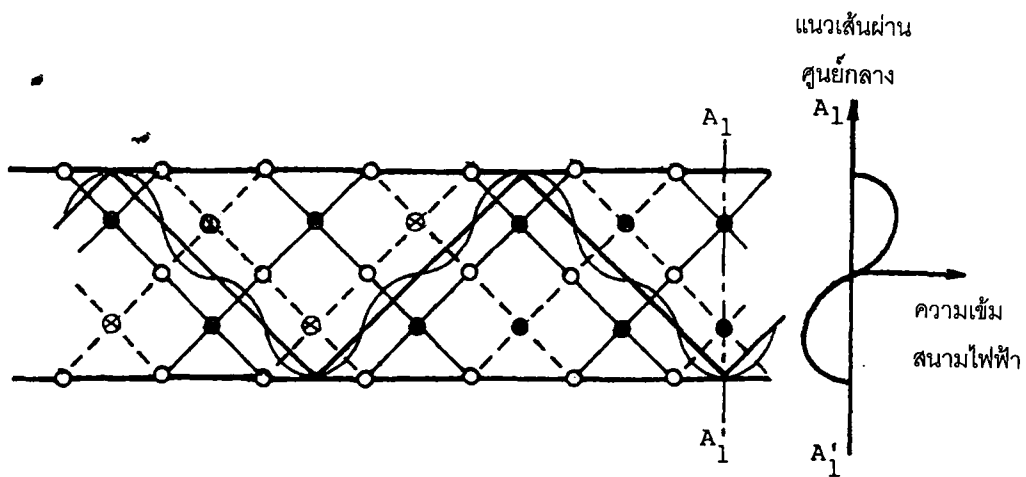
ภาพตัดขวางแสดงการส่งผ่านของแสงตามสายเส้นใยนำแสง

แบบการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง ( PROPAGATION MODE )

ลำแสงที่ส่งผ่านเข้าไปในเส้นใยด้วยค่าของมุมรับแสงที่อยู่ในช่วงของมุมรับแสงสูงสุดจะเดินทางไปในเส้นใยด้วยลักษณะที่เกิดการสะท้อนกลับไปกลับมาตรงรอยต่อของแกนกับครอบ พร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปข้างหน้าไปในขณะเดียวกันด้วย



PROPAGATION MODE 0-ORDER



PROPAGATION MODE 1-ORDER

รูป 2.6

แสดงแบบการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง

จากรูป 2.6 เป็นการแสดงการสอดแทรกของแสงที่มีมุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษ ทำให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป  $180^\circ$  และ  $360^\circ$  ในทิศทางของรัศมี ลักษณะการเดินทางของแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าเป็นพิเศษเฉพาะภายในแกนของเส้นใยนี้เรียกว่า PROPAGATION MODE จำนวนแบบการเดินทางภายในเส้นใยนำแสงสามารถหาได้จากแบบที่สูงที่สุดของการเดินทางของแสงซึ่งเป็นแบบที่มีมุมสะท้อนกลับใกล้เคียงกับมุมวิกฤติ ถ้ากำหนดให้จำนวนแบบการเดินทางของแสง ( N ) มีค่ามุมสะท้อนกลับเท่ากับมุมวิกฤติ  $\theta_c$  ดังนั้นจำนวนแบบการเดินทางของแสงจึงมีค่าเป็น

$$N < 4a / \lambda \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (5)$$

เมื่อ a เป็นรัศมีของเส้นใย

เส้นใยที่มีจำนวนแบบการเดินทางของแสงสูงเรียกว่า เส้นใยชนิดหลายแบบ ( MULTI-MODE ) ซึ่งเกิดในกรณีที่สารไดอิเล็กตริกด้านในมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นมากๆ ส่วนเส้นใยที่มีจำนวนแบบการเดินทางของแสงเท่ากับ 1 เรียกว่าเส้นใยชนิดแบบเดียว ( SINGLE-MODE ) หมายความว่า มีแบบการเดินทางของแสงเพียงความยาวคลื่นเดียวเท่านั้นที่เดินทางเข้าไปในเส้นใยได้

## 2.3 ชนิดของเส้นใยนำแสง

### 2.3.1 แบ่งตามจำนวนโหมดการเดินทางของแสง

#### เส้นใยชนิดแบบเดียว (single-mode fiber)

เส้นใยชนิดนี้ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนประมาณ 8-10  $\mu\text{m}$ . มีขนาดเล็กเพียงพอที่จะยอมให้มีการนำแสงผ่านได้เพียงแบบเดียว (one mode) โดยจะกำจัดเอาแบบการเดินทางของแสงชนิดหลายแบบซึ่งอาจเกิดการผ่านมาในเส้นใยเส้นเดียวกัน ดังนั้นเส้นใยเส้นนี้จึงมีความกว้างของแบนด์วิดท์ (bandwidth) กว้าง และจะพยายามให้เกิดการสูญเสียจากการสอดแทรกน้อยที่สุดซึ่งเพียงพอต่อการเกิดการส่งผ่านสัญญาณได้ในระยะทางไกลๆ ดังนั้นจึงนำเอาลักษณะเด่นของเส้นใยชนิดนี้มาใช้สำหรับการสื่อสารที่ต้องการให้เกิดการส่งผ่านข้อมูลในระยะทางไกลๆ

### เส้นใยชนิดหลายแบบ (multimode fiber)

เส้นใยชนิดนี้มีขนาดของแกนที่ใหญ่กว่า โดยแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ได้แก่ light emission diode (LEDs) เส้นใยนำแสงชนิดนี้มักถูกจะนำไปใช้ในการส่งผ่านข้อมูลในระยะทางใกล้ๆ

เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก ที่ใช้ประโยชน์ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางช่วง 250 - 1000  $\mu\text{m}$ . มักนำไปใช้งานที่มีอัตราเร็วต่ำและส่งข้อมูลในระยะทางใกล้ๆได้แก่ ใช้ในการเชื่อมโยงเครือข่ายระยะใกล้ (LAN) ใช้ส่งโทรเลข ใช้ในโรงงานที่มีระบบอัตโนมัติ และในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์

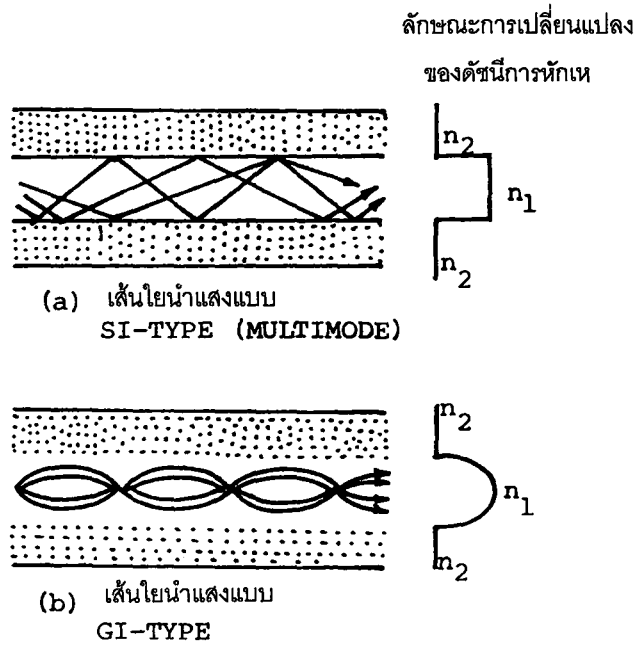
### 2.3.2 แบ่งตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห

#### Step index optical fibre (SI-fibre)

เป็นเส้นใยนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างแกนกับครอบเป็นลักษณะขั้นบันได (step)

#### Graded index optical fibre (GI fibre)

เป็นเส้นใยนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างแกนกับครอบค่อยๆลดลงทีละน้อย คือจะมีการกระจายในรูประฆังคว่ำ และมักมีสมบัติดีกว่าแบบ SI



รูป 2.7

แสดงลักษณะการเดินทางของแสงในแกนของเส้นใยนำแสงชนิด SI - fibre และ GI -fibre ตามลำดับ

### 2.3.3 แบ่งตามชนิดของสารไดอิเล็กตริกที่ใช้

#### เส้นใยนำแสงชนิดแก้วซิลิกา(silica glass optic fibre)

ใช้สารไดอิเล็กตริกที่ใช้นอกจากซิลิกาบริสุทธิ์( $\text{SiO}_2$ )เป็นส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมลงไปเพื่อทำให้ค่าดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการเช่น เจอร์มาเนียม (Germanium) โบรอน (Boron) ฟลูออไรด์ (Fluoride) [ ]เส้นใยชนิดนี้มักใช้ในการสื่อสารโทรคมนาคมเพราะมีค่าการสูญเสียแสงต่ำและมีคุณสมบัติการส่งที่แน่นอน

#### เส้นใยนำแสงชนิดแก้วหลายชนิดปนกัน (multi component glass fibre)

วัสดุที่ใช้ทำเส้นใยนี้ได้แก่ แก้วที่มีโบรอน-ซิลิกอนผสมกันแล้วเติมสารตัวเติมประเภทโซเดียมและแคลเซียม (โซดาแคลเซียม)

## เส้นใยชนิดพลาสติก (Plastic Optical Fibre (POF) )

พอลิเมอร์ที่ใช้เตรียมเส้นใยเช่น พอลิเมอร์กลุ่มซิลิโคนเรซิน (silicone resin) หรือไวนิลเรซิน (vinyl resin) เช่น พอลิ(เมทิล เมธาไครเลต) (PMMA) เป็นต้น

### 2.4 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

#### เคเบิล

ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และระบบเชื่อมโยงเครือข่ายระยะใกล้ (LAN) โดยการฝังเส้นใยในเทอร์โมพลาสติก

#### ตัวเชื่อมต่อ (connectors)

ใช้ในการเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงกับเครื่องมือหรือเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง 2 เส้นเข้าด้วยกัน โดยแกนของเส้นใยเส้นหนึ่งจะต่อกันแนบชิดกันมากที่สุดเท่าที่สามารถทำได้กับแกนของอีกเส้นใยหนึ่ง วิธีในการเชื่อมต่อเส้นใยเข้าด้วยกันมี 3 วิธีได้แก่ (1) butt joint เป็นวิธีที่เป็นแบบธรรมดาที่สุด (2) fusion splice ใช้สำหรับการซ่อมแซมเส้นใยเมื่อมีการหักโดยอุบัติเหตุขึ้นโดยใช้ electric arc บริเวณส่วนปลายซึ่งจะหลอมตรงแกน ในระหว่างกระบวนการนี้เส้นใยจะถูกกดเบาๆ เข้าด้วยกัน และ (3) miniature optics connector

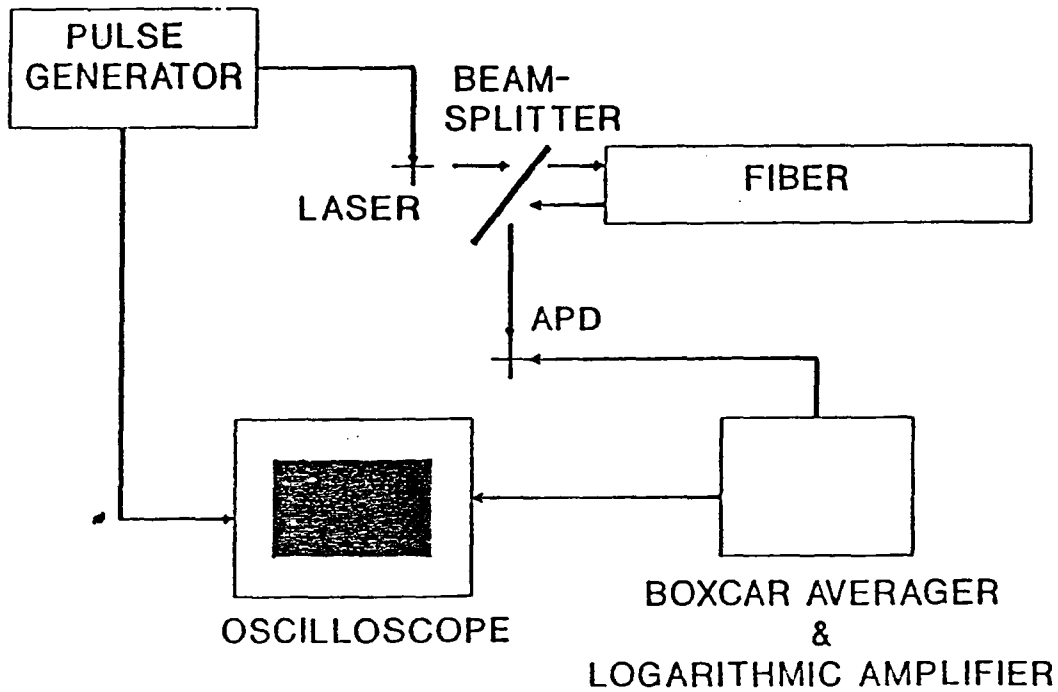
หลักสำคัญในการพิจารณาเลือกตัวเชื่อมต่อ คือ

1. มีการสูญเสียจากการสอดแทรกและสะท้อนกลับของสัญญาณน้อยที่สุด นั่นคือปริมาณพลังงานแสงที่สูญหายไปเมื่อเส้นใย 2 เส้นมาเชื่อมต่อกันและความเข้มแสงที่สะท้อนกลับจากการเชื่อมต่อควรมีค่าน้อยที่สุด
2. มีความสามารถในการเข้ากันได้กับสิ่งที่เชื่อมต่อ
3. มีราคาถูก

ตัวเชื่อมต่อที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ferrule แต่ถ้าเป็นงานที่ต้องการความแม่นยำสูงจะใช้ ceramic ferrule ซึ่งจะทำให้เกิดคุณสมบัติที่ดีทางความร้อนและทางเชิงกลอีกด้วย

### Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการสูญเสียจากการเชื่อมต่อและการสูญเสียทั้งหมดตามความยาวของเส้นใยแสง เลเซอร์จะส่งผ่านตัวแยกลำแสง แสงที่สะท้อนจากปลายทั้งสองของเส้นใยจะถูกส่งผ่านตัวแยกลำแสงตัวเดิมไปยัง avalanche photodiode diode (APD) ซึ่งจะตรวจจับสัญญาณแสง และผลทางสัญญาณไฟฟ้าก็จะถูกขยายออกมาและต่อเข้ากับทางด้านเข้าของ oscilloscope laser จะถูกทำให้สั้นและสัญญาณจาก pulse generator จะทำหน้าที่ใช้สัญญาณกับ oscilloscope



รูป 2.8 แสดงแผนผังของ OTDR

## เครื่องตรวจจับสัญญาณ (Detector)

เลเซอร์และLEDs ถูกนำมาใช้ในทางโทรคมนาคมเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีความไวสูง เครื่องตรวจจับสัญญาณที่ทำมาจากซิลิคอนจะสามารถวัดได้ในช่วงความยาวคลื่นดีในช่วงความยาวคลื่น 600-1000 nm. ส่วนที่ทำจากเจอร์มาเนียมและอินเดียม-แกลเลียมอาร์ซีไนด์ สามารถวัดได้ในช่วงความยาวคลื่น 1300-1700 nm.

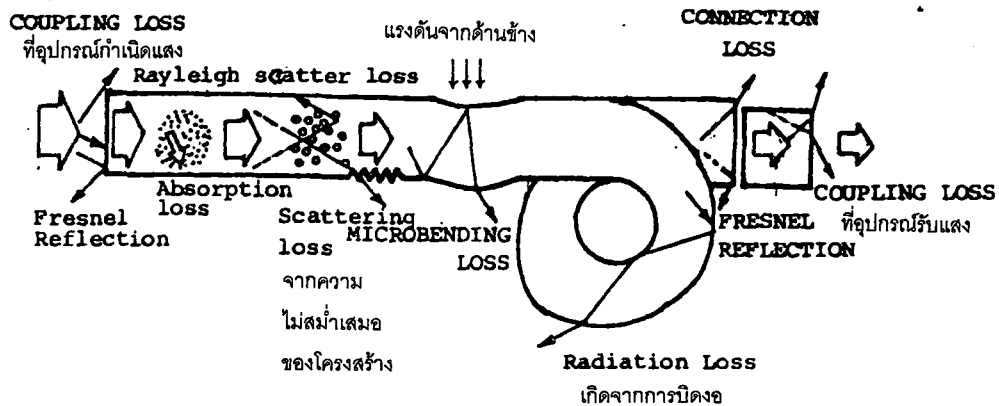
### 2.5 สมบัติต่างๆ ของเส้นใยนำแสง

องค์ประกอบพื้นฐานที่กำหนดโครงสร้างของเส้นใยนำแสงได้แก่ (1) เส้นผ่านศูนย์กลางของแกน (2) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (รวมครอบ) (3) NA และอื่นๆ ตัวแปรทางโครงสร้างเหล่านี้นอกจากจะมีผลต่อการสูญเสียแสง ความกว้างของแถบการส่งผ่าน และความแข็งแรงทางเชิงกลแล้วยังมีผลที่สำคัญสำหรับการเชื่อมต่อของเส้นใยนำแสงกับเส้นใยนำแสงหรือการเชื่อมต่อของเส้นใยแสงกับอุปกรณ์แสงอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีตัวแปรประกอบทางโครงสร้างเพิ่มเติมอีกได้แก่ เปอร์เซ็นต์การส่งคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลาง(eccentricity) อัตราความเพี้ยนของวงกลม (non-circular rate) ตัวแปรเหล่านี้ไม่มีผลทางด้านคุณสมบัติการส่งแต่จะมีผลอย่างมากต่อการสูญเสียของการเชื่อมต่อของเส้นใย

#### 2.5.1 การสูญเสียแสงในเส้นใยนำแสง

เป็นตัวบอกให้ทราบว่ากำลังของแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแสงนั้นลดลงไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งถ้าการสูญเสียแสงมีค่าต่ำก็จะสามารถส่งสัญญาณแสงได้มาก

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูป 2.9

แสดงสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง

การสูญเสียแสงสามารถแบ่งออกตามความแตกต่างของโครงสร้างที่เกิดขึ้น เป็นการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวเส้นใยเอง (fixed loss) และการสูญเสียแสงที่มีเพิ่มขึ้นมา (addition loss)

## 1. การสูญเสียที่มีอยู่ในตัวเส้นใยเอง (fixed loss)

### 1.1 การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดกลืนแสง (Absorption Loss)

เป็นตัวดูดกลืนแสงที่เดินทางผ่านในเส้นใยแล้วเปลี่ยนเป็นการสูญเสียทางความร้อน ในช่วงแรกพบว่าสารที่เจือปนอยู่ในเส้นใยเป็นไอออนของโลหะต่างๆ ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาขึ้นสามารถกำจัดไอออนของโลหะไปได้แต่ยังมีสารอื่นที่เจือปนอยู่ซึ่งเป็นพวกไฮดรอกซิลไอออนเป็นการสูญเสียแสงเนื่องจากสารที่ใช้ผลิตเส้นใยและสารที่เจือปนอยู่ (OH<sup>-</sup>) [3]

## 1.2 การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงแบบเรลีย์ (Rayleigh Scattering Loss)

เกิดขึ้นเมื่อแสงไปกระทบกับวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น แล้วทำให้แสงนั้นกระจายออกไปในทิศทางต่างๆ มักเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนการผลิตโดยมีการให้ความร้อนประมาณ 2000 °ซ แก่แท่งแก้ว ดึงให้เป็นเส้นใยขนาดเล็ก และในขั้นตอนนี้ต้องทำให้เส้นใยแสงที่มีอุณหภูมิจาก 2000 °ซ ไปเป็นอุณหภูมิประมาณ 20 °ซ อย่างรวดเร็ว ซึ่งการทำเช่นนั้นจะทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นที่เกิดขึ้น นั่นคือจะทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของค่าดัชนีการหักเห นอกจากนี้ขนาดของการกระจัดกระจายแสงแบบเรลีย์ยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิในตอนที่ทำการดึงแท่งแก้ว ดังนั้นถ้าหากสามารถทำให้อุณหภูมิต่ำลงค่าการสูญเสียชนิดนี้จะลดน้อยลง[3]

## 1.3 การสูญเสียจากการกระจัดกระจายแสงอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างเส้นใย (Uniformity Loss)

ในการสร้างเส้นใยจะไม่สามารถทำให้เส้นใยมีลักษณะกลมได้ 100% โดยเฉพาะตรงบริเวณรอยต่อของแกนกับครอบนั้นจะมีความสม่ำเสมอไม่ตลอดทั่วทั้งเส้นใยทำให้เกิดการกระจายของแสง แสงบางส่วนจึงไม่สามารถเดินทางไปในแกนได้แต่กลับกระจายออกไปข้างนอกจากรอยต่อที่ไม่เรียบสม่ำเสมอนี้จะทำให้แสงที่เดินทางเกิดการสะท้อนกลับอย่างไม่มีทิศทางจึงเกิดการสูญเสียแสงเพิ่มขึ้น

## 2. การสูญเสียแสงที่เพิ่มขึ้นมา (Addition Loss)

### 2.1 การสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการโค้งงอของเส้นใยนำแสง (Bending Loss)

เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยแสงถูกทำให้โค้งงอ ถ้าแสงมีมุมโค้งงอมากกว่ามุมวิกฤติแล้วแสงจะกระจายออกไปนอกแกนทำให้การสูญเสียแสงเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงจะต้องระมัดระวังอย่าให้เกิดการโค้งงอที่มีรัศมีเกินกว่ารัศมีที่ยอมให้โค้งงอได้

## 2.2 การสูญเสียที่เกิดจากการโค้งงอแบบ Micro Bending (Micro Bending Loss)

เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการที่มีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากระทำต่อด้านในของเส้นใยนำแสง ทำให้แกนของเส้นใยนำแสงบิดงอไปเล็กน้อยจึงเกิดการสูญเสียแสงเพิ่มขึ้น เหตุนี้จึงต้องมีการออกแบบโครงสร้างของเส้นใยนำแสงให้มีชั้นต่างๆหุ้มเส้นใยเพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันแรงที่มากกระทำต่อเส้นใย

## 2.3 การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสง (Connection Loss)

เกิดจากการที่แกนของเส้นใยสองเส้นต่อกันอย่างไม่สมบูรณ์หรือเกิดการคลาดเคลื่อนของแกนทำให้แสงบางส่วนที่ออกจากแกนด้านหนึ่งไม่เข้าไปในแกนอีกด้านหนึ่ง แต่จะกระจายออกไปข้างนอกทำให้เกิดการสูญเสียหรือในกรณีที่บริเวณการต่อนั้นเกิดช่องว่างเพียงเล็กน้อยก็ จะทำให้เกิดการสูญเสียจากการสะท้อนกลับ ถ้าหากช่องว่างโตมากขึ้นกว่านี้จะเกิดการสะท้อนกลับที่เรียกว่า Fresnel Reflection

## 2.4 การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสงกับอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง (Coupling Loss)

เนื่องจากแสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงมีความกว้างของลำแสงที่ปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสงต่างกัน แม้ใช้เลนส์รวมแสงก็ไม่สามารถทำให้ปริมาณแสงเข้าไปในเส้นใยได้ทั้งหมด นอกจากนี้ขนาดและชนิดของเส้นใยก็มีผลต่อความสามารถในการป้อนแสงเข้าไปและขนาดของลำแสงที่ออกมา

ส่วนการสูญเสียการเชื่อมต่อแสงระหว่างเส้นใยนำแสงกับอุปกรณ์รับแสงนั้น แสงที่ออกจากเส้นใยแสงแบบ Graded Index จะมีลำแสงกว้างกว่าลำแสงที่ออกจากเส้นใยแสงแบบ Step Index ทำให้การสูญเสียแสงมีมากกว่า

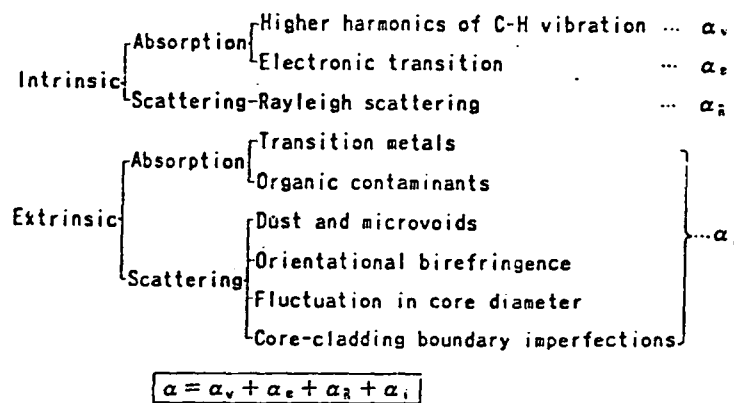
## 2.5.2 ความแข็งแรงทางเชิงกลของเส้นใยนำแสง

ความแข็งแรงทางเชิงกลของเส้นใยนำแสงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำไปใช้งานในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) โดยทั่วไปความแข็งแรงดึงของเส้นใยนำแสงที่ทำด้วยแก้วจะมีค่าสูงประมาณ 300 kg./mm<sup>2</sup> แต่ถ้าหากมีรอยขีดข่วนที่ผิวของเส้นใยก็จะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำลง นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าหากนำเส้นใยนำแสงลงไปแช่น้ำจะทำให้ความแข็งแรงในการดึงลดลง สาเหตุเนื่องจากน้ำจะไปทำให้แรงเกาะกันระหว่างอะตอมของเส้นใยนำแสงอ่อนตัวลง ด้วยเหตุนี้ในสภาพการใช้งานจริงจำเป็นต้องระวังอย่าให้เส้นใยนำแสงสัมผัสน้ำอย่างเด็ดขาด

การทดสอบเพื่อกำจัดรอยขีดข่วนและรักษาสภาพความแข็งแรงของเส้นใยนำแสงเรียกว่า "SCREENING TEST" ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบโดยการป้อนแรงดึงให้แก่เส้นใยนำแสงเพื่อตัดส่วนที่ไม่แข็งแรงอันเนื่องมาจากรอยขีดข่วนและอื่นๆ ออกไป

## 2.6 ปัจจัยการสูญเสียการส่งผ่านแสง (loss factor) ของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก (POFs)

ปัจจัยการสูญเสียสำหรับ POFs ได้แสดงดังรูป



รูป 2.10

แสดงปัจจัยการสูญเสียสำหรับ POFs

$$\text{ปัจจัยการสูญเสีย} = \alpha_e + \alpha_v + \alpha_R + \alpha_i$$

- $\alpha_e$  คือ ค่าการสูญเสียการดูดกลืนอิเล็กตรอนิกทรานซิชัน (electronic transition) ของพันธะเคมีในพอลิเมอร์ที่ใช้ทำแกน
- $\alpha_v$  คือ ค่าการสูญเสียการดูดกลืนของฮาร์โมนิกที่สูงกว่า (higher harmonic) ของการสั่นสะเทือนของหมู่ฟังก์ชัน CH
- $\alpha_R$  คือ ค่าการสูญเสียการกระเจิงแบบเรย์ เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงของความหนา และค่าดัชนีการหักเหของพอลิเมอร์ที่ใช้ทำแกน
- $\alpha_i$  คือ ค่าการสูญเสียการกระเจิงอันเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ในโครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกเนื่องจากฝุ่นละอองและสิ่งเจือปนเล็กๆ

แต่ค่าปัจจัยการสูญเสียของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก สามารถคำนวณได้ดังนี้

- $\alpha_e$  และ  $\alpha_v$  สามารถคำนวณได้จากค่าการดูดกลืนของแผ่นพอลิเมอร์หนา 1.5 มม. ที่มีองค์ประกอบเหมือนกับแกนโดยใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ดังนั้น  $\alpha_e$  ที่ความยาวคลื่นใดๆ สามารถหาได้โดย

$$\alpha_e = A_0 \exp ( B_0 / \lambda )$$

เมื่อ  $A_0$  และ  $B_0$  เป็นค่าคงที่ของแต่ละวัสดุโดยพิจารณาจากสเปกตรัมการดูดกลืนค่า  $\alpha_e$  นี้เป็นปัจจัยหลักของการเพิ่มขึ้นของค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง

- $\alpha_v$  จะพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าลอการิทึมของ  $\alpha_v (n)$  ซึ่งคือ ค่าการสูญเสียของฮาร์โมนิกที่สูงกว่าของลำดับที่  $n$  และจำนวนคว้นตัม  $n$  ของการสั่นสะเทือนของโมเลกุล ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

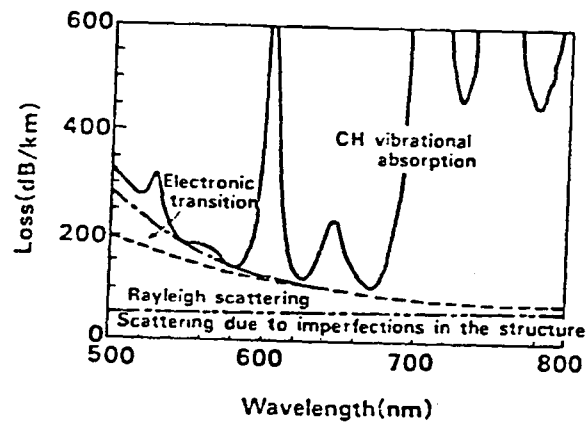
$$\log [ \alpha_v (n) ] = p * n + q$$

เมื่อ  $p$  และ  $q$  คือค่าคงที่ของแต่ละวัสดุโดยพิจารณาจากสเปกตรัมการดูดกลืน

- $\alpha_R$  สามารถคำนวณได้จาก ค่าความขุ่น ( $\tau$ ) ที่ความยาวคลื่น 633 nm. โดยใช้เครื่องวัดการกระเจิงของแสง โดย

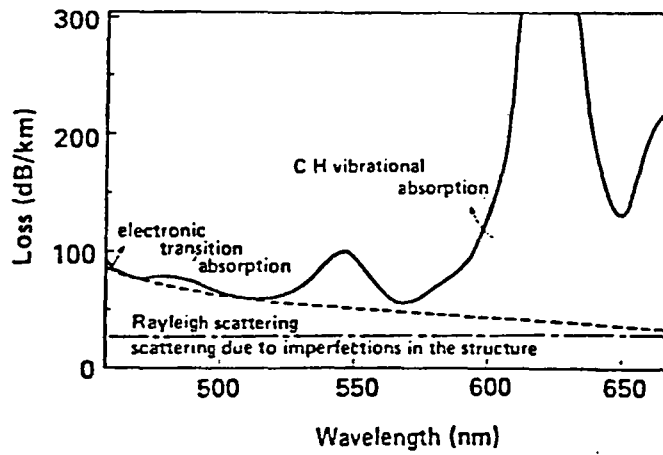
$$\alpha_R = 4.342 * 10^2 * \tau$$

จากปัจจัยการสูญเสียทั้งหมดที่กล่าวมานี้พบว่า ปัจจัยหลักในการเพิ่มค่าการสูญเสียแสง และทำให้เกิดการสลายตัวโดยความร้อนของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก คือ การเพิ่มขึ้นของค่าการสูญเสียการดูดกลืนอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิชัน ( $\alpha_e$ ) ของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก



รูป 2.11

แสดงสเปกตรัมการสูญเสียและปัจจัยการสูญเสียของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกนทำจากพอลิสไตรีน



รูป 2.12

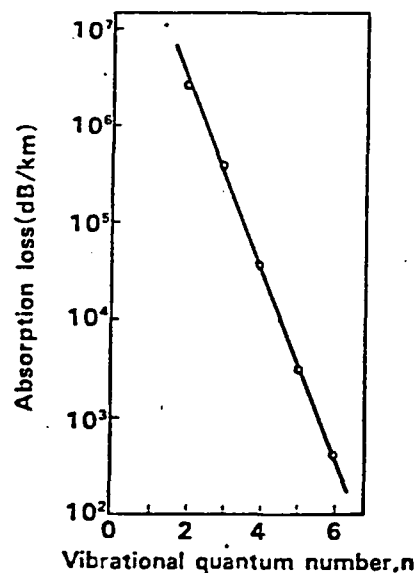
แสดงสเปกตรัมการสูญเสียและปัจจัยการสูญเสีย  
ของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกนทำจากพอลิ(เมทิล เมธาไครเลต)

ค่าอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิชัน ( $\alpha_e$ ) ที่ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ต่างๆ สำหรับ พอลิ(เมทิล เมธาไครเลต) และ พอลิสไตรีน แสดงดังสมการ (6) และ (7) ตามลำดับ

$$\alpha_e \text{ (PMMA)} = 1.58 \cdot 10^{12} \exp [ (1.15 \cdot 10^4) / \lambda ] \quad (6)$$

$$\alpha_e \text{ (PS)} = 1.10 \cdot 10^5 \exp [ (8.0 \cdot 10^3) / \lambda ] \quad (7)$$

ค่าการสูญเสียภายใน  $\alpha_e$ ,  $\alpha_R$  มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่นมากกว่า 700 nm. หรืออีกนัยหนึ่งการสั่นสะเทือนของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอน-ไฮโดรเจน จะก่อให้เกิดการสูญเสียการดูดกลืนคลื่นแสงของพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากฮาร์มอนิกที่สูงของการดูดกลืนการสั่นสะเทือนของอินฟราเรด โดยเฉพาะในช่วงความยาวคลื่นที่มากกว่า เช่น อินฟราเรดใกล้ (near infrared)



รูป 2.13

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสีย  
การดูดกลืนกับค่าจำนวนควันตัมการสั่นสะเทือน

## 2.7 การวัดค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง [11]

ค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงมีค่าต่ำในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) เมื่อให้ความร้อนสูงในระยะเวลานานขึ้นค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงจะค่อยๆ สูงขึ้น พอลิเมอร์ในส่วนแกนที่ได้รับความร้อนอาจเกิดการสลายโครงสร้างเคมีสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของเส้นใย สเปกตรัมการสูญเสียแสงในการส่งผ่านของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกสามารถวัดโดยวิธี CUTBACK โดยใช้หลอดเฮโลเจน-ทังสเตน และเกรตติงโมโนโครมิเตอร์ ปลายทั้งสองของเส้นใยนำแสงต้องวางเรียบและเป็นมันวาว ปลายข้างหนึ่งของเส้นใยต่อกับแหล่งกำเนิดแสงในขณะที่ปลายอีกข้างหนึ่งต่อกับเครื่องตรวจวัดสัญญาณ สำหรับพลังงานในการส่งออก  $I_1$  ของ POFs ที่ยาว  $L_1$  (เมตร) ที่ความยาวคลื่น 400 ถึง 900 nm. จากนั้นทำการตัดเส้นใยให้มีความยาว  $L_2$  (เมตร) แล้วทำการวัดพลังงานในการส่งออก  $I_2$  ของ POFs อีกครั้ง ค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง สำหรับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกสามารถคำนวณได้โดย

### 2.7.1 ค่าการสูญเสียแสง (Loss)

$$\text{Loss (dB/km)} = (10/L) \log (I_2/I_1) \quad 8)$$

เมื่อ

L เป็น ความยาวของส่วนที่ถูกตัดออกไป มีค่าเท่ากับ  $L_1-L_2$

$I_1$  เป็น พลังงานที่วัดได้สำหรับเส้นใยที่มีความยาวเริ่มต้น

$I_2$  เป็น พลังงานที่วัดได้สำหรับเส้นใยส่วนที่เหลือ

### 2.7.2 ค่าปริมาณการลดทอน (Attenuation)

$$\text{Attenuation} = (P_0 - P_1) / P_0 \quad 9)$$

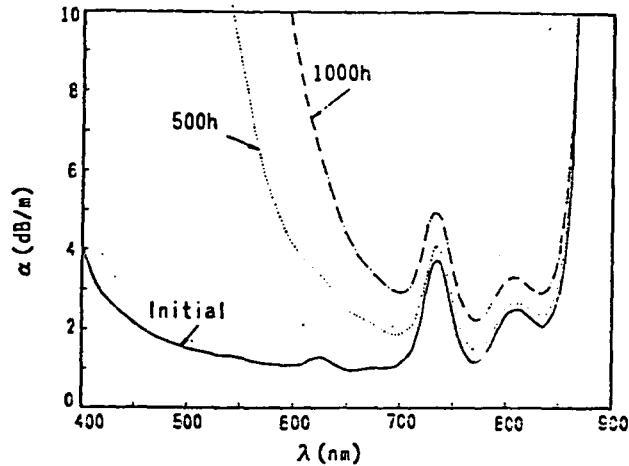
เมื่อ

$P_0$  เป็นกำลังเริ่มต้นเมื่อไม่มีแรงกระทำ

$P_1$  เป็นกำลังที่วัดได้เมื่อให้แรงกระทำที่ค่าต่างๆ

## 2.8 การสูญเสียการส่งผ่านของเส้นใยพอลิ(เมทิล เมทาไครเลต) (MMA-POF<sub>S</sub>) ก่อนและหลังการให้ความร้อน

การเปลี่ยนแปลงของค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงของ POF<sub>S</sub> ก่อนและหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C ในอากาศ แสดงดังรูป



รูป 2.14

แสดงสเปกตรัมการสูญเสียการส่งผ่านแสงก่อนและหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °ซ

ในขั้นเริ่มแรก ค่าสูญเสียการส่งผ่านแสงมีค่าต่ำในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) เมื่อให้ความร้อนในระยะเวลาสั้นค่าการสูญเสียการส่งผ่านจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นในช่วงอุลตราไวโอเลต (UV) พอลิเมอร์ที่ใช้ทำแกนเมื่อได้รับความร้อนจะมีสีเหลือง

Table I Electronic Transition Absorption Loss ( $\alpha_e$ : dB/m)

Wavelength (nm)	400	450	500	550	600	660	700	800	900
$\alpha_e$ (initial)	3.13	1.19	0.55	0.29	0.17	0.10	0.07	0.04	0.02
$\alpha_e$ (150°C, 500 h)	276	66.8	21.4	8.46	3.90	1.80	1.15	0.46	0.23
Change of $\alpha_e$	273	65.6	20.9	8.17	3.73	1.70	1.08	0.42	0.21
Change of $\alpha$ for POF	—	—	—	8.23	3.64	1.83	0.92	0.17	—

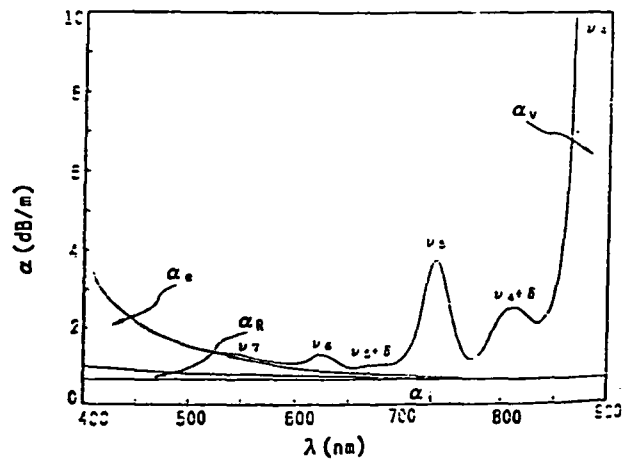
ตาราง 2.1

แสดงการเปลี่ยนแปลงของ  $\alpha_e$  ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการเพิ่มขึ้นของค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงสำหรับ POFs ก่อนและหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °ซ

จากตารางสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\alpha_e$  และความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งสามารถพิจารณาจากแต่ละสเปกตรัมการดูดกลืน

$$\alpha_e \text{ (initial)} = 5.25 \cdot 10^{-4} \exp(3.48 \cdot 10^3 / \lambda) \quad (10)$$

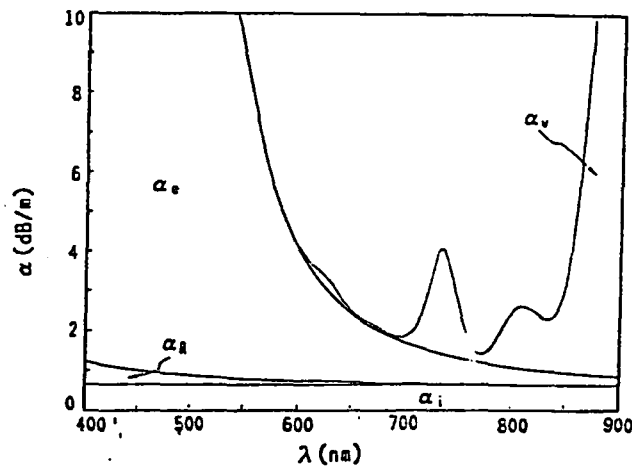
$$\alpha_e \text{ (150 } ^\circ\text{C, 500 h.)} = 7.76 \cdot 10^{-4} \exp(5.11 \cdot 10^3 / \lambda) \quad (11)$$



รูป 2.15

แสดงค่าการสูญเสียเฉพาะตัว (individual loss)  
ของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกก่อนการให้ความร้อน

ในช่วงก่อนการให้ความร้อนค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง ( $\alpha$ ) ของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกจะต่ำในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) ปัจจัยหลักสำหรับ  $\alpha$  ในช่วงอุลตราไวโอเล็ตใกล้ (near UV) คือ  $\alpha_e$  ส่วนในช่วงอินฟราเรตใกล้ (near IR) คือ  $\alpha_v$



รูป 2.16

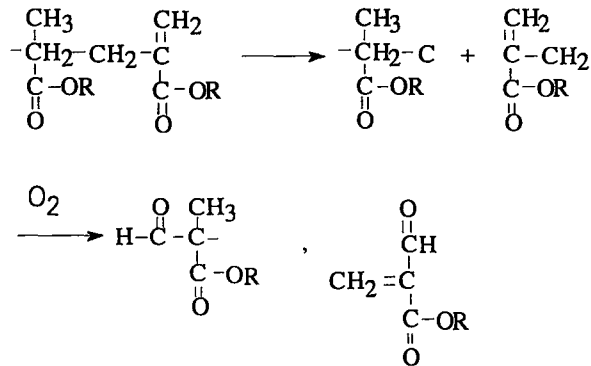
แสดงค่าการสูญเสียเฉพาะตัวของ POFs หลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °ซ ในอากาศนาน 500 ชั่วโมง

จากรูป 2.16 ค่า  $\alpha_e$  มีการเพิ่มสูงที่สุด ส่วนค่าการสูญเสียอื่น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ  $\alpha_e$  ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า  $\alpha_e$  เป็นปัจจัยหลักของการเพิ่มของค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงของ POFs ที่ได้รับความร้อน

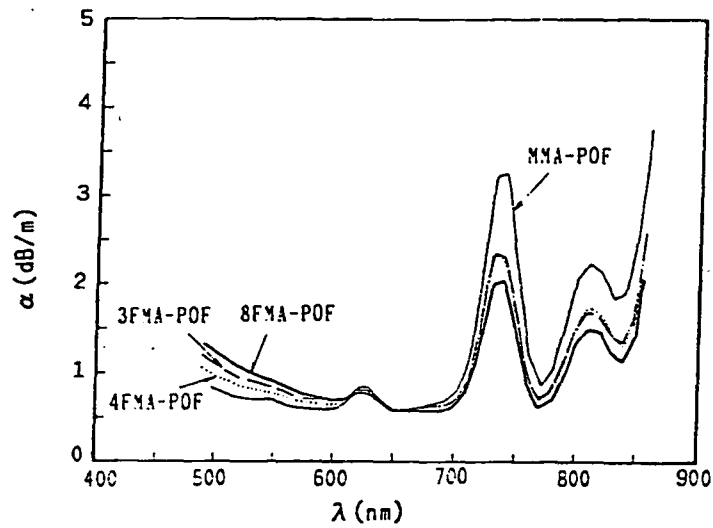
### 2.8.1 สาเหตุการสลายตัวด้วยความร้อนของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

ค่าการสูญเสียการดูดกลืนอิเล็กทรอนิกส์  $\alpha_e$  ในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) เป็นเหตุจากการมีอยู่ของพันธะคู่ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนทางอิเล็กทรอนิกส์อยู่ 2 ชนิดคือ (1) การเปลี่ยนแปลงจาก  $\pi \rightarrow \pi^*$  ของพันธะคู่คาร์บอน-คาร์บอน (C=C) (2) การเปลี่ยนแปลงจาก  $n \rightarrow \pi^*$  ของหมู่คาร์บอนิล (C=O) ดังนั้นจึงพิจารณาได้ว่าสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของ  $\alpha_e$  คือ การเกิดขึ้นของมอนอเมอร์ใหม่ซึ่งจะมีพันธะคู่โดยเกิดการดีพอลิเมอไรซ์ (depolymerize) ของพอลิเมอร์ที่ใช้ทำแกน หรือการเพิ่มขึ้นของหมู่คาร์บอนิลโดยการออกซิไดซ์ด้วยความร้อน แต่ในการวิเคราะห์เบื้องต้นโดยสเปกตรัมของ NMR และ FT-IR ปฏิกริยานี้ไม่ค่อยเกิดและพบว่าการคอนจูเกตของพันธะคู่เพียงเล็กน้อยในพอลิเมอร์ที่ใช้ทำแกนเนื่องจากการออกซิไดซ์ด้วยความร้อนก็สามารถทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่า  $\alpha_e$  จนถึงระดับที่ยอมรับไม่ได้ดังสมการแสดง

ปฏิกิริยาการออกซิไดซ์โดยความร้อนของเมทาโครเลทพอลิเมอร์ [11]



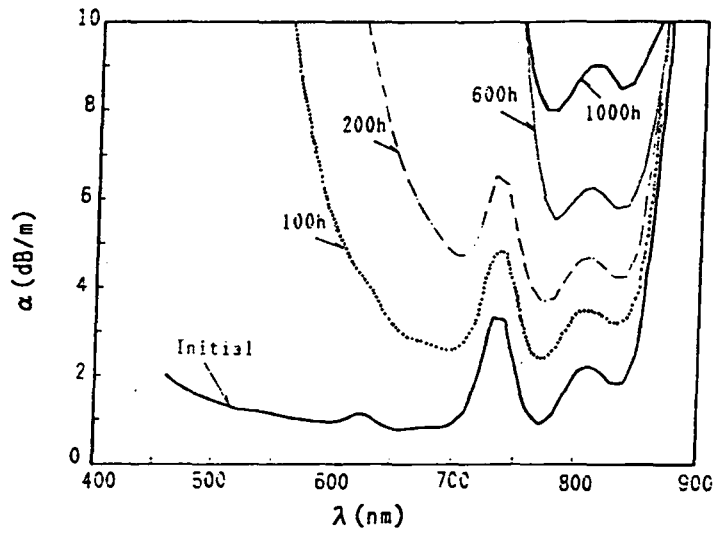
2.8.2 การสูญเสียการส่งผ่านแสงของเส้นใยพอลิ(เมทิล เมทาโครเลท) (MMA-POF<sub>S</sub>) และเส้นใยพอลิ(ฟลูออโร เมทาโครเลท) (FMA-POF<sub>S</sub>) ก่อนและหลังการให้ความร้อน



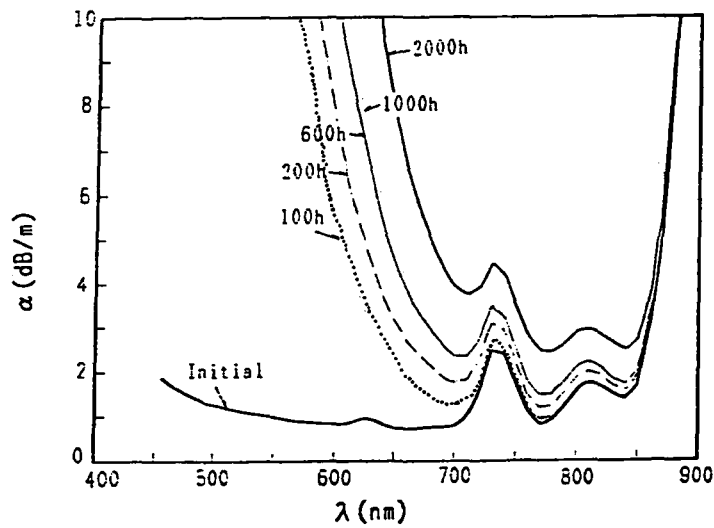
รูป 2.17

แสดงค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงของ MMA-POF<sub>S</sub> และ FMA-POF ก่อนการให้ความร้อนโดยมีเอทิลีนไกลคอล ไดเมทาโครเลทเป็นสารเชื่อมโยง

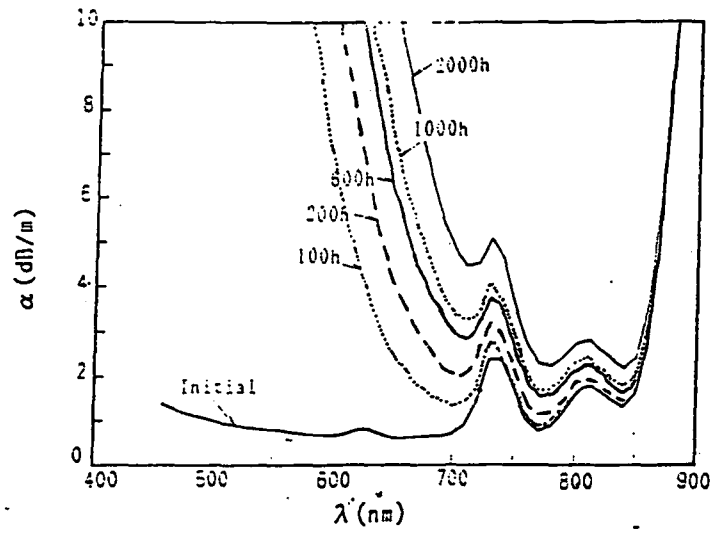
จากรูปจะเห็นว่าในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้(visible) การสูญเสียแสงของ FMA-POFs มีค่าต่ำและมีสเปกตรัมการสูญเสียคล้ายกับ MMA-POFs และพบว่าเมื่อใช้ฟลูออโรพอลิเมอร์เป็นแกน ความเข้มข้นของพันธะคาร์บอน-ไฮโดรเจนในโมเลกุลจะลดลงซึ่งมีผลทำให้ค่า  $\alpha_V$  ของ FMA-POFs น้อยกว่าของ MMA-POFs ในช่วงอินฟราเรดใกล้ ส่วน  $\alpha_R$  มีค่าใกล้เคียงกัน [11]



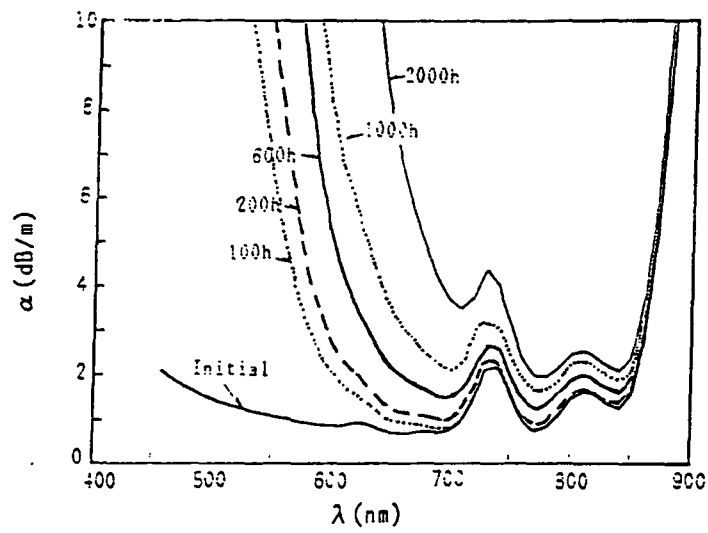
รูป 2.18



รูป 2.19



รูป 2.20

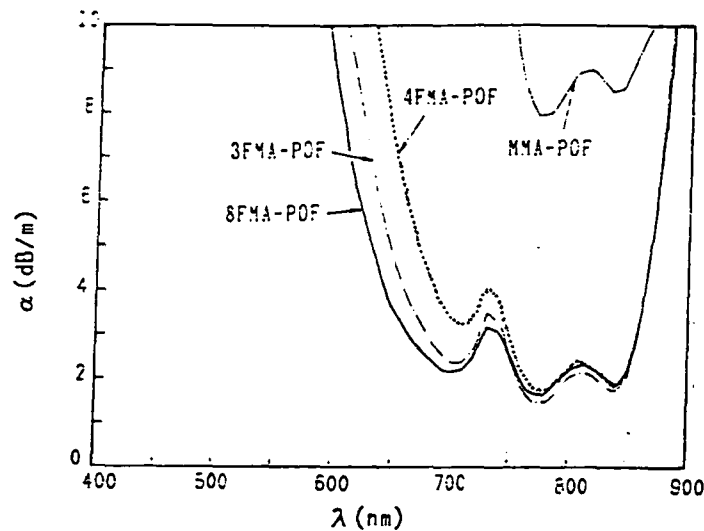


รูป 2.21

รูป 2.18 ถึง 2.21

แสดงค่าการสูญเสียการดูดกลืนแสงของ MMA-POFs ,3FMA-POFs ,4FMA-POFs และ 8FMA-POFs ภายหลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 160 °ซ ในเวลาต่างๆ กัน

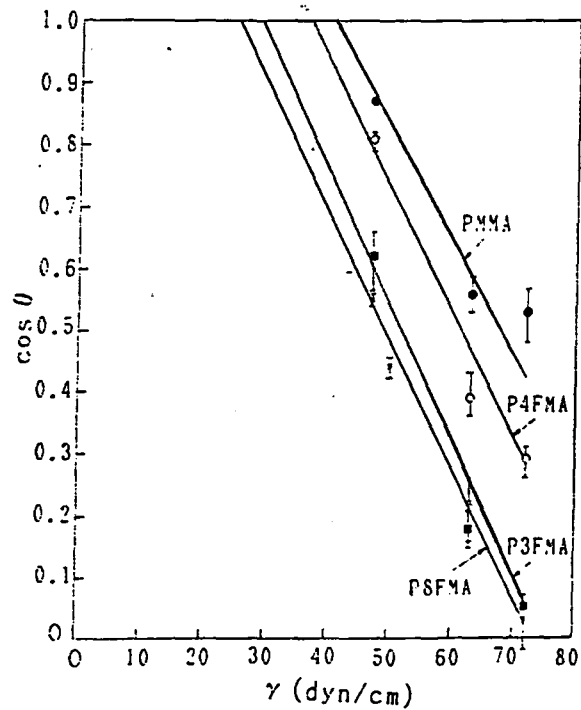
เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกทั้งหมดนี้สามารถถูกทำให้เกิดการสลายตัวได้ด้วยความร้อน ค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงจึงเพิ่มขึ้นในช่วงความยาวคลื่นสั้นๆ ได้มีการทดลองพบว่าในบรรยากาศไนโตรเจนการเพิ่มขึ้นของค่าสูญเสียการส่งผ่านแสงของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกมีค่าน้อยมาก ๆ จึงสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่าสูญเสียการส่งผ่านแสงนี้เกิดจากการถูกออกซิไดซ์โดยความร้อนของพอลิเมอร์ที่ใช้ทำแกนจึงทำให้เกิดการสร้างเป็นคอนจูเกตพันธะคู่ของหมู่คาร์บอนิล



รูป 2.22

แสดงสเปกตรัมการสูญเสียการส่งผ่านแสงของ MMA-POFs, 3FMA-POFs, 4FMA-POFs และ 8FMA-POFs ภายหลังจากให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 160°C นาน 100 ชั่วโมง

จากรูปจะเห็นว่า ค่าสูญเสียการส่งผ่านมีค่าลดลงตามลำดับคือ MMA-POF > 4FMA-POF > 3FMA-POF > 8FMA-POF จากผลที่ได้นี้จะไม่เหมือนกับลำดับค่าของความหนาแน่นทางไฟฟ้า (electronic density) ที่เพิ่มขึ้นของ  $\alpha$ -คาร์บอน จึงเกิดปัญหาว่าเพราะเหตุใดค่าการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นของ 4FMA-POF จึงมากกว่า 3FMA-POF ได้มีการเสนอเหตุผลเนื่องจากความแตกต่างในความตึงผิววิกฤติ (critical surface tension ( $\gamma_c$ )) ของพอลิเมอร์ นั่นคือพอลิเมอร์ที่มีค่า  $\gamma_c$  ต่ำจะดูดกลืนออกซิเจนได้ง่ายกว่า ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเกิดขึ้นได้ง่ายกว่า



รูป 2.23 แสดง Zisman Plots ของ PMMA , P3FMA , P4FMA และ P8FMA

ค่าความตึงผิววิกฤติ  $\gamma_c$  ของพอลิเมอร์สามารถคำนวณจาก ค่าความตึงผิว เมื่อ  $\cos\theta = 1$  จากผลการคำนวณค่า  $\gamma_c$  ของ MMA , P3FMA , P4FMA และ P8FMA มีค่าเท่ากับ 41 , 38 , 29 และ 25 dyn/cm. ตามลำดับ จากค่าต่างๆ เหล่านี้แสดงว่าการดูดกลืนออกซิเจนของ P3FMA < P4FMA ซึ่งสามารถพิจารณาได้ว่าความหนาแน่นทางไฟฟ้าและค่าความตึงผิววิกฤติค่าต่างๆของพอลิเมอร์สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ด้วยความร้อนของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้มีการรายงานว่ พอลิเมอร์ที่ใช้ทำแทนที่มีคุณลักษณะทางความร้อนของแสงดีกว่า FMA-โคพอลิเมอร์ ได้แก่  $\alpha$ -ฟลูออโรอีทิลลาคิลเลท โคพอลิเมอร์ ซึ่งค่าความหนาแน่นทางไฟฟ้าของพอลิเมอร์เหล่านี้มีค่าน้อยกว่าของ PMMAและFMMA ดังนั้นเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มี แทนทำมาจาก  $\alpha$ -ฟลูออโรอีทิลลาคิลเลท โคพอลิเมอร์ จะมีคุณลักษณะทางความร้อนที่ดีขึ้น

## 2.9 การสังเคราะห์เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกหรือเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

เนื่องจากในโครงการพิเศษนี้ได้มุ่งประเด็นไปในส่วนของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก (POFG) จึงขอกล่าวเน้นถึงเฉพาะเส้นใยนำแสงชนิดนี้

เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก มักถูกนำมาใช้เป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังแหล่งรับข้อมูล หรือใช้ในการสื่อสารในระยะทางไกลๆ เนื่องจากมีค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงสูงกว่าเส้นใยที่ทำจากแก้ว แต่เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกมีข้อได้เปรียบกว่าเส้นใยนำแสงที่ทำจากแก้วคือ

1. สะดวกในการเชื่อมต่อเข้าด้วยกันและเชื่อมต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงเนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนมีขนาดใหญ่ และมีค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่านสูงซึ่งว่ามีประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสงสูง
2. ง่ายต่อการใช้งาน เนื่องจากโค้งงอได้ดีและมีน้ำหนักเบา
3. มีการแตกเสียหายน้อยกว่าแก้ว
4. มีความไวต่อการสั่นน้อยกว่า

เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกได้รับการพัฒนาโดยบริษัทดูปอนท์ในปี 1964 ค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงได้ลดลงไปในแต่ละปีซึ่งเป็นผลจากการทำงานของกลุ่มผู้ค้นคว้าวิจัย และมีการพัฒนาเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีส่วนแกนทำมาจาก PMMA ให้มีค่าการสูญเสียที่ต่ำกว่า 200 dB/km. ที่ความยาวคลื่น 660 nm.

โดยทั่วไปเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกในเชิงการค้าจะมีค่าการสูญเสียแสง 200 dB/km. ในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการส่งผ่านในระยะทางไกลๆ ต่อมาได้มีการพัฒนาเส้นใยนำแสงที่มีแกนทำมาจาก PMMA และ PS ซึ่งทำให้มีค่าการสูญเสียแสงต่ำลงที่สุด 55 dB./km. ที่ความยาวคลื่น 570 nm. และ 114 dB./km. ที่ความยาวคลื่น 670 nm. การประดิษฐ์เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกให้มีค่าการสูญเสียแสงต่ำสามารถทำได้โดยทำการพอลิเมอร์ในท่อปิดและใช้กระบวนการดึงเส้นใยที่มีการพัฒนาแล้ว ขบวนการที่ทำในท่อปิดนี้จะทำให้มอนอเมอร์และสารเติมแต่งต่างๆ มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น และในการดึงพอลิเมอร์สำหรับทำแกนก็จะหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของฝุ่นและสารอื่นๆ ได้ด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า GaAlAs light emission diode (LEDs) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีประสิทธิภาพสูงมากในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้

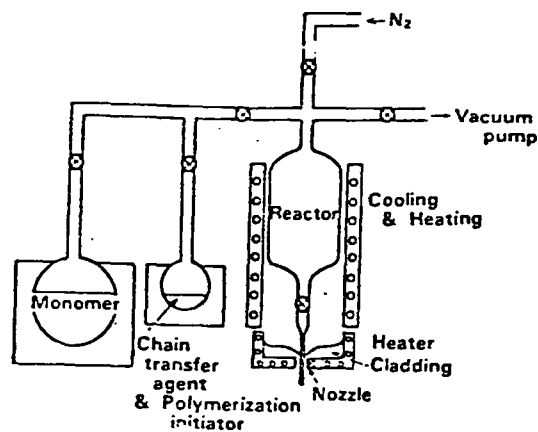
(น้อยกว่า 1 mW. หรือมากกว่าที่ 660nm.) ซึ่งจะมีผลให้เกิดค่าการสูญเสียแสงที่ต่ำด้วย [10]

### 2.9.1 การสังเคราะห์เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกจากมอนอเมอร์เมทิล เมธาไครเลต (MMA) [ 11]

มอนอเมอร์ ได้แก่ MMA  
ตัวริเริ่มปฏิกิริยา ได้แก่ เอโซ-เทรทพิวเทน  
ตัวย่ำไซ่ ได้แก่ เอ็น-บิวทิวเมอแคปแทน

#### การเตรียมมอนอเมอร์

กำจัดตัวยับยั้งปฏิกิริยาโดยล้างด้วยสารอัลคาไล (alkali) แล้วล้างสารอัลคาไลที่เหลือออกโดยใช้ น้ำบริสุทธิ์จนกระทั่ง pH ของมอนอเมอร์เป็นกลาง หลังจากนั้นทำให้แห้งโดยเติม  $\text{NO}_2$  ,  $\text{SO}_2$  และ  $\text{CaH}_2$  แล้วเทลงในขวดรูปชมพู่ที่มีเครื่องมือแสดงดังรูปนำขวดนี้ไปทำให้เย็นโดยใช้ไนโตรเจนเหลว และรีนอลท์ด้วยน้ำร้อนภายใต้สุญญากาศเพื่อกำจัดก๊าซออกซิเจนที่ละลายอยู่



รูป 2.24

แสดงเครื่องมือในการดึงเส้นใย

## การสังเคราะห์

นำ เอ็น-บิวทิลเมออร์แคปแทนเข้มข้น 0.04 mol/l และเอโซเทรทิวเทนเข้มข้น 0.01 mol/l เเทลงในขวดรูปชมพู่อีกใบหนึ่งแล้วทำการกลั่นภายใต้ความดันที่ลดลง(reduced pressure) ความดันของเครื่องมือจะลดลงจนประมาณ 0.1 มม.ปรอท ซึ่งจะทำให้ฝุ่นและออกซิเจนไม่สามารถผสมอยู่ในเครื่องมือนี้ได้ หลังจากนั้น นำมอนอเมอร์และสารตัวเติมผสมกันแล้วให้ความร้อนแก่หลอดแก้วในเตาไฟฟ้าที่ 130 °ซ นาน 16 ชม.เพื่อทำการพอลิเมอไรซ์มอนอเมอร์แล้วเพิ่มอุณหภูมิจนเป็น 180 °ซ ไว้ให้คงที่นาน 16 ชม. เพื่อให้การพอลิเมอไรซ์เสร็จสมบูรณ์หลังจากนั้นให้เพิ่มความดันของเครื่องมือจนถึงความดันบรรยากาศ ในส่วนด้านล่างของหลอดแก้วมีส่วนของหัวฉีดซึ่งเปิดไว้ เมื่อให้ความร้อนแก่หลอดแก้วจนถึง 190 °ซ พอลิเมอร์ที่ได้ซึ่งมีลักษณะเหลวจะถูกกดจากปลายด้านบนของหลอดแก้วโดยกาซไนโตรเจนแห้งที่ความดัน 2 บรรยากาศ เส้นใยจะถูกดึงจากหัวฉีดโดยควบคุมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่ด้วยการรักษาอัตราเร็วในการดึงและรักษาความดันของกาซให้สม่ำเสมอ ส่วนแกนของเส้นใยจะถูกหุ้มทันทีที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ซิลิโคนเรซินที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้วให้มีความหนาประมาณ 0.1 มม. ค่าดัชนีการหักเหของแกนและครอบที่ได้ควรมีค่าเป็น 1.49 และ 1.41 ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้ค่าผลต่างของดัชนีการหักเหเป็น 5.4 % และค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) เป็น 0.48

โดยทั่วไปแล้วแกนของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก ที่ทำจาก PMMA จะมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว( $T_g$ )ต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในการเป็นตัวกลางส่งผ่านข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องตรวจจับสัญญาณ (sensor) ในส่วนของเครื่องยนต์ที่ต้องการการดูแลเป็นพิเศษหรือในบริเวณใกล้ๆ ส่วนที่ร้อนเนื่องจากเส้นใยชนิดนี้มีความต้านทานต่อความร้อนต่ำ จึงได้มีการศึกษาถึงความต้านทานต่อความร้อนของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มี แกนเป็น PMMA โครงร่างตาข่าย เส้นใยชนิดนี้สามารถถูกใช้ในที่มีอุณหภูมิสูงถึง 200 °ซได้ แต่จะใช้ได้ในเวลาที่สั้นกว่าเมื่อใช้ที่อุณหภูมิ 150 °ซ ซึ่งจะใช้ได้นานเป็นพันชั่วโมง และค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงของเส้นใยชนิดนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงความยาวคลื่นที่สั้นกว่า

## 2.9.2 การสังเคราะห์เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกนเป็นมอนอเมอร์เมทิล เมธาไครเลตแบบโครงร่างตาข่าย [11]

มอนอเมอร์	ได้แก่	เมทิล เมธาไครเลต
สารเชื่อมโยง	ได้แก่	เอทิลีนไกลคอล ไดเมทาไครเลท
ตัวริเริ่ม	ได้แก่	ลอร์ริเปอร์ออกไซด์ (0.5 % โดยน้ำหนัก)

ในขั้นตอนแรก ควรทำให้มอนอเมอร์และสารตัวเติม (additive) ต่างๆ บริสุทธิ์ก่อน หลังจากนั้นจึงนำมอนอเมอร์ผสมกับส่วนประกอบที่เหมาะสมแล้วเติมตัวริเริ่มลงไป นำส่วนผสมนี้เทลงในแท่งตัวครอบที่ทำจากโคพอลิเมอร์ของเตตระฟลูออโรเอทิลีน-เฮกซะฟลูออโรโพรพิลีน (FEP) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1.8 มม. ปิดปลายด้านหนึ่งของแท่งนี้แล้วทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 100 °ซ เพื่อทำการพอลิเมอไรซ์มอนอเมอร์ในส่วนแกน แล้วทำให้สุก (cure) ภายหลังจากที่อุณหภูมิเป็น 120 °ซ นาน 20 ชม.

ได้มีการค้นพบมอนอเมอร์ชนิดใหม่ที่มีความสามารถในการต้านทานต่อความร้อนได้ดีที่อุณหภูมิสูงและมีความโปร่งใสดีเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ด้วยความร้อน ซึ่งพบว่า พอลิเมอร์ของเมทาไครเลท หรืออะไครเลท เช่น โคพอลิเมอร์โครงร่างตาข่าย (crosslinked copolymer) ที่มีฟลูออโรอัลคิลเมทาไครเลท(FMA-POFs)เป็นองค์ประกอบหลักจะมีความเหมาะสมสำหรับเป็นแกนในเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก เพราะมีความโปร่งใสในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) ยิ่งไปกว่านั้นพอลิเมอร์เหล่านี้ไม่มีหมู่ที่มีโครงสร้างเป็นวงในโมเลกุล ดังนั้น  $\alpha_R$  (intrinsic scattering loss) จึงมีค่าน้อยมาก หรือในอีกกรณีหนึ่งเมื่อเฮโลเจนซึ่งมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (electronegativity) สูงถูกนำเข้ามาในโมเลกุล ปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ด้วยความร้อนจะถูกยับยั้ง แสดงว่าพอลิเมอร์ที่มีหมู่เฮโลเจนอยู่ในโมเลกุลมีผลในการลดการเกิดเป็นโครงสร้างที่มีพันธะคู่คอนจูเกตของหมู่คาร์บอนิลโดยการออกซิไดซ์ด้วยความร้อนของพอลิเมอร์ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่แกนผลิตจากสารชนิดนี้มีค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงต่ำ และจากการทดลองพบว่าสเปกตรัมของการสูญเสียของ FMA-POFs มีความคล้ายคลึงกับสเปกตรัมของ MMA-POFs แต่หลังจากที่ให้ความร้อน 160 °ซ ค่าการสูญเสียการส่งผ่านของ FMA -POFs จะเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า แต่น้อยกว่า MMA-POFs เนื่องจาก FMA-POFs มีหน้าต่างแสงที่ 780 nm. ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียได้ยากที่ความยาวคลื่นนี้ ดังนั้นเส้นใยชนิดนี้จึงมีความเหมาะสมในการใช้งานที่

ความยาวคลื่น 780 nm.

### 2.9.3 การสังเคราะห์เส้นใยนำแสงที่มีฟลูออโรอัลคิล เมทาโครเลตเป็นองค์ประกอบหลัก [4]

มอนอเมอร์ ที่ใช้ได้แก่	2,2,2-trifluoroethyl methacrylate (3FMA) , 2,2,3,3-tetrafluoropropyl methacrylate (4 FMA) หรือ 2,2,3,3,4,4,5,5-octafluoropropyl methacrylate (8 FMA)
สารเชื่อมโยง	ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลไดเมทาโครเลต (M <sub>2</sub> )
ตัวริเริ่ม	ได้แก่ ลอริลเปอร์ออกไซด์ (0.5 wt%)

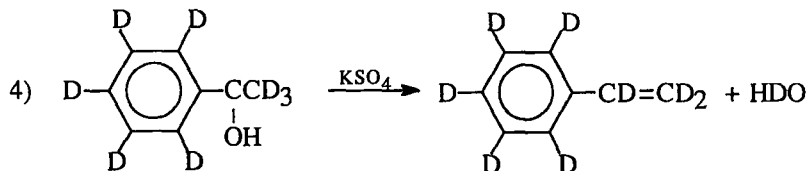
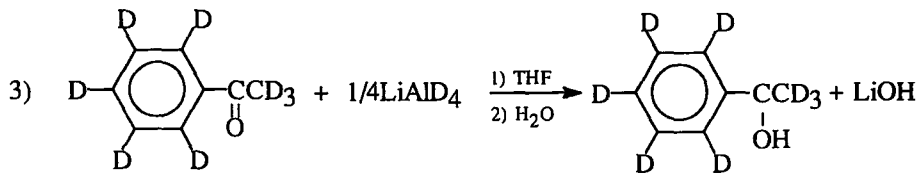
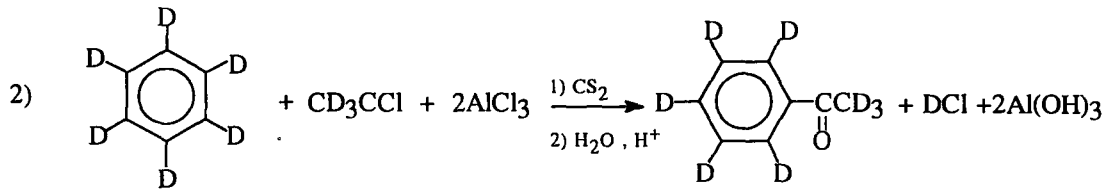
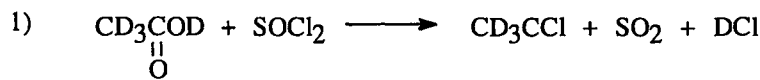
วิธีการสังเคราะห์แจกเช่นเดียวกับวิธีอื่นที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงไม่ขอกล่าวรายละเอียดในที่นี้

การดูดกลืนแสงเนื่องจากการสั่นของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอน-ไฮโดรเจนเป็นสิ่งสำคัญที่จะบอกถึงการลดลงของค่าการสูญเสียแสงในช่วงอินฟราเรดใกล้ การเปลี่ยนแปลงไฮโดรเจนของพันธะคาร์บอน-ไฮโดรเจนในพอลิเมอร์ที่ใช้ทำแกนไปเป็นดิวเทอเรียม จะส่งผลให้เกิดการลดลงของค่าการสูญเสียแสง ซึ่งไม่เพียงแต่ในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้(visible)เท่านั้น แต่ยังส่งผลในช่วงอินฟราเรดใกล้(near IR) อีกด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนสารที่ใช้ทำแกนจากมอนอเมอร์ปกติไปเป็นดิวเทอเรียมมอนอเมอร์ ดังสามารถช่วยทำให้เกิดค่าการสูญเสียแสงที่ลดต่ำลงอีกด้วย

### 2.9.4 การสังเคราะห์เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกจากดิวเทอเรียมมอนอเมอร์

#### 1.การสังเคราะห์ดิวเทอเรียมมอนอเมอร์

- \* MMA-d8 สามารถสังเคราะห์ได้จาก อะซิโตน-d6 (d:99%) และเมทานอล-d4 (d:99.5%) โดยวิธี standard acetone cyanohydrin
- \* MMA-d5 สามารถสังเคราะห์ได้โดยใช้วิธีเดียวกับ MMA-d8 เพียงแต่ใช้เมทานอลทั่วไป แทนเมทานอล-d4
- \* St-d8 สามารถสังเคราะห์ได้ดังนี้



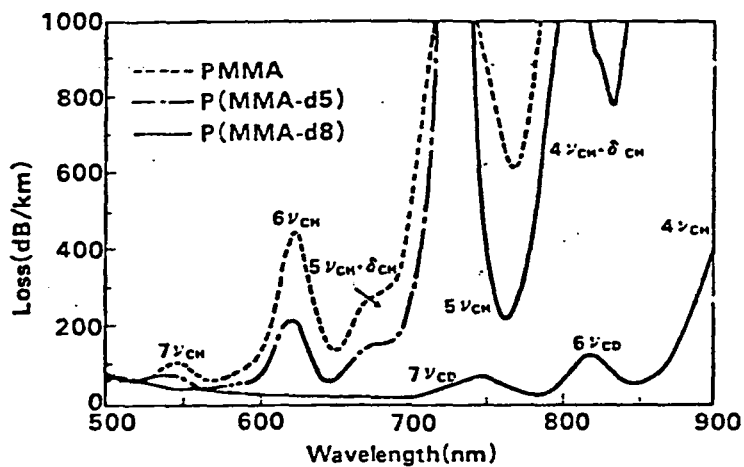
โดยใช้เบนซีน-d<sub>6</sub>(d:99.7%), กรดอะซิติก (d:99%) และลิเทียมอลูมิเนียมไฮไดรด์ (d:98%) เป็นสารตั้งต้น

\*St-d<sub>5</sub> สามารถสังเคราะห์ได้เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2-4 แต่ใช้อะซิติกคลอไรด์ และลิเทียมอลูมิเนียมไฮไดรด์ แทนอะซิติกคลอไรด์-d<sub>3</sub> และ LiAlD<sub>4</sub> อัตราส่วนในการติวเทอเรท คือ MMA-d<sub>8</sub>, MMA-d<sub>5</sub>, St-d<sub>8</sub> และ St-d<sub>5</sub> เป็น 99.3 : 99.4 : 98.5 : 99.2 % ตามลำดับ

## 2. การประดิษฐ์เส้นใยนำแสงชนิดพลาสติก

หลังจากทำการเตรียมโซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมไฮไดรด์ให้แห้งแล้วนำมอนอเมอร์ที่เตรียมไว้ไปกลั่นในสุญญากาศอย่างระมัดระวังและทำให้บริสุทธิ์แล้วส่งเข้าไปยังท่อของอุปกรณ์ที่ใช้ดึงเส้นใย สำหรับ MMA, MMA-d<sub>5</sub>, MMA-d<sub>8</sub> จะใช้โซโซ-เทริทบิวเทนเข้มข้น 0.01 mol/l เป็นตัวริเริ่มในการพอลิเมอไรส์ และใช้เอ็น-บิวทิลเมอแคปแทนเข้มข้น 0.03 mol/l เป็นตัวย้ายโซ่แล้วทำให้หลอดท่อนี้ร้อนขึ้นในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 135 °ซ นาน 12 ชม. เพื่อทำการพอลิเมอไรส์มอนอเมอร์ อุณหภูมิ

จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นถึง 180 °ซและควบคุมให้อยู่ที่อุณหภูมินี้ นาน 12 ชม. จนการพอลิเมอไรซ์เสร็จสมบูรณ์ แล้วจะถูกอัดด้วยก๊าซไนโตรเจนที่ความดัน 1.3 ถึง 1.4 บรรยากาศ ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนจะถูกควบคุมให้เป็น 0.6 มม. สำหรับ P(MMA-d5) และ 0.65 มม. สำหรับ P(MMA-d8) (ขนาดของ แกน จะขึ้นกับความยาวคลื่นที่ใช้และค่าดัชนีการหักเหของแกน) แล้วแกนที่ได้ซึ่งมีดัชนีการหักเห 1.485 จะถูกเคลือบด้วยวัสดุเหลวที่ใช้ทำกรอบซึ่งจะใช้โคพอลิเมอร์ของฟลูออโร-อัลคิลเมทาไครเลท ที่อุณหภูมิ 140 °ซ ให้หนา 0.15 ถึง 0.2 มม. โดยมีดัชนีการหักเห 1.395 ค่าความแตกต่างของดัชนีการหักเหเท่ากับ 6.1 % และ NA = 0.51



รูป 2.25

แสดงสเปกตรัมการสูญเสียการส่งผ่านแสงของเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกนทำจากดิวเทอเรท PMMA

จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มการดิวเทอเรท ค่าการสูญเสียจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากการลดลงของ  $\alpha_v$  เส้นใยนำแสงที่มีแกนทำจาก P(MMA-d5) มีค่าการสูญเสียต่ำที่สุดคือ 41 dB/km. ที่ความยาวคลื่น 565 nm. ส่วนแกนที่ทำจาก P(MMA-d8) จะมีค่าการสูญเสียต่ำที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 650 ถึง 680 nm. ส่วน St, St-d5, St-d8 จะใช้เอ็น-บิวทิลเมอแคปแทนเข้มข้น 0.04 โมลต่อลิตรแทนและทำการพอลิเมอไรซ์ที่อุณหภูมิ 135 °ซ นาน 16 ชม. และเสร็จสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 180 °ซ อุณหภูมิของท่อพอลิเมอไรเซชันจะถูกทำให้เพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิในการดึงเส้นใยพอลิเมอร์หลอมที่ได้จะถูกอัดจากปลายบนสุดของท่อโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนแห้งที่ความดัน 1.27 บรรยากาศ และถูกดึงด้วยอัตรา 2 เมตรต่อวินาทีโดยจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในการพอลิเมอไรซ์

อัตราเร็วในการตั้ง และความดันของก๊าซไนโตรเจน เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจะถูกควบคุมให้เป็น 1.0 มม. แล้วทำการเคลือบแกนที่ได้ซึ่งมีดัชนีการหักเห 1.590 ด้วยเอทิลไวนิลอะซิเตตที่มีเปอร์เซ็นต์ไวนิลอะซิเตต 25 % และมีจุดอ่อนตัวที่ 90 °ซ โดยเคลือบให้หนา 0.3 มม. ดังนั้นจึงมีความแตกต่างของค่าดัชนีการหักเหเท่ากับ 6.9 และ NA = 0.58 ในเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกนทำจากพอลิสไตรีน ค่าฮาโมนิกที่สูงของการดุดกคลื่นเนื่องจากการสั่นสะเทือนของอะโรมาติกคาร์บอน-ไฮโดรเจนเป็นสิ่งสำคัญในการลดการสูญเสียแสงสำหรับเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่มีแกนทำจาก PS-d5 แต่การสูญเสียแสงในช่วงอินฟราเรดใกล้จะไม่ลดต่ำลงเนื่องจากอิทธิพลในการดุดกคลื่นของดิวเทอเรียมอะลิฟาติกคาร์บอน-ไฮโดรเจน นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียการส่งผ่านแสงเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ในโครงสร้างของเส้นใยและมีการกระเจิงแบบเรย์ลีมากอีกด้วยดังนั้น ดิวเทอเรียมในสไตรีนจึงไม่มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับใน MMA นอกจากนี้ อาจมีการเติมสารเสริมความอ่อนตัวลงไปในส่วนของแกนเพื่อเพิ่มความสามารถในการยืดหยุ่นและโค้งงอโดยปริมาณของสารเสริมความอ่อนตัวที่ใส่ลงไปนั้นจะเปลี่ยนแปลงตามชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ทำแกน และชนิดของสารเสริมความอ่อนตัวซึ่งจะเป็นการดีถ้าปริมาณที่ใส่ลงไปนั้นทำให้แกนมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (flexural modulus) ไม่เกิน  $2.5 \times 10^5$  g/mm<sup>2</sup> เนื่องจากจะทำให้เส้นใยนำแสงมีความยืดหยุ่นดีมากโดยปราศจากการยืดออก คุณสมบัติโดยทั่วไปของสารเสริมความอ่อนตัวได้แก่

1. มีความสามารถเข้ากันได้หรือมีคุณลักษณะต่างๆใกล้เคียงกับพอลิเมอร์หรือสัณฐานที่ใช้ทำแกน
2. ดุดกคลื่นแสงได้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
3. ควรมีความหนาแน่นและค่าดัชนีการหักเหที่สัมพันธ์กับแกน
4. มีจุดเดือดสูงกว่า 200 °ซ และมีการระเหยเพียงเล็กน้อยเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ข้ามผ่านหรือ cross migration ไปจากผิวของครอบ

ตัวอย่างของสารเสริมความอ่อนตัวที่ใช้ได้แก่ พทาเลท เช่น ไดเมทิลพทาเลท หรือไดเอทิลพทาเลท (DEP)

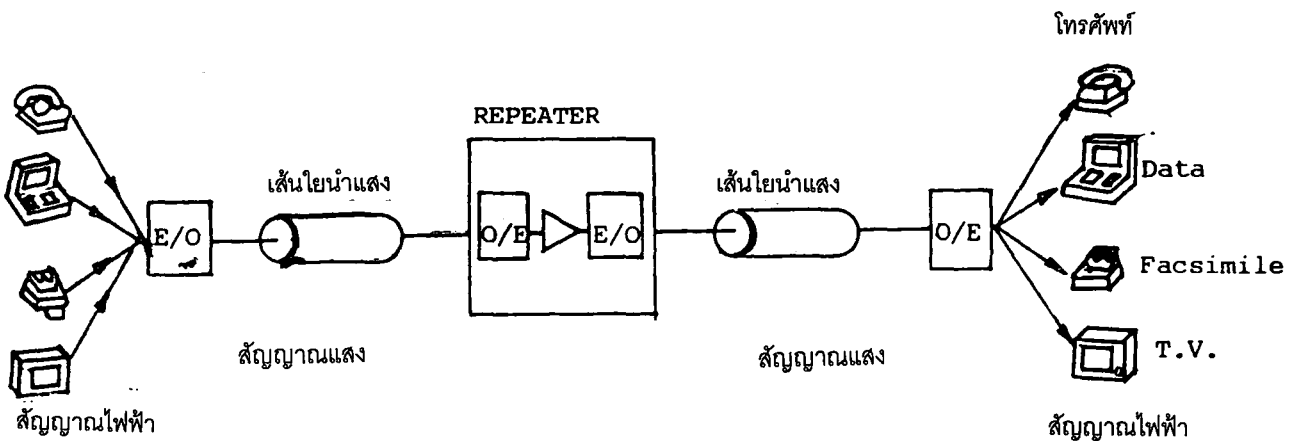
ดังนั้นเส้นใยนำแสงชนิดพลาสติกที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการที่ดีควรมีลักษณะดังนี้คือ

1. มีขนาดสม่ำเสมอตลอดทั้งเส้นใยและไม่หดตัวเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °ซ หรือมากกว่านั้น
2. มีความยืดหยุ่นและโค้งงอได้ดีโดยปราศจากการยืดออกเนื่องจาก

มีการเติมสารเสริมความอ่อนตัว

3. คุณสมบัติของแกนไม่เกิดการเสื่อมสภาพลงเนื่องจากการซึมผ่านของสารเสริมความอ่อนตัว เพราะกรอบจะทำจากพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการป้องกันการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเสริมความอ่อนตัว

## 2.10 การประยุกต์เส้นใยนำแสงในงานด้านการสื่อสาร



รูป 2.26

ส่วนประกอบพื้นฐานของการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

การกระทำระหว่างกันของตัวส่งผ่านข้อมูลและตัวรับข้อมูลจะมีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับหลัก การสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วสัญญาณที่ส่งจากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น โทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูลหรือโทรภาพจะถูกส่งเข้าไปยังตัวส่งผ่าน (transmitter) ซึ่งมักจะมีรูปแบบเป็น transistor-transistor logic หรือ emitter-coupled logic แหล่งสัญญาณจะรับสัญญาณข้อมูลแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสง (E/O convertor) นั่นคือ ความแรงของสัญญาณไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นความเข้มแสง หรือเปลี่ยนจาก "1" และ "0" ของสัญญาณไฟฟ้าเป็นแสงที่ "สว่าง" และ "มืด" และส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง กำลังของสัญญาณที่เดินทางในเส้นใยนำแสงจะค่อยๆ อ่อนลงเมื่อเดินทางในระยะทางที่เพิ่มขึ้น เมื่อเดินทางถึงตัวรับสัญญาณซึ่งประกอบด้วยเครื่องตรวจจับสัญญาณแสง (photo-detector) จะทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า (O/E convertor) และส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทางเพื่อทำการเปลี่ยนกลับไปเป็นสัญญาณของโทรศัพท์ เครื่องป้อนข้อมูลหรือโทรภาพต่อไป

## 2.11 การประยุกต์เส้นใยนำแสงนอกเหนือจากงานด้านการสื่อสาร

นอกเหนือจากการใช้เส้นใยนำแสงทางด้านการสื่อสารแล้วได้มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นเช่น

1. การตรวจหาสารเคมีในเลือด
2. วัดระดับของของเหลว
3. ใช้ในงานเกี่ยวกับด้านความปลอดภัย เช่น ใช้เป็นสัญญาณเตือนในสิ่งก่อสร้างเกี่ยวกับการได้รับความกระทบกระเทือนหรือการได้รับแรงลมที่พัดผ่านอย่างรวดเร็ว
4. ใช้เป็นระบบควบคุมบางระบบในยานพาหนะ

# การดำเนินการวิจัย

## บทที่ 3

### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำแข็ง
2. ตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟูราน (Tetrahydrofuran)
3. ตัวทำละลายคลอโรฟอร์มที่ปราศจากน้ำ
4. สารแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (Anhydrous Sodium Sulphate)
5. เส้นใยพอลิเมอร์นำแสง (Polymer Optical Fibres) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มม. และ 0.73 มม.

### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดอุปกรณ์หาค่าการสูญเสียทางแสงและตัวตรวจจับแสง รุ่น MS9020B บริษัท Newport Corporation จำกัด
2. แท่งหลอดจับเส้นใย รุ่น 41 บริษัท Newport Corporation จำกัด
3. อุปกรณ์จับยึดเส้นใย
4. แหล่งกำเนิดแสงฮีเลียม-นีออนขนาด 1 มิลลิวัตต์ รุ่น U-1301P บริษัท Newport Corporation จำกัด
5. เทอร์โมมิเตอร์ 0-100 °C
6. อ่างน้ำ (water bath) พร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ รุ่น Buchi 461 บริษัท Buchi จำกัด
7. ก้อนน้ำหนักกด 100 g. , 500 g. , 1 kg.
8. เลนส์ 20X รุ่น LS-22 บริษัท Newport Corporation จำกัด
9. ฉากรับแสงขนาด 3 \* 5 นิ้ว บริษัท Newport Corporation จำกัด

10. ไม้บรรทัด
11. เครื่อง Universal Testing Machine รุ่น LLOYD 500 บริษัท LLOYD Instrument จำกัด
12. ไมโครมิเตอร์
13. ลวดนำความร้อน
14. ปีกเกอร์ขนาด 50 ลบ.ซม.
15. แท่งแก้วคนสาร
16. แท่นให้ความร้อน
17. กระดาษกรอง
18. กรวยแก้ว
19. หลอดหยดสาร
20. จานเพาะเชื้อ
21. ชุดเครื่องมือการสกัด
22. เครื่องให้ความร้อนแบบก้นกลม
23. เครื่องทำความเย็น รุ่น CA-11 บริษัท Eylea Tokyo Rikakikai Co.,Ltd.
24. ขวดก้นกลม
25. ขวดวัดปริมาตร
26. แท่นจับยึด
27. ทิมเบิล
28. สายยาง
29. เครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี รุ่น System 2000 บริษัท Perkin Elmer Co.,Ltd.
30. เครื่องรามานสเปกโตรสโกปี รุ่น System 2000 บริษัท Perkin Elmer Co.,Ltd.

### 3.3 การดำเนินการวิจัย

#### 3.3.1 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพ

##### 1. การดำเนินงาน

##### 1.1 การหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

##### การเตรียมส่วนปลายของเส้นใยนำแสง

ทำการปลอกชั้นที่หุ้มห่อเส้นใยออกประมาณ 1/2 นิ้ว แล้วใช้ชุดตัดเส้นใยอย่างปราณีตทำการตัดปลายของเส้นใยนำแสงโดยหางใยมีดขึ้น ทำการตรวจสอบพื้นผิวของเส้นใยซึ่งควรราบเรียบและปราศจากข้อบกพร่อง

##### ในสภาวะปกติ

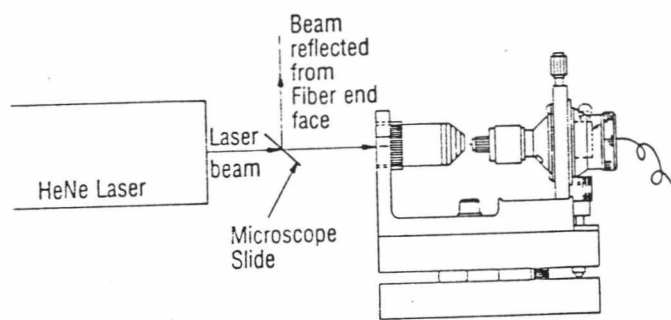
- ขั้นตอนที่ 1

ขั้นแรก ทำการวางตัวเชื่อมต่อและแหล่งกำเนิดแสงฮีเลียม-นีออนให้อยู่ในแนวเดียวกันดังรูป 3.1 เพื่อให้ลำแสงจากแหล่งกำเนิดสามารถเข้าไปในสันใยได้มากที่สุดแล้วต่อเลนส์ 20X เข้ากับตัวเชื่อมต่อเพื่อช่วยในการรวมแสง แล้วนำเส้นใยนำแสงที่ทราบความยาวที่แน่นอนต่อเข้าไปในตัวเชื่อมต่อแสง โดยจัดให้เส้นใยอยู่ในแนวแกนที่จะสามารถรับแสงได้มากที่สุด นำปลายของเส้นใยอีกด้านต่อเข้ากับตัวตรวจวัดแสง ซึ่งต่ออยู่กับชุดอุปกรณ์หาค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง รุ่น MS 9020B ดังรูป 3.2

ลำแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นรังสีขนานโดยใช้เลนส์แล้วจะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นแสงสีเดียวโดยใช้ตัวกรอง(filter) รังสีขนานของแสงสีเดียวจะถูกรวมไปบนพื้นผิวดอนปลายของเส้นใยโดยใช้เลนส์อีกตัวหนึ่งที่มีค่าการเปิดรับให้แสงผ่านค่าเดียวกันกับเส้นใยนำแสงแล้วจะถูกทำให้เบาบางลงระหว่างการส่งผ่านตลอดเส้นใย หลังจากนั้นก็จะถูกส่งผ่านออกไป

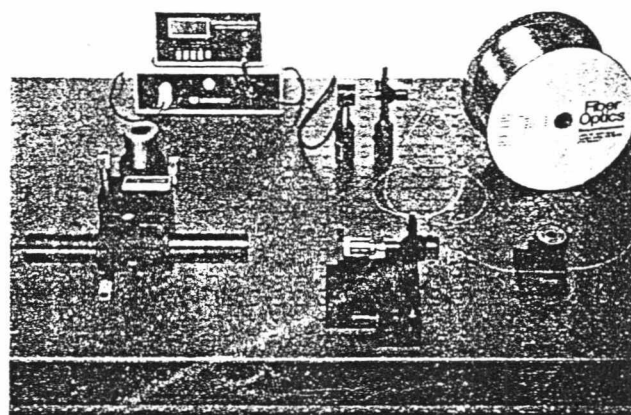
ยังพื้นผิวตอนปลายอีกด้านหนึ่งของเส้นใยนำแสง ลำแสงที่ถูกส่งผ่านนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกระแสไฟฟ้าโดยเครื่องโฟโตไดโอดและจะถูกขยายโดยตัวขยายลำแสง ชุดอุปกรณ์วัดค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงจะทำการวัดกำลังไฟฟ้าที่ถูกขยายแล้ว

หมายเหตุ สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงคือ การทดลองนี้ควรทำการทดสอบในที่ที่ไม่มีแสง



รูปที่ 3.1

แสดงการเชื่อมต่อเส้นใยนำเข้ากับแหล่งกำเนิด



รูป 3.2

แสดงการต่อชุดอุปกรณ์ในการหาค่าการสูญเสียแสงของเส้นใยนำแสง

- ขั้นตอนที่ 2

อ่านค่าพลังงานที่ออกมาจากส่วนปลายของเส้นใยนำแสงจากชุดอุปกรณ์วัดค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง ทำการบันทึกค่าพลังงานที่อ่านได้พร้อมทั้งค่าความยาวของเส้นใย

- ขั้นตอนที่ 3

ทำการตัดเส้นใยนำแสงออกให้มีความยาวลดลงจากเดิมและทำการวัดเช่นเดียวกันกับวิธีข้างต้น

- ขั้นตอนที่ 4

การคำนวณค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง (Loss) จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Loss (dB/km)} = (10/L) \log (I_2/I_1) \quad (12)$$

เมื่อ

L คือ ความยาวของเส้นใยส่วนที่ตัดออก (กิโลเมตร)

$I_1$  คือ ค่าศักดาไฟฟ้าที่วัดได้จากเส้นใยส่วนที่มีความยาวเริ่มต้น (W)

$I_2$  คือ ค่าศักดาไฟฟ้าที่วัดได้จากเส้นใยส่วนที่เหลือ (W)

วิธีวัดค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นเรียกว่า "วิธีคัทแบ็ก"(Cutback Method) โดยมีการปล่อยแสงเข้าสู่เส้นใยแล้วทำการวัดค่าพลังงานที่ออกจากปลายของเส้นใยนำแสงที่มีความยาวที่แน่นอนสองความยาว เหตุผลที่ทำเช่นนี้เนื่องจากเพื่อให้มั่นใจได้ว่า การสูญเสียที่วัดได้นี้ขึ้นกับการสูญเสียของเส้นใยนำแสง ไม่ได้เกิดจากการสูญเสียเมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงถูกเชื่อมต่อเข้าไปในเส้นใยนำแสง

การคำนวณค่าการลดทอน (Attenuation) คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Attenuation} = (P_0 - P_1)/P_0 \quad (13)$$

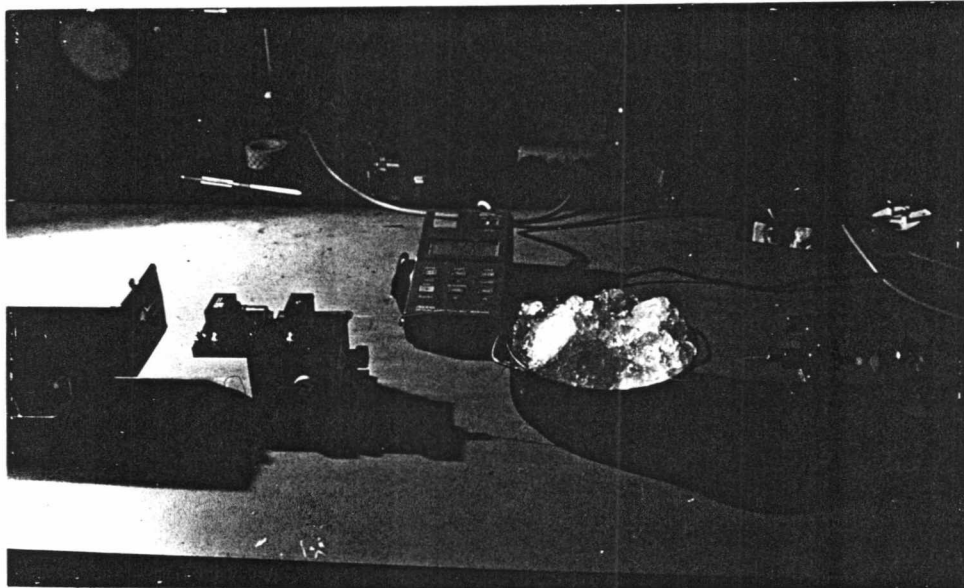
เมื่อ

$P_0$  คือ ค่ากำลังแสงเริ่มต้นเมื่อไม่มีแรงกระทำ (W)

$P_1$  คือ ค่ากำลังแสงที่วัดได้เมื่อให้แรงกระทำที่ค่าต่างๆ (W)

## 1.2 การหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงที่อุณหภูมิสูงและต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1.1 แต่ให้เส้นใยนำแสงอยู่ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูงและต่ำกว่าอุณหภูมิห้องโดยใช้หลอดนำความร้อนและน้ำแข็งตามลำดับ บันทึกค่าพลังงานที่ได้จากชุดอุปกรณ์วัดค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง แสดงดังรูป 3.3



รูป 3.3

แสดงการทดสอบในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

## 1.3 การหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงในสภาวะที่มีแรงกดต่างๆ กัน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1.1 โดยให้ก้อนน้ำหนักที่มีน้ำหนักต่างๆ กันวางทับบนเส้นใยนำแสง แล้วบันทึกค่าพลังงานที่อ่านได้จากชุดอุปกรณ์วัดค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง แสดงดังรูป 3.4 โดยต้องให้แรงกระทำที่ตำแหน่งห่างจากปลายที่ทำการตรวจวัดสัญญาณให้เท่ากันในทุกๆ เส้นใย



รูป 3.4

แสดงการทดสอบในสถานะที่มีแรงกดต่างๆกัน

## 2. การหาค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA)

### การเตรียมส่วนปลายของเส้นใยนำแสง

ทำการปลอกส่วนที่ห่อหุ้มเส้นใยออกประมาณ 1-1.5 นิ้วโดยใช้ชุดตัดเส้นใยเพื่อที่จะตัดส่วนปลายของเส้นใยออกโดยให้ใบมีดหงายขึ้น ควรทำอย่างปราณีตและทำการตรวจสอบพื้นผิวของเส้นใย ซึ่งควรจะเรียบและปราศจากข้อบกพร่อง

### 2.1 การทดลองหาค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน

- ขั้นตอนที่ 1 นำแหล่งกำเนิดแสงฮีเลียม-นีออน วางลงบนแผ่นเหล็กแล้วทำการไขสกรูให้แน่น
- ขั้นตอนที่ 2 นำปลายเส้นใยนำแสงใส่ลงในอุปกรณ์จับยึดเส้นใยแล้วนำไปต่อกับชุดปรับตำแหน่งเส้นใย แล้วทำการปรับเพื่อให้ปลายของเส้นใยนำแสงอยู่ในแนวเดียวกับลำแสงจากแหล่งกำเนิด

- ขั้นตอนที่ 3 นำปลายอีกข้างของเส้นใยใส่ลงในอุปกรณ์จับยึดเส้นใยอีกอันหนึ่งแล้วนำไปต่อกับชุดปรับตำแหน่งเส้นใย
- ขั้นตอนที่ 4 เมื่อทำการป้อนแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสงแล้ว ใช้ฉากขนาด 3 x 5 นิ้ว เป็นตัวรับจุดของลำแสงที่ออกมาโดยวางฉากที่ตำแหน่งต่างๆกัน แล้ววัดระยะทางจากปลายของเส้นใยนำแสงจนถึงฉากรับ(L) และวัดความกว้างของจุดลำแสงที่ปรากฏบนฉาก(W)
- ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) ของเส้นใยนำแสงได้จากความสัมพันธ์ดังนี้คือ
- $$NA = \sin^{-1}(W/2L)$$

### 3. การทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงดึง

ตัดเส้นใยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 มม. ให้มีความยาวประมาณ 25 ซม. จำนวน 5 เส้น แล้วนำไปทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง ให้มีอัตราเร็วในการดึง 5 มม./วินาที วิธีการทดสอบเป็นไปตาม American Standard Test Method (ASTM) [12]

### 4. การทดสอบความสม่ำเสมอของโครงสร้างเส้นใยนำแสง

ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยนำแสงที่ตำแหน่งต่างๆ ทุกๆ 1 ซม. โดยใช้ไมโครมิเตอร์ แล้วดูแนวโน้มการกระจายของค่าที่ได้

### 3.3.2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงเคมี

#### 1. การดำเนินงาน

##### 1.1 การหาโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม.

###### • การเตรียมสารตัวอย่าง

- นำเส้นใยนำแสงมาตัดให้มีขนาดเล็กและบางที่สุดแล้วนำไปชั่งให้น้ำหนักประมาณ 0.05 ก.
- ตวงตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟูรานให้ได้ปริมาตร 15 ลบ.ซม. ใส่ไว้ในปิกเกอร์ แล้วละลายเส้นใยนำแสงที่อุณหภูมิประมาณ 50 °ซ
- เทสารละลายลงในจานเพาะเชื้อเพื่อเตรียมเป็นแผ่นฟิล์ม

###### • การทดสอบโดยใช้เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

- นำแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้วางลงบนเซลล์โซเดียมคลอไรด์ แล้วนำเซลล์อีกอันหนึ่งมาประกบจากนั้นบรรจุลงในที่บรรจุเซลล์ ( Cell Holder)
- ดำเนินการวัดค่าหาหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่างโดยใช้เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เลขคลื่นช่วง 3600-600  $\text{ซม}^{-1}$  จำนวนสแกนเท่ากับ 16 ครั้ง ใช้เครื่องวัด (detector) ประเภท Deuterate Triglycine Sulfate (DTGS)

###### • การทดสอบโดยใช้เครื่องรามานสเปกโตรสโคปี

- นำแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้วางลงบนเซลล์โซเดียมคลอไรด์ แล้วนำเซลล์อีกอันหนึ่งมาประกบจากนั้นบรรจุลงในที่บรรจุเซลล์ ( Cell Holder)
- ดำเนินการวัดค่าหาหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่างโดยใช้เครื่องรามานสเปกโตรสโคปีโดยใช้หลอดนีโอไดเมียม แยก (Neodymium YAG Lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงและใช้ตัวตรวจวัดชนิดอินเดียมแกลเลียม อะซีไนด์ (Indium Gallium Arsenide Detector, InGaAs)

## • การทดสอบโดยใช้เครื่องเจลเปอร์มิเอชันโครมาโตกราฟี

- นำเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงมาตัดให้ละเอียด แล้วเตรียมเป็นสารละลายให้มีความเข้มข้นที่แน่นอนประมาณ 1% (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้เตตระไฮโดรฟูแรน (THF) เป็นตัวทำละลาย
- กรองสารละลายที่ได้ผ่านไมโครฟิลเตอร์ (Micro-filter) ที่ทำด้วยไนลอน
- นำไปตรวจวัดน้ำหนักโมเลกุล

## 2. การหาโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม.

### 1.3 การทดสอบหาโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม.

- นำเส้นใยนำแสงมาตัดให้บางและเล็กที่สุด แล้วนำไปชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 0.1 ก.
- เตรียมตัวทำละลายคลอโรฟอร์มให้ได้ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ใส่ในบีกเกอร์ไว้แล้วนำเส้นใยนำแสงที่เตรียมไว้ใส่ลงไป คนให้ละลายโดยใช้ความร้อนช่วยประมาณ 50 °ซ
- สารจะละลายได้เพียงบางส่วนจึงต้องนำไปกรองเพื่อนำส่วนที่เป็นสารละลายไปทดสอบ โดยใช้เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เลขคลื่นช่วง 3600-600 ซม<sup>-1</sup> จำนวนสแกนเท่ากับ 16 ครั้ง ใช้เครื่องวัด (detector) ประเภท Deuterate Triglycine Sulfate (DTGS)

### 1.4 การทดสอบหาสารตัวเติมในเส้นใยนำแสง

- นำเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงตัดเป็นชิ้นแล้วซอยให้บางที่สุด นำไปชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 1 ก.
- นำเส้นใยที่ตัดได้ใส่ลงในทิมเบลซึ่งบรรจุอยู่ในชุดเครื่องมือการสกัด
- สกัดน้ำออกจากตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม กรอง แล้วตวงให้ได้ปริมาตร 200 ลบ.ซม.
- นำใส่ในขวดกั้นกลมแล้วพร้อมเติมเศษกระเบื้องเล็กน้อย แล้วนำไปต่อเข้ากับชุดสกัดโดยวางอยู่บนเครื่องให้ความร้อนแบบกั้นกลม
- ต่อสายยางจากอุปกรณ์ให้ความเย็นเข้ากับชุดเครื่องมือการสกัดที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว
- ให้ความร้อนแก่ตัวทำละลายที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของสารเล็กน้อยเพื่อให้สารระเหยและควบแน่นลงมาสกัดเส้นใยที่อยู่ในทิมเบล
- ทำการสกัดโดยตั้งทิ้งไว้ 24 ชม.

- ทำการทดสอบสารละลายที่สกัดได้โดยใช้เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี โดยใช้เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เลขคลื่นช่วง  $3600-600 \text{ cm}^{-1}$  จำนวนสแกนเท่ากับ 16 ครั้ง ใช้เครื่องวัด (detector) ประเภท Deuterate Triglycine Sulfate (DTGS) และเครื่องรามานสเปกโตรสโคปี โดยใช้หลอดนีโอไดเมียม แยก (Neodymium YAG Lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงและใช้ตัวตรวจวัดชนิดอินเดียม แกลเลียม อะซีไนด์ (Indium Gallium Arsenide Detector, InGaAs)

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองหาค่าปริมาณการลดทอนและค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงของเส้นใยที่สภาวะต่าง ๆ กัน

4.1.1. เมื่อมีการให้แรงกระทำต่อเส้นใยโดยใช้แรงกดค่าต่าง ๆ กัน

จากตาราง 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการลดทอนของแสงเมื่อให้แรงกดลงบนเส้นใยนำแสง พบว่าเมื่อให้แรงกดกับเส้นใยในปริมาณน้อยๆ ค่าปริมาณการลดทอนของแสงน้อยด้วย และเมื่อเพิ่มปริมาณแรงกดมากขึ้นค่าปริมาณการลดทอนของแสงเพิ่มมากขึ้นด้วยดังปรากฏตามกราฟในรูป 4.1 และจากสมการ (14) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงที่วัดได้กับค่าความเข้มแสงที่อ้างอิงซึ่งสนับสนุนผลการทดลองดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

**หมายเหตุ** เนื่องจากในการทดลองนี้ไม่ได้กำหนดตำแหน่งที่ทำกรกดเส้นใยที่แน่นอน ดังนั้นจึงต้องทำการคำนวณค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงในรูปการลดทอน

$$\text{Attenuation} = (P_0 - P_1)/P_0 \quad (14)$$

เมื่อ

$P_0$  เป็นกำลังเริ่มต้นเมื่อไม่มีแรงกระทำ

$P_1$  เป็นค่ากำลังที่วัดได้

#### 4.1.2 เมื่อทำการทดลองในสภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ความยาวของเส้นใยนำแสงต่างกัน

##### • เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ

จากผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4.2 พบว่า เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เส้นใยพอลิเมอร์นำแสงมีค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนไปทำให้โครงสร้างภายในของเส้นใยเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงส่งผลให้สมบัติของเส้นใยจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้นเมื่อแสงเดินทางผ่านเข้าไปในเส้นใยที่อุณหภูมิสูง ความเร็วในการเดินทางของแสงจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ด้วยจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของแสงกับความเร็วของแสงจากแหล่งกำเนิดที่แสงผ่านเข้าไปในเส้นใย

$$n = c/v \quad (15)$$

เมื่อ

$c$  คือความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ  $3.0 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที

$v$  คือความเร็วของแสงจากแหล่งกำเนิดที่ส่งผ่านเข้าไปในเส้นใย เป็นม./วินาที

$n$  คือค่าดัชนีการหักเหของแสง

โดยสรุปแล้ว เมื่อทำการส่งผ่านแสงเข้าไปในเส้นใย ณ อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการสูญเสียการส่งผ่านแสงมากขึ้นเนื่องจากแสงเดินทางภายในเส้นใยได้ช้าลงอันเป็นผลจากโครงสร้างระดับโมเลกุลเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงมีค่าต่ำมาก กล่าวคือแสงที่เดินทางผ่านเส้นใยจะเกิดการกระเจิงออกจากเส้นใยที่อุณหภูมิสูงได้มากกว่าอุณหภูมิต่ำ

##### • เมื่อลดอุณหภูมิ

เนื่องจากในการทดลองได้ใช้น้ำแข็งเป็นอุปกรณ์ทำให้อุณหภูมิลดลง ความชื้นจากน้ำแข็งมีผลต่อค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงเนื่องจากความชื้นอาจไปก่อกวนระเหยไตรเจนกับอะตอมของบางอะตอมในโมเลกุลของเส้นใยนำแสง ทำให้การส่งผ่านแสงผ่านเส้นใยนำแสงได้ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นการสูญเสียการส่งผ่านแสงจึงมีค่าสูงมากกว่าในกรณีที่ทำการลดอุณหภูมิโดยไม่ใช้น้ำแข็ง ประกอบกับแรงกดจากน้ำแข็งมีผลต่อค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงด้วย

สำหรับการทดลองในส่วนนี้จึงยังไม่อาจสรุปผลได้อย่างชัดเจนว่า ความสามารถในการส่งผ่านแสง ณ อุณหภูมิต่ำจะน้อยกว่า ณ อุณหภูมิสูงหรือไม่ แต่อย่างไรก็ตามน่าจะมีแนวโน้มในทำนองเดียวกันกับกรณีของการเพิ่มอุณหภูมิตามเหตุผลดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

#### 4.1.3 เมื่อทำให้เส้นใยเกิดการโค้งงอ (bending)

จากการทดลองพบว่า เมื่อทำให้เส้นใยนำแสงเกิดการโค้งงอทำให้มีค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในตาราง 4.3 เนื่องจากเมื่อแสงเดินทางผ่านไปถึงส่วนที่โค้งงอของเส้นใย ความเข้มแสงส่วนหนึ่งเกิดการสูญเสียในรูปการกระเจิงออกสู่ภายนอก

#### 4.2 ผลการทดลองหาค่าขนาดการเปิดรับแสง(Numerical Aperture (NA)) ของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

จากผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4.4 พบว่า เมื่อวางฉากรับแสงในระยะห่างจากเส้นใยนำแสงเฉลี่ย 3.5 ซม. และวัดความกว้างของจุดแสงที่ปรากฏบนฉากรับได้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.78 ซม. สามารถคำนวณขนาดของการเปิดรับให้แสงผ่านมีค่าเฉลี่ย 0.7 เรเดียน ซึ่งค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 0.5 เรเดียน

#### 4.3 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

จากผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า เส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม. มีค่าการยืดที่จุดขาดเฉลี่ย 64 มม. ความเค้นที่จุดขาดเฉลี่ย 65.80 นิวตัน/มม.<sup>2</sup> และมอดูลัสเฉลี่ย 629.2 นิวตัน/มม.<sup>2</sup> สามารถสรุปได้ว่าเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงที่นำมาทดสอบนี้มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงมากพอที่จะนำไปใช้งานโดยไม่เกิดการแตกหักได้โดยง่าย

#### 4.4 ผลการทดสอบการวัดความสม่ำเสมอของโครงสร้างเส้นใยนำแสง

จากผลการทดสอบการวัดความสม่ำเสมอของโครงสร้างเส้นใยนำแสงพบว่า เส้นใยนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม. มีความสม่ำเสมอของโครงสร้างค่อนข้างดีดังแสดงในรูป 4.3 ซึ่งส่งผลให้เส้นใยพอลิเมอร์นำแสงนี้มีค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงค่อนข้างต่ำ

ตาราง 4.1

แสดงผลการค่าการลดทอนที่สภาวะต่างๆสำหรับเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม. (ยาว  $0.69 \times 10^{-4}$  ,  $1.84 \times 10^{-4}$  และ  $2.53 \times 10^{-4}$  กม.)

ขนาดแรงกด (นิวตัน)	ค่าปริมาณการลดทอน		
	$L = 0.69 \times 10^{-4}$ กม.	$L = 1.84 \times 10^{-4}$ กม.	$L = 2.53 \times 10^{-4}$ กม.
0	0.005	0.017	0.022
0.98	0.016	0.024	0.029
1.96	0.021	0.026	0.032
4.9	0.037	0.043	0.047
9.8	0.051	0.069	0.074
19.6	0.062	0.076	0.080

ตาราง 4.2

แสดงผลของอุณหภูมิต่อค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม. (ความยาวของเส้นใยนำแสง =  $2.53 \times 10^{-4}$  กม.)

อุณหภูมิที่ทำการทดลอง ( $^{\circ}$ ซ)	ค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง (เดซิเบลต่อกิโลเมตร)
0	1793.77
25	829.10
40	893.20
60	990.20
80	1071.10
100	1348.21

ตาราง 4.3

แสดงค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง  
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม.เมื่อเกิดการโค้งงอ  
(ความยาวของเส้นใย =  $2.53 \times 10^{-4}$  กม.)

ความยาวในการส่งผ่านข้อมูล (กม.)	ค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง (เดซิเบลต่อกิโลเมตร)	
	ที่สภาวะปกติ	เมื่อทำให้เส้นใยเกิดการโค้งงอ
$2.53 \times 10^{-4}$	829.1	943.6

ตาราง 4.4

แสดงผลของค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่านของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง  
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 mm.

การทดลอง ครั้งที่	ขนาดการเปิดรับแสง (องศา)	ขนาดการเปิดรับแสง (เรเดียน)
1	42.1	0.7
2	42.5	0.7
3	40.4	0.7
4	51.6	0.9
5	44.4	0.8
6	41.5	0.7
7	43.6	0.8
8	42.1	0.7
9	39.5	0.7
ค่าเฉลี่ย		0.7
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.1

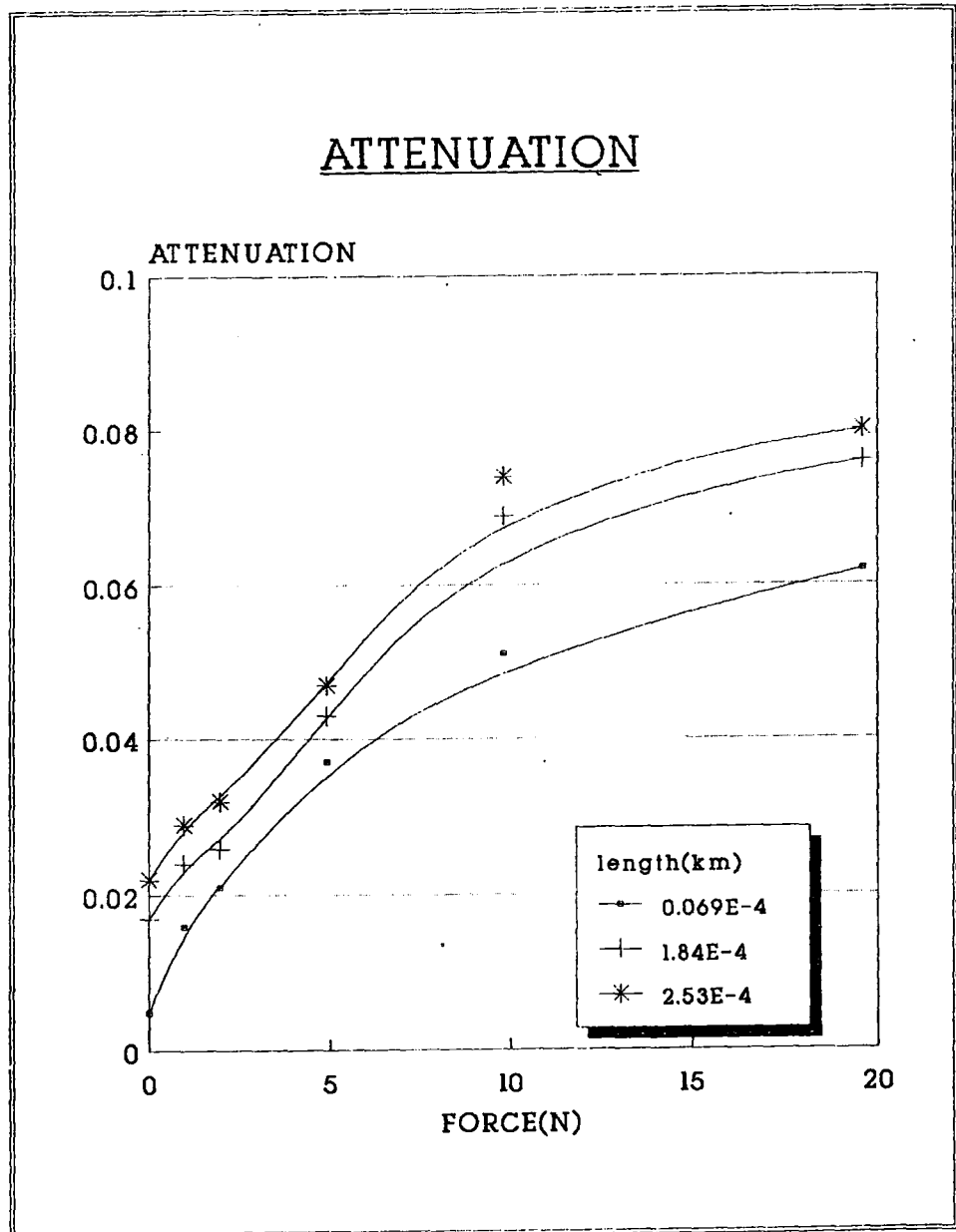
ตาราง 4.5

แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง  
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม. (ความยาวของเส้นใย 20 ซม.)

เส้นที่	น้ำหนักสูงสุดที่ให้ (N)	การยืดที่จุดขาด (mm)	ความเค้นที่จุดขาด (N/mm <sup>2</sup> )	มอดุลัส (N/mm <sup>2</sup> )
1	32.23	85.14	72.96	581.7
2	28.04	33.11	60.01	917.7
3	28.04	60.88	63.03	580.4
4	29.56	66.76	66.49	480.2
5	29.37	74.08	66.49	585.9
ค่าเฉลี่ย	29.45	64.00	65.80	629.2
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	1.71	19.49	4.83	167.3

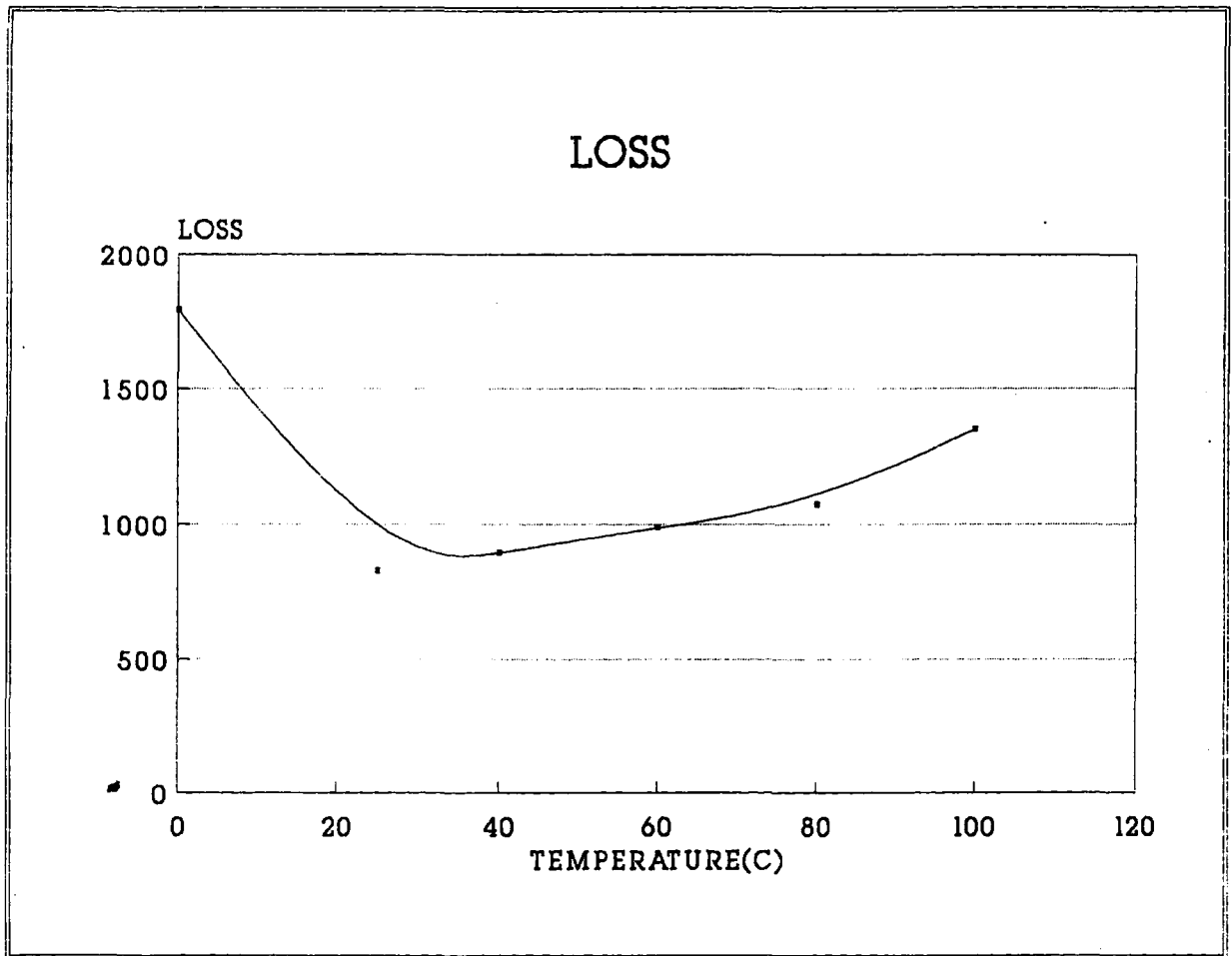
รูป 4.1

กราฟแสดงผลของแรงกระทำที่ต่อค่าปริมาณ  
การลดทอนความเข้มแสงที่ผ่านเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง  
(ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม., ความยาว  $0.69 \times 10^{-4}$ ,  $1.84 \times 10^{-4}$ ,  $2.53 \times 10^{-4}$  กม.)



รูป 4.2

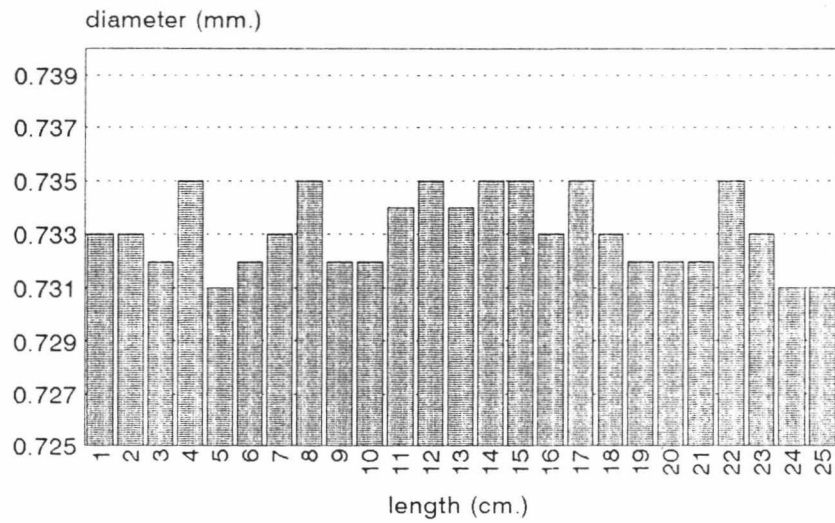
กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง  
ของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม.  
(ความยาวเส้นใย  $2.53 \times 10^{-4}$ )



รูป 4.3

กราฟแสดงการกระจายของความสม่ำเสมอของเส้นใยนำแสง  
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม. (ความยาว 93.1 ซม. โดยวัดทุกๆ 5 ซม.)

### UNIFORMITY OF OPTICAL FIBER



## การทดสอบทางด้านเคมี

### 4.5 โครงสร้างเคมีของเส้นใยนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม.

อินฟราเรดและรามานสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม. แสดงในรูป 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ แถบหรือพีคที่เกิดขึ้น ณ ความยาวคลื่นต่างๆกันสามารถบ่งบอกถึงประเภทของหมู่ที่ทำหน้าที่เฉพาะ (functional group) ของโมเลกุลได้ ตาราง 4.6 และตาราง 4.7 สรุปการวิเคราะห์หมู่ที่ทำหน้าที่เฉพาะที่สำคัญบนโมเลกุลของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง ซึ่งทำการศึกษาโดยเทคนิคอินฟราเรดและรามานสเปกโตรสโคปีตามลำดับ ประกอบกับเมื่อทำการเทียบอินฟราเรดและรามานสเปกตรัมของพอลิ(เมทิล เมธาไครเลต) ที่นำมาจากท้องตลาดพบว่า แถบทุกแถบอยู่บริเวณเลขคลื่นเดียวกัน จากข้อมูลเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างเคมีของเส้นใยนำแสงขนาด 0.73 มม. นี้คือพอลิ(เมทิล เมธาไครเลต)

ตาราง 4.6 แสดงการวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยนำแสงขนาด 0.73 มม.'

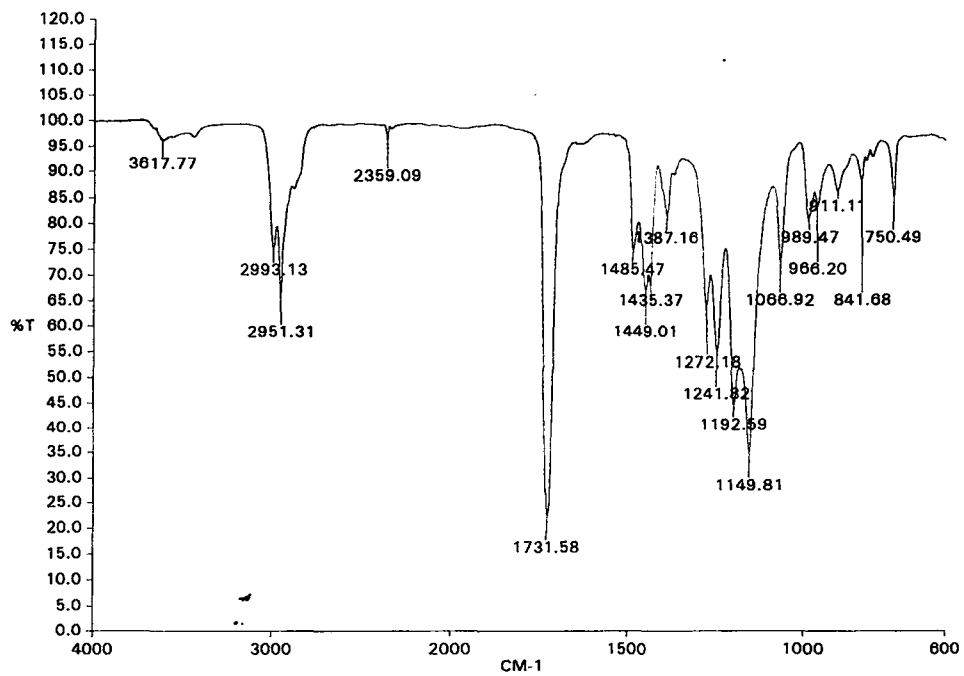
ช่วงความถี่ (cm <sup>-1</sup> )	เปอร์เซ็นต์การส่งผ่าน (%)	หมู่ฟังก์ชัน
2993.15	72	$\delta_{\text{CH}_3}$ , as
2951.31	60	$\delta_{\text{CH}_2}$ , as
1731.58	18	$\delta_{\text{C=O}}$
1241.82	47	$\delta_{\text{C-O}}$

ตาราง 4.7 แสดงการวิเคราะห์รามานสเปกตรัมของเส้นใยนำแสงขนาด 0.73 มม.'

ช่วงความถี่ (cm <sup>-1</sup> )	ความเข้ม	หมู่ฟังก์ชัน
2970	6.64	$\delta_{\text{CH}_3}$ , as
2850	1.25	$\delta_{\text{CH}_2}$ , as
1740	0.6	$\delta_{\text{C=O}}$
930	1.2	$\delta_{\text{C-O}}$

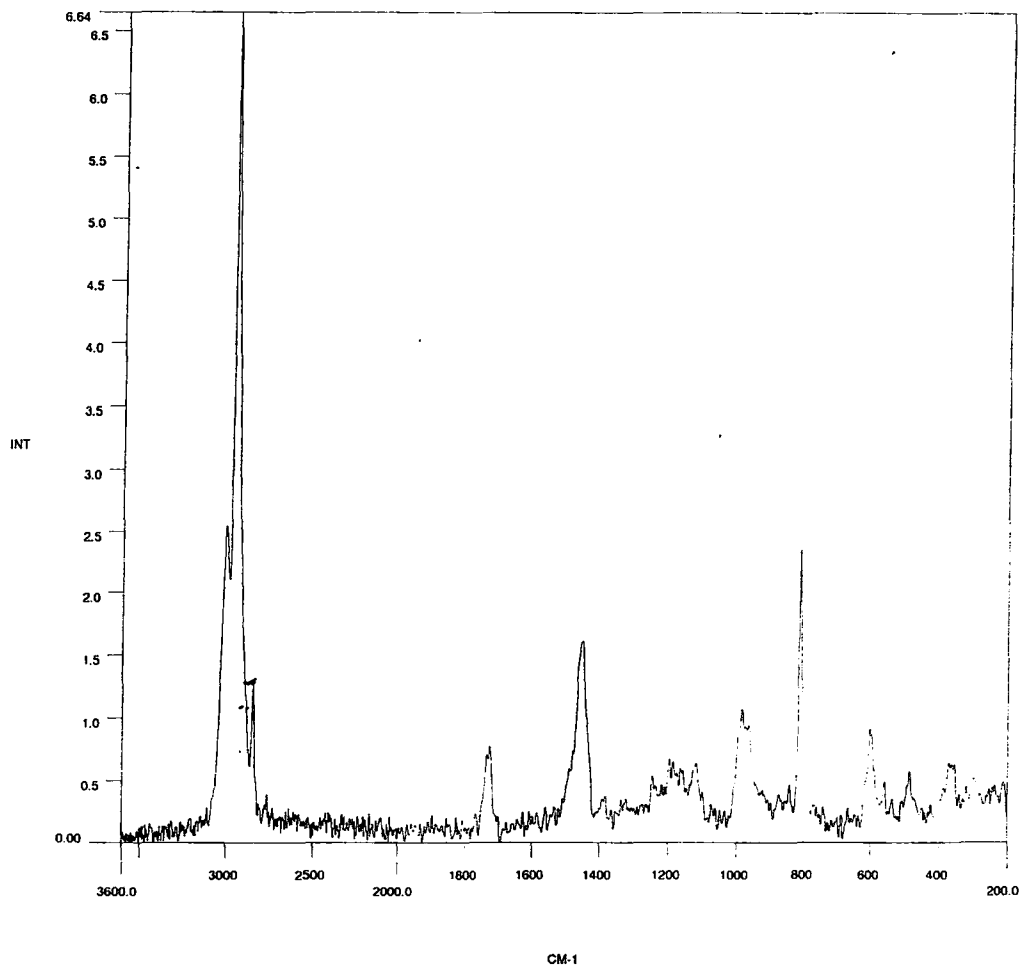
รูป 4.4

แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม



รูป 4.5

แสดงรามานสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม



#### 4.6 มวลโมเลกุลและการกระจายตัวของมวลโมเลกุลของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม.

ในการศึกษานี้ได้ใช้เครื่องเจลเพอร์มิเอชันโครมาโตกราฟี (Gel Permeation Chromatography) หาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยและการกระจายน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงโดยใช้เตตระไฮโดรฟิวแรนเป็นตัวทำละลายหรือ Eluent และเฟสที่อยู่กับที่ (Stationary Phase) คือ คอลัมน์พอลิสไตรีนเชื่อมโยง ซึ่งมีขีดความสามารถในการแยกขนาดโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่แตกต่างกันออกจากกันในช่วงน้ำหนักโมเลกุล จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ข้อมูลดังแสดง

น้ำหนักโมเลกุลสูงสุด (Peak Molecular Weight ( $M_p$ ))	=	1111000
น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามจำนวน (Number Average( $M_n$ ))	=	482800
น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามความหนืด (Viscous average( $M_v$ ))	=	103800
น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามน้ำหนัก (Weight Average( $M_w$ ))	=	127400
น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามแซด (Z Average( $M_z$ ))	=	2500000
Polydispersity	=	2.64

#### 4.6 โครงสร้างเคมีของเส้นใยนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม.

อินฟราเรดและรามานสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. แสดงในรูป 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ ตาราง 4.6 และตาราง 4.7 สรุปการวิเคราะห์หมู่ที่ทำหน้าที่เฉพาะที่สำคัญบนโมเลกุลของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงซึ่งทำการศึกษาโดยเทคนิคอินฟราเรดและรามานสเปกโตรสโคปีตามลำดับ เมื่อทำการเทียบอินฟราเรดและรามานสเปกตรัมของพอลิ(เมทิล เมธาไครเลต)ที่นำมาจากท้องตลาดพบว่า แถบที่ความยาวคลื่นต่างๆอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน และพบว่ามีแถบของ  $C=C$  ปรากฏขึ้นที่เลขคลื่น  $1650.79 \text{ cm}^{-1}$  จากข้อมูลเหล่านี้สามารถสันนิษฐานเบื้องต้นได้ว่าเส้นใยนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม.เกิดการสลายโครงสร้างเคมีได้โมเลกุลที่มีพันธะคู่คาร์บอน-คาร์บอนเกิดขึ้น หรือเส้นใยนำแสงนี้มีส่วนประกอบทางเคมีมากกว่าหนึ่งชนิด กล่าวคืออาจเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิ(เมทิล เมธาไครเลต)กับพอลิเมอร์

ตาราง 4.8

แสดงผลการทดสอบคุณลักษณะโดยใช้เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี

ช่วงความถี่ (cm <sup>-1</sup> )	เปอร์เซ็นต์การส่งผ่าน (%)	หมู่ฟังก์ชัน
2954.43	14	$\delta_{\text{CH}_3}$ , as
2951.31	18	$\delta_{\text{CH}_2}$ , as
1748.13	39	$\delta_{\text{C=O}}$
1650.79	88	$\delta_{\text{C=C}}$
1259.45	32	$\delta_{\text{C-O}}$

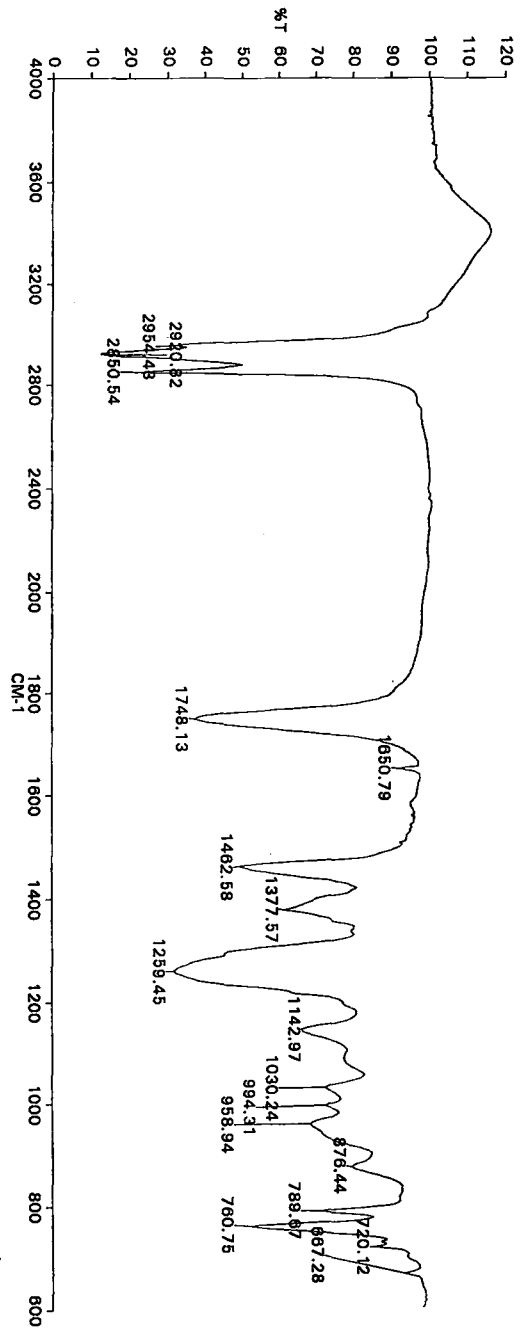
ตาราง 4.9

แสดงผลการทดสอบคุณลักษณะโดยใช้เครื่องรามานสเปคโตรสโคปี

ช่วงความถี่ (cm <sup>-1</sup> )	เปอร์เซ็นต์การส่งผ่าน (%)	หมู่ฟังก์ชัน
2960	14.7	$\delta_{\text{CH}_3}$ , as
2840	2.4	$\delta_{\text{CH}_2}$ , as
1740	1.6	$\delta_{\text{C=O}}$
1650	3.4	$\delta_{\text{C=C}}$
830	2.8	$\delta_{\text{C-O}}$

รูป 4.6

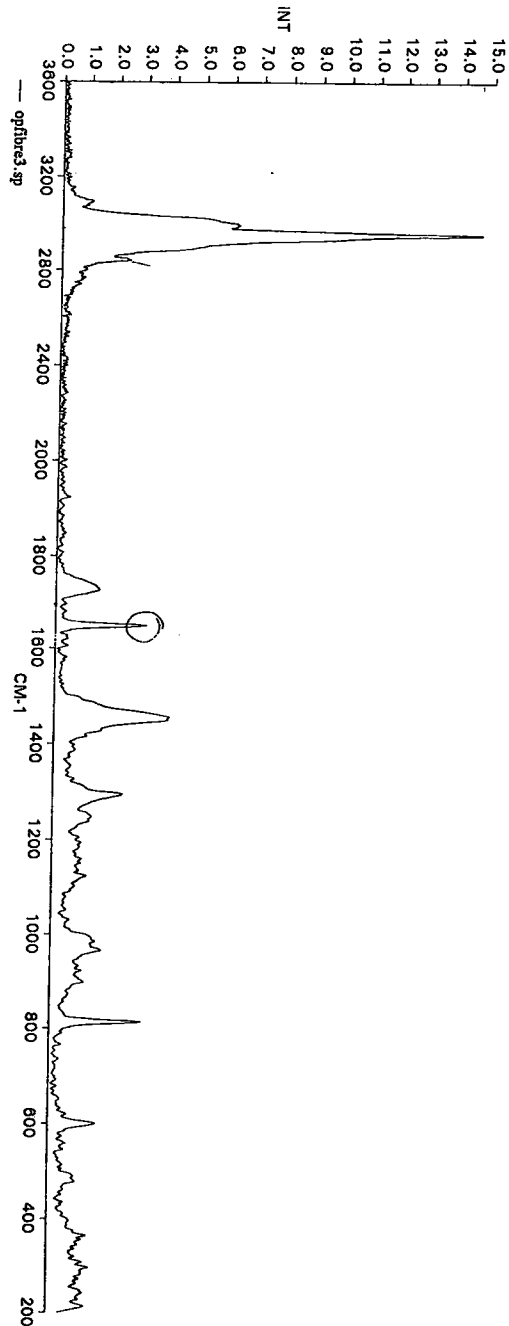
แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอริ์น้ำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม.



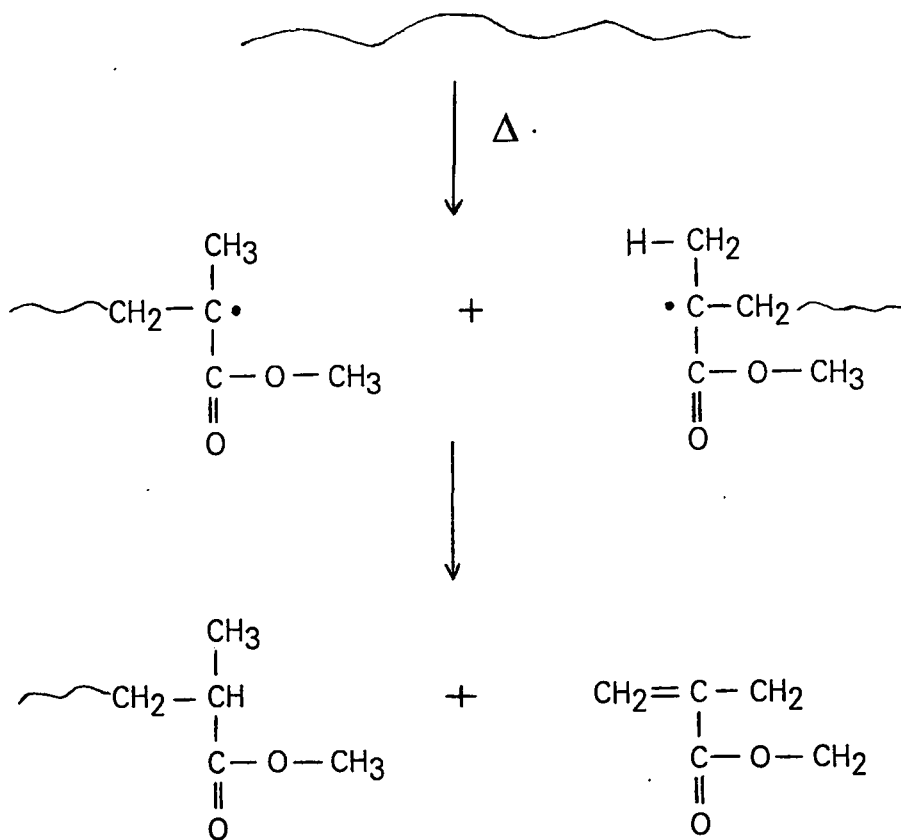
Date: 1/27/94

รูป 4.7

แสดงรามานสเปกตรัมของเส้นใยพอลิเมอรรีนาแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม.



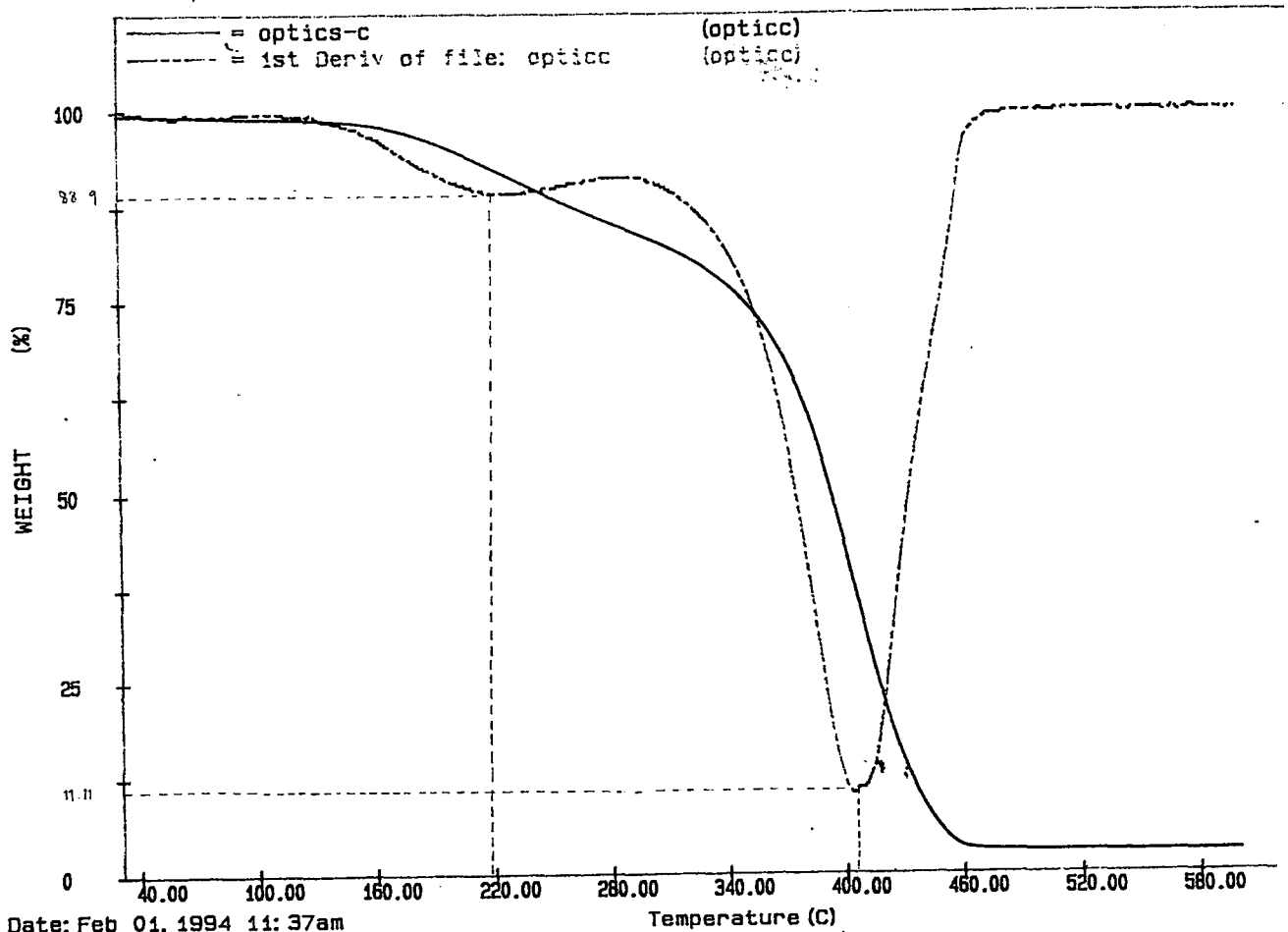
จากการสอบถามกับบริษัทที่ให้ความอนุเคราะห์เส้นใยนำแสงทราบว่าเส้นใยพอลิเมอรรำนำแสงที่ได้มาได้ผ่านการใช้งานมาแล้ว จึงอาจสันนิษฐานได้ว่าเส้นใยนำแสงนี้เกิดการสลายพันธะอันเนื่องมาจากพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเดินทางของแสงผ่านเส้นใย โดยแสงที่ใช้นั้นมีความเข้มสูง (นั่นคือพลังงานความร้อนสูง) เป็นที่ทราบโดยทั่วไปว่าพอลิ(เมทิล เมธาไครเลต)สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงเคมีได้ง่ายเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง จึงสามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่าพันธะคู่คาร์บอน-คาร์บอนที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากแตกพันธะคาร์บอน-คาร์บอนบนสายโซ่ของพอลิเมอริ์ได้อนุมูลอิสระจากนั้นอนุมูลอิสระอาจรับอิเล็กตรอนหนึ่งอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนซึ่งอยู่ที่ปลายโมเลกุลของอีกสายโซ่หนึ่ง จึงได้พอลิเมอริ์ที่ปลายสายโซ่หนึ่งเป็นพันธะเดี่ยวส่วนอีกปลายสายโซ่หนึ่งเกิดเป็นพันธะคู่ขึ้น ตามกลไกปฏิกิริยาดังแสดงข้างล่างนี้



เพื่อเป็นการยืนยันข้อสรุปดังกล่าวข้างต้นได้นำเส้นใยพอลิเมอรรำนำแสงไปสกัดโดยใช้คลอโรฟอร์ม นาน 36 ชม. ด้วยชุดเครื่องมือการสกัด จากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้ไปทดสอบโดยใช้เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปีและรามานสเปคโตรสโคปี พบว่าพีดที่ปรากฏ

บนสเปกตรัม ณ เลขคลื่นต่างๆกันอยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับแถบที่ปรากฏบนสเปกตรัมของ พอลิ(เมทิล เทธาไครเลท) แต่ในจำนวนน้อยกว่า จึงสามารถยืนยันข้อสรุปข้างต้นได้

นอกจากนั้นได้นำเส้นใยนำแสงนี้ไปทดสอบโดยใช้เครื่อง Thermogravimatic Analyser(TGA) ได้ เทอร์โมแกรมดังแสดงในรูป 4.8 พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพอลิเมอร์ 2 ช่วง กล่าวคือ มีการสลายตัวโครงสร้างเคมีของโมเลกุล 2 ชนิด โดยการสลายตัวแรกเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 220 °ซ น้ำหนักที่สลายไปประมาณ 11% ของน้ำหนักรวมทั้งหมด การสลายตัวที่สองเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 405.0ซ น้ำหนักที่สลายไปประมาณ 77%ของน้ำหนักรวมทั้งหมด คาดว่าน้ำหนักที่สลายไป 11% ของน้ำหนักรวมทั้งหมดคือโมเลกุลที่มีสายโซ่สั้นอันเกิดจากการสลายตัวโดยความร้อนของ พอลิ(เมทิล เมธาไครเลต)



Date: Feb 01, 1994 11: 37am  
 Scanning Rate: 10.0 C/min  
 Sample Wt: 8.290 mg Path: A:\  
 File: OPTICC

Perkin-Elmer TGA7

รูป 4.8

แสดงเทอร์โมแกรมที่ได้จากเครื่อง Thermogravimetric Analyser ของ  
 เส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มม.

จากการวิเคราะห์หาอุณหภูมิการเปลี่ยนคุณสมบัติคล้ายแก้วของเส้นใยนำแสงนี้พบว่า อุณหภูมิ  
 การเปลี่ยนคุณสมบัติคล้ายแก้วมีค่าใกล้เคียงกับพอลิ(มทิล เมธาไครเลต) จึงสามารถสรุปได้ว่า  
 เส้นใยนำแสงนี้ไม่มีการเติมสารเติมแต่ง หากมีการเติมสารเติมแต่งทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยน  
 คุณสมบัติคล้ายแก้วเปลี่ยนแปลงไป

จากการทดสอบหาตัวทำละลายที่เหมาะสมของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงพบว่าเส้นใยนำแสงชนิดนี้มีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายต่างๆ เช่น คลอโรฟอร์มได้น้อยมาก แต่จะเกิดการบวมตัว ดังนั้นโครงสร้างของเส้นใยนำแสงชนิดนี้จะมีบางส่วนเกิดการเชื่อมโยงเป็นแบบโครงร่างตาข่าย

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการทดลอง

ตามโครงการพิเศษนี้ได้ทำการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพและวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

#### สมบัติเชิงกายภาพของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

1. ได้หาค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม. โดยการให้กำลังแสงจากแหล่งกำเนิดเข้าไปในเส้นใยแล้ววัดปริมาณกำลังแสงที่สามารถส่งผ่านออกมาถึงส่วนปลายของเส้นใยด้วยชุดเครื่องมือทดสอบค่าการสูญเสียแสง โดยพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสูญเสียการส่งผ่านแสงดังนี้

1.1 การให้แรงกระทำบนเส้นใยนำแสง โดยใช้ลูกตุ้มน้ำหนักที่มีมวลต่างๆกดลงบนเส้นใย : พบว่าเมื่อให้แรงกระทำต่อเส้นใยนำแสงในปริมาณที่เพิ่มขึ้นค่าการลดทอนการส่งผ่านเพิ่มสูงขึ้นด้วยเนื่องจากแรงที่กระทำบนเส้นใยจะไปรบกวนระบบการส่งผ่านแสง

1.2 ผลของความยาวของเส้นใยที่มีต่อความสามารถในการส่งผ่านแสง พบว่า ความสามารถในการส่งผ่านแสงของเส้นใยนำแสงที่มีขนาดต่างกันมีค่าไม่ตรงตามทฤษฎี คือเส้นที่มีความยาวมากจะต้องเกิดการสูญเสียการส่งผ่านแสงมากกว่าเส้นที่สั้นกว่า ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดสัญญาณมีความไวในการตอบสนองต่อการตรวจวัดมากจึงอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้

1.3 ผลของอุณหภูมิ : โดยทำการเพิ่มและลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้อง พบว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปจากอุณหภูมิห้องหลายๆจะส่งผลให้ค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงมีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิทำให้การจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุลของเส้นใยเปลี่ยนไปซึ่งมีผลต่อการลดทอนการส่งผ่านแสง

1.4 การทำให้เส้นใยเกิดการโค้งงอ : เมื่อเส้นใยเกิดการโค้งงอทำให้ค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากเมื่อแสงเดินทางถึงส่วนที่เกิดการโค้งงอจะเกิดการกระเจิงออกสู่ภายนอกเส้นใย

2. การหาขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน (NA) ทำโดยการส่งผ่านแสงเข้าไปในเส้นใยแล้วนำจากขนาด 3x5 ซม. ไปรับลำแสงที่ส่งออกมาในระยะห่างจากปลายเส้นใยที่ต่างกัน วัดระยะทางวัดความกว้างของลำแสงที่ปรากฏในหลายระยะ และวัดความกว้างของลำแสงที่ได้ พบว่าขนาดของการเปิดรับให้แสงผ่านมีค่าเฉลี่ย 0.7 เรเดียนซึ่งเป็นค่าที่ต่างจากทฤษฎีเล็กน้อย

3. การหาค่าความแข็งแรงดึง พบว่าเส้นใยนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม. มีความแข็งแรงสูงเพียงพอที่จะนำไปใช้ได้ในสภาวะที่มีความเค้นโดยปราศจากการแตกหัก

4. วัดความสม่ำเสมอในโครงสร้างของเส้นใย : พบว่าเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม. มีความสม่ำเสมอของเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยค่อนข้างสูงประมาณ  $0.73 \pm 0.1$  มม. ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการส่งผ่านแสงของเส้นใย

### โครงสร้างเคมีของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

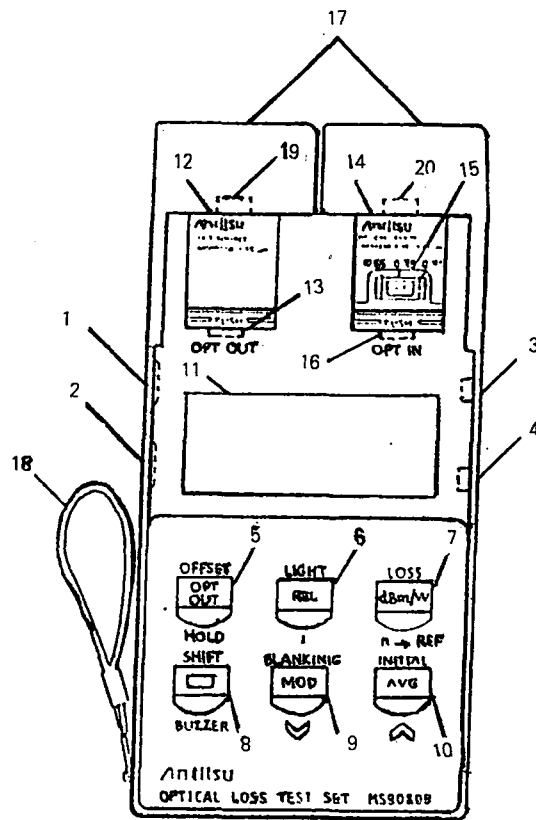
จากการศึกษาหาองค์ประกอบภายในเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มม. โดยเครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปีและรามานสเปคโตรสโคปี พบว่าโครงสร้างเคมีของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงคือ พอลิ(เมทิล เมธาไครเลต) สำหรับองค์ประกอบภายในเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. ซึ่งเป็นเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงที่ผ่านการใช้งานแล้ว พบว่าโครงสร้างเคมีของเส้นใยคือพอลิ(เมทิล เมธาไครเลต) และพบว่าโครงสร้างภายในเส้นใยเกิดการสลายตัวโดยความร้อนได้สารที่มีพันธะคู่คาร์บอน-คาร์บอน การทดสอบโดยใช้

เครื่องรามาานสเปคโตรสโคปี จากการทดสอบความสามารถในการละลายในตัวทำละลาย คลอโรฟอร์ม พบว่าละลายได้น้อยมากแต่เกิดการบวมตัวเนื่องจากโครงสร้างเคมีที่มีการเชื่อมโยง ระหว่างสายโซ่ของพอลิ(เมทิล เมธาไครเลต)เป็นโครงสร้างแบบตาข่าย การเชื่อมโยงอาจเกิดขึ้น เนื่องจากอนุมูลอิสระบนสายโซ่พอลิเมอร์ซึ่งเกิดจากการใช้งาน ไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่แล้วเกิด ปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุดโดยการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระบนสายโซ่ที่ต่างกัน

### ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากมีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง ดังนั้นในการใช้งาน ควรหลีกเลี่ยงผลกระทบจากปัจจัยเหล่านี้เช่น ใช้งานในสภาพปราศจากแรงกระทำ ใช้งานใน สภาวะที่มีอุณหภูมิไม่ต่างจากสภาวะปรกติมากนัก และควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เส้นใยเกิดการโค้งงอ ในระหว่างการใช้งานมากนัก
2. ในการเตรียมเส้นใยนำแสงควรทำให้มีความสม่ำเสมอของโครงสร้างมากที่สุดเนื่องจากความ สม่ำเสมอมีผลอย่างมากต่อการส่งผ่านแสง

ภาคผนวก




รูปแสดงส่วนต่างๆ ของชุดอุปกรณ์วัดการสูญเสียการส่งผ่านแสง



- หมายเลข 1 เป็นปุ่มใช้สำหรับปิดเปิดเครื่อง ถ้าเปิดเครื่องแล้วไม่ได้ใช้งานภายใน 5 นาที เครื่องจะปิดตัวเองโดยอัตโนมัติ จะต้องทำการปิดสวิตช์ก่อนแล้วเปิดเครื่องอีกครั้ง
- หมายเลข 2 เป็นสวิตช์ที่ให้เลือกโหมดการทำงาน ซึ่งสามารถเลือกได้ 2 แบบ คือโหมดการวัดและโหมดการติดตั้ง

- หมายเลข 3 เป็นจุดต่อสำหรับใช้ในการเชื่อมต่อไฟกระแสดตรง และใช้ในขั้นตอนการทำงาน  
 อัดแบตเตอรี่ภายในถ้าต้องการใช้เครื่องต่อเนื่องเป็นเวลานานๆจะสามารถทำได้  
 โดยใช้ตัวเชื่อมต่อที่มีการทำงานตลอดเวลามาเสียบเข้าไป
- หมายเลข 4 เป็นจุดต่อของเครื่องบันทึก ค่าพลังงานที่วัดได้จากจุดต่อนี้จะเปลี่ยนไปทุกๆ 10  
 dB. ที่เต็มสเกล แรงดันพลังงานที่วัดได้เท่ากับ 1 W.
- หมายเลข 5 OPT OUT เป็นปุ่มปิดและเปิดแหล่งกำเนิดแสง  
 OFFSET => SHIFT + OPT OUT เป็นการตั้งค่าของตัวตรวจวัดแสงโดยเป็น  
 การปรับให้เป็นศูนย์โดยอัตโนมัติ  
 HOLD อยู่ในโหมดการติดตั้ง เป็นปุ่มที่กำหนดขอบเขตย่านการวัดสูง  
 สุด ต่ำสุด
- หมายเลข 6 REL เมื่อกดปุ่มนี้ค่าที่วัดได้ในปัจจุบันจะถูกนำไปแสดงที่บรรทัดล่าง  
 สุดของจอแสดงผลและค่าความแตกต่างของค่าอ้างอิงและค่าที่  
 วัดได้ค่าต่อไปจะแสดงผลที่บรรทัดข้างบนของจอแสดงผล  
 LIGHT => SHIFT + REL เป็นปุ่มที่เปิด-ปิด ไปที่จอแสดงผล  
 $\lambda$  => โหมดการติดตั้งเป็นปุ่มปรับความยาวคลื่นที่จะทำการวัด
- หมายเลข 7 dBm./W เป็นปุ่มที่ใช้เลือกหน่วยในการวัด (เป็น dBm. หรือ W )  
 LOSS => SHIFT + dBm./W จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอ้างอิงกับ  
 ค่าที่วัดได้ในหน่วย dB. และจะเป็นค่าสัมบูรณ์เสมอ  
 n- REF => เมื่อกดปุ่มนี้ ค่าอ้างอิงจะแสดงขึ้นมาที่จอแสดงผล ซึ่งค่านี้  
 สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้
- หมายเลข 8 SHIFT เมื่อกดปุ่มนี้จะมีแสง LED สว่างขึ้น และสามารถที่จะเลือกใช้  
 หน้าต่างๆที่อยู่ในโหมดได้  
 BUZZER => โหมดการตั้งเป็นการนำเข้าสู่หน้าที่การทำงานของระดับเสียง  
 จะบอกในรูปของหน่วย dB. เมื่อตัวตรวจวัดแสงสามารถวัดกำลัง  
 แสงได้มากกว่ากำลังแสงที่ถูกส่งออกจากแหล่งกำเนิดแสง
- หมายเลข 9 MOD เป็นปุ่มที่ใช้สำหรับเปลี่ยนแสงที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดแสง  
 และการวัดของตัวตรวจวัดแสงให้อยู่ในลักษณะการทำงานใน  
 ย่านของแสงต่อเนื่องและในย่านการทำงานแบบการปรับแสง


BLANKING => SHIFT + MOD เป็นปุ่มที่ใช้สำหรับเปลี่ยนค่าในการวัดโดย  
ค่าในการวัดจะสลับอยู่ระหว่าง 0.01 และ 0.1 dB.

 => เป็นโหมดการติดตั้ง ใช้ในการปรับค่าต่างๆ ให้ลดลง

INITIAL

หมายเลข 10  เป็นปุ่มเปิดและปิดการทำงานแบบเฉลี่ย ซึ่งมีผลดีคือ ผลตอบสนอง  
 ต่อการวัดจะช้าลง ทำให้อ่านค่าต่างๆ ได้ง่ายขึ้น

INITIAL => SHIFT + AVG เป็นปุ่มที่ใช้ปรับค่าที่ทดสอบผ่านมาแล้วให้หายไป

 => เป็นโหมดการติดตั้ง ใช้ในการปรับค่าต่างๆ ให้เพิ่มมากขึ้น

หมายเลข 11 จอแสดงผล

หมายเลข 12 แหล่งกำเนิด LED

หมายเลข 13 จุดต่อส่วนปลายเข้ากับแหล่งกำเนิดแสง

หมายเลข 14 ตัวตรวจวัดสัญญาณแสง

หมายเลข 15 สวิตช์ตั้งความยาวคลื่น เป็นสวิตช์ที่ใช้ปรับเพื่อเลือกความยาวคลื่นแสงที่จะ  
ทำการวัดให้เหมือนกันกับความยาวแสงที่แหล่งกำเนิดแสง ปล่อยออกมา

หมายเลข 16 จุดต่อสำหรับตัวตรวจจับแสง

หมายเลข 17 ฉนวนสำหรับป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก

หมายเลข 18 หูหิ้ว

หมายเลข 19 เป็นจุดต่อสำหรับแหล่งกำเนิดแสง

## ค่าที่ได้จากการทดสอบโดยอ่านจากเครื่องมือ

### 1. ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อให้แรงกระทำบนเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

- เส้นใยยาว 111.5 ซม.

แรงกด	การทดลอง ครั้งที่	ค่ากำลังที่วัดได้ (W)					เฉลี่ย (W)	เฉลี่ยทั้งหมด (W)	S.D
		ค่าที่1	ค่าที่2	ค่าที่3	ค่าที่4	ค่าที่5			
0	แรงกด	42.7	42.7	42.8	42.7	42.7	42.7		0.1
	(N)	42.9	43.0	43.1	43.0	42.9	43.0	42.95	0.4
	3	43.1	43.1	43.2	43.2	43.2	43.2		0.3
0.98	1	42.4	42.4	42.5	42.6	42.5	42.5		0.1
	2	42.7	42.6	42.7	42.8	42.7	42.7	42.65	0.4
	3	42.7	42.8	42.8	42.7	42.8	42.8		0.0
1.96	1	42.6	42.5	42.5	42.4	42.4	42.5		0.1
	2	42.5	42.6	42.5	42.4	42.4	42.5	42.53	0.1
	3	42.5	42.5	42.4	42.4	42.6	42.5		0.1
4.9	1	41.7	41.8	41.9	41.9	42.0	41.9		0.1
	2	41.9	41.8	41.8	41.7	41.8	41.8	41.83	0.1
	3	41.7	41.7	41.9	41.8	41.8	41.8		0.1
9.8	1	41.0	40.9	40.8	40.7	40.6	40.8		0.1
	2	40.5	40.3	40.4	40.5	40.6	40.5	40.69	0.1
	3	40.6	40.7	40.8	40.9	41.0	40.8		0.1
19.6	1	40.8	40.7	40.8	40.6	40.4	40.7		0.1
	2	40.1	40.0	40.1	40.2	40.1	40.1	40.39	0.1
	3	40.3	40.3	40.4	40.4	40.6	40.4		0.1

- เส้นใยยาว 93.1 ซม.

แรงกด (N)	การทดลอง ครั้งที่	ค่ากำลังที่วัดได้ (W)					เฉลี่ย (W)	เฉลี่ยทั้งหมด (W)	S.D
		ค่าที่1	ค่าที่2	ค่าที่3	ค่าที่4	ค่าที่5			
0	1	43.9	43.8	43.7	43.9	44.0	43.7		0.2
	2	43.7	43.8	43.6	43.9	43.7	43.7	43.70	0.1
	3	43.5	43.7	43.5	43.8	43.6	43.6		0.1
0.98	1	43.5	43.2	43.4	43.3	43.4	43.4		0.2
	2	43.3	43.1	43.1	43.2	43.3	43.2	43.23	0.1
	3	43.0	43.1	42.9	43.2	43.2	43.1		0.1
1.96	1	43.1	43.0	43.2	43.1	42.9	43.1		0.1
	2	43.0	42.9	42.8	42.9	43.1	42.9	43.00	0.1
	3	43.0	42.9	43.1	42.9	42.8	42.9		0.1
4.9	1	42.1	42.2	41.9	41.7	42.0	42.0		0.2
	2	42.0	42.2	42.2	42.1	42.1	42.1	42.30	0.1
	3	42.6	42.7	42.8	42.9	42.9	42.8		0.1
9.8	1	41.9	41.8	41.7	41.9	41.6	41.7		0.2
	2	41.7	41.8	41.6	41.9	41.7	41.7	41.67	0.1
	3	41.5	41.7	41.6	41.8	41.6	41.6		0.1
19.6	1	41.4	41.3	41.2	41.3	41.2	41.3		0.1
	2	41.2	41.1	41.1	41.2	41.1	41.1	41.27	0.1
	3	41.1	41.0	41.1	41.1	41.1	41.0		0.1

- เส้นใยยาว 86.2 ซม.

แรงกด (N)	การทดลอง ครั้งที่	ค่ากำลังที่วัดได้ (W)					เฉลี่ย (W)	เฉลี่ยทั้งหมด (W)	S.D
		ค่าที่1	ค่าที่2	ค่าที่3	ค่าที่4	ค่าที่5			
0	1	43.7	43.8	43.8	43.8	43.9	43.8		0.1
	2	44.2	44.3	44.0	44.0	44.1	44.1	43.92	0.2
	3	43.9	44.0	44.0	43.8	43.9	44.0		0.1
0.98	1	43.4	43.4	43.5	43.4	43.2	43.4		0.1
	2	43.7	43.7	43.5	43.4	43.3	43.5	43.35	0.2
	3	43.3	43.4	43.3	43.2	43.3	43.3		0.1
1.96	1	43.2	43.0	42.9	42.9	43.1	43.0		0.1
	2	42.9	43.1	43.0	43.0	42.9	43.0	43.10	0.1
	3	43.3	43.4	43.1	43.0	43.1	43.2		0.2
4.9	1	43.7	43.5	43.4	43.5	43.5	43.5		0.1
	2	43.8	43.7	43.0	43.9	44.3	44.7	43.93	0.4
	3	44.5	44.0	44.7	44.8	44.7	44.5		0.3
9.8	1	42.1	42.2	42.3	42.4	42.3	42.3		0.1
	2	42.3	42.3	42.3	42.2	42.4	42.3	42.06	0.1
	3	41.5	41.5	41.9	41.3	41.6	41.6		0.2
19.6	1	41.4	41.4	41.5	41.5	41.5	41.5		0.1
	2	41.8	42.0	41.4	41.6	40.8	41.5	41.40	0.3
	3	41.4	41.5	41.3	41.3	41.2	41.3		0.1

## 1.1 การคำนวณหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง

จากสูตร

$$\text{loss (dB/km)} = (10/L) \log (I_2/I_1)$$

เมื่อ

L คือ ความยาวของส่วนที่ถูกตัดออกไป (กม.)

$I_1$  คือ กำลังที่วัดได้สำหรับเส้นใยที่มีความยาวเริ่มต้น (W)

$I_2$  คือ กำลังที่วัดได้สำหรับเส้นใยส่วนที่เหลือ (W)

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงจากค่ากำลังงานที่วัดได้สำหรับเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงยาว  $0.69 \times 10^{-4}$  กม. ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกตัดไปจากเส้นใยที่ยาว 93.1 ซม. ให้มีความยาวลดลงเหลือ 86.2 ซม.

\* ค่ากำลังที่วัดได้สำหรับเส้นใยยาว 93.1 ซม.

ที่แรงกด 0 นิวตัน คือ  $43.70 \mu\text{W}$  \* ค่ากำลังที่วัดได้สำหรับเส้นใยยาว 86.2 ซม.

ที่แรงกด 0 นิวตัน คือ  $43.92 \mu\text{W}$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{loss (dB/km)} &= (10/0.69 \times 10^{-4}) \log (43.92/43.70) \\ &= 316.07 \text{ dB/km.} \end{aligned}$$

**หมายเหตุ** การคำนวณค่าอื่นกระทำได้เช่นเดียวกัน

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณการลดทอนของแสงจากค่ากำลังที่วัดได้สำหรับเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงยาว  $0.69 \times 10^{-4}$  กม. ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกตัดไปจากเส้นใยที่ยาว 93.1 ซม. ให้มีความยาวลดลงเหลือ 86.2 ซม.

\* ค่ากำลังที่วัดได้สำหรับเส้นใยยาว 93.1 ซม.

ที่แรงกด 9.8 N. คือ  $43.23 \mu\text{W}$ .

\* ค่ากำลังที่วัดได้สำหรับเส้นใยยาว 86.2 ซม.

ที่แรงกด 0 N. คือ  $43.92 \mu\text{W}$ .

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 \text{Attenuation} &= (P_0 - P_1) / P_0 \\
 &= (43.92 - 43.23) / 43.92 \\
 &= 0.016
 \end{aligned}$$

## 2. ตารางแสดงผลของอุณหภูมิต่อค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสง

- เส้นใยยาว 111.5 ซม.

อุณหภูมิ (°ซ)	การทดลอง ครั้งที่	ค่ากำลังที่วัดได้ (W)					เฉลี่ย (W)	เฉลี่ยทั้งหมด (W)	S.D
		ค่าที่1	ค่าที่2	ค่าที่3	ค่าที่4	ค่าที่5			
0	1	38.2	38.3	38.4	38.3	38.2	38.28		0.1
	2	38.2	38.1	38.1	38.0	38.1	38.10	38.22	0.1
	3	38.3	38.4	38.3	38.2	38.2	38.28		0.1
25	1	41.3	41.6	41.7	41.5	41.8	41.58		0.2
	2	42.1	42.2	41.9	41.9	41.1	41.84	41.83	0.4
	3	41.4	41.0	42.3	42.2	42.3	42.06		0.3
40	1	41.3	41.4	41.3	41.2	41.2	41.28		0.1
	2	41.2	41.4	41.2	41.2	41.3	41.26	41.19	0.1
	3	41.0	41.0	41.1	41.2	41.0	41.06		0.1
60	1	40.5	40.4	40.6	40.5	40.5	40.55		0.1
	2	40.7	40.6	40.6	40.7	40.7	40.66	40.59	0.1
	3	40.5	40.0	40.7	40.8	40.7	40.50		0.3
80	1	39.6	39.4	39.5	39.3	39.4	39.44		0.1
	2	39.4	39.4	39.3	39.3	39.6	39.40	39.45	0.1
	3	39.6	39.5	39.6	39.4	39.4	39.50		0.1
100	1	38.5	38.5	38.3	38.2	38.4	38.38		0.1
	2	38.4	38.6	38.5	38.6	38.5	38.52	38.43	0.1
	3	38.4	38.4	38.5	38.3	38.4	38.40		0.1

- เส้นใยยาว 86.2 ซม.

อุณหภูมิ (°ซ)	การทดลอง ครั้งที่	ค่ากำลังที่วัดได้ (W)					เฉลี่ย (W)	เฉลี่ยทั้งหมด (W)	S.D
		ค่าที่1	ค่าที่2	ค่าที่3	ค่าที่4	ค่าที่5			
0	1	42.2	42.4	42.3	42.4	42.6	42.38		0.1
	2	42.6	42.6	42.5	42.3	42.1	42.42	42.43	0.2
	3	42.4	42.6	42.4	42.5	42.6	42.50		0.1
25	1	43.7	43.5	43.4	43.4	43.5	43.50		0.1
	2	43.8	43.7	43.0	43.9	44.3	43.70	43.93	0.4
	3	44.5	44.0	44.7	44.8	44.7	44.5		0.3
40	1	43.5	42.6	43.4	43.3	43.2	43.40		0.1
	2	43.4	43.3	43.3	43.5	43.6	42.42	43.39	0.1
	3	43.5	43.4	43.4	43.3	43.2	43.36		0.1
60	1	42.9	42.8	42.9	43.0	43.0	43.92		0.1
	2	43.0	43.0	43.1	43.1	43.2	43.08	43.00	0.1
	3	43.1	43.0	43.1	43.0	42.8	43.00		0.1
80	1	41.7	41.9	42.0	42.0	42.2	41.96		0.1
	2	41.9	42.0	42.1	42.2	42.1	42.06	41.99	0.1
	3	41.8	42.0	42.1	42.0	41.9	41.96		0.1
100	1	41.5	41.4	41.4	41.5	41.6	41.48		0.1
	2	41.6	41.6	41.7	41.5	41.6	41.60	41.57	0.1
	3	41.5	41.6	41.6	41.7	41.7	41.62		0.1

### 3. ตารางแสดงการทดสอบเมื่อเส้นใยเกิดการโค้งงอ

ความยาว (ซม.)	การทดลอง ครั้งที่	ค่ากำลังที่วัดได้ (W)					เฉลี่ย (W)	เฉลี่ยทั้งหมด (W)	S.D
		ค่าที่1	ค่าที่2	ค่าที่3	ค่าที่4	ค่าที่5			
111.5	1	41.0	40.9	40.8	40.7	40.6	40.8		0.1
	2	40.6	40.5	40.4	40.3	40.5	40.5	40.70	0.1
	3	40.7	40.8	40.6	40.8	40.4	40.7		0.1
86.2	1	43.0	43.2	43.2	42.9	43.1	43.1		0.2
	2	42.8	42.9	42.9	43.0	43.1	42.9	43.00	0.1
	3	43.0	42.9	42.7	43.1	43.2	43.0		0.2

หมายเหตุ การคำนวณทำได้เช่นเดียวกับการหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านแสงในสภาวะปกติ

### 4. ตารางแสดงผลการทดลองหาค่าขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน

ครั้งที่	ระยะห่างจากปลายเส้นใย (ซม.)	ความกว้างของจุดแสง (ซม.)
1	1.5	2.0
2	2.0	2.7
3	2.5	3.5
4	2.0	4.7
5	2.5	4.9
6	4.0	5.3
7	4.5	6.2
8	5.0	6.7
9	5.5	7.0

#### 4.1 การคำนวณหาขนาดการเปิดรับแสง (NA) ของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

จากความสัมพันธ์

$$NA = \sin^{-1} (W/2L)$$

เมื่อ

W คือ ความกว้างของจุดแสงบนฉากรับ (ซม.)

L คือ ระยะทางจากปลายเส้นใยนำแสงถึงฉากรับ (ซม.)

#### ตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อระยะทางจากปลายเส้นใยนำแสงถึงฉากรับแสง(L) เท่ากับ 1.5 ซม. และวัดความกว้างของจุดบนฉากรับได้ 2.0 ซม.

ดังนั้น

$$NA = \sin^{-1} [2.0/(2 \times 1.5)]$$

$$= 42.06 \text{ องศา}$$

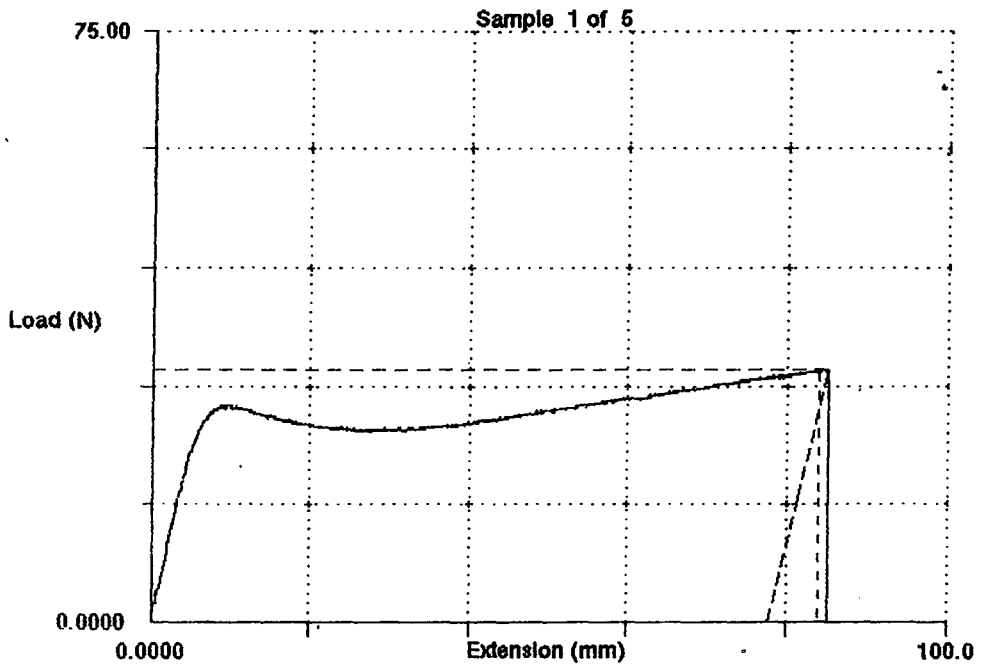
$$= 0.7 \text{ เรเดียน}$$

Name of person : wiwalya  
 Sample description : circular  
 Sample form : rod  
 Temperature : 29.5 Deg C  
 Date : Tue 1 March 94

sample	Maximum Load (N)	Maximum Stress (N/mm2)	Stress @ Break (N/mm2)	Ext @ Break (mm)	Strain @ Break (%)	Fixed Strain (%)	Modulus of Elast (N/mm2)	Sample Diameter (mm)
1	32.23	72.96	72.96	85.14	141.9	129.4	581.7	0.750000
2	28.04	63.47	60.01	33.11	55.19	48.65	917.7	0.750000
3	28.04	63.47	63.03	60.88	101.5	90.61	580.4	0.750000
4	29.56	66.92	66.49	66.76	111.3	97.42	480.2	0.750000
5	29.37	66.49	66.49	74.08	123.5	112.1	585.9	0.750000
mean	29.45	66.66	65.80	64.00	106.7	95.63	629.2	0.750000
standard deviation	1.71	3.88	4.83	19.49	32.5	30.19	167.3	0.000000

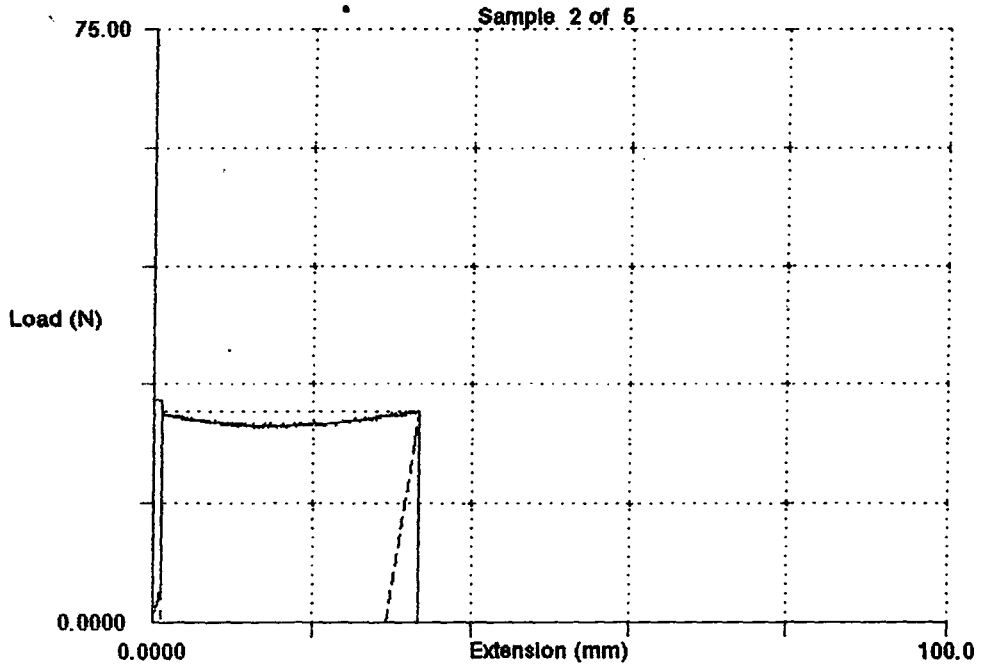
Test speed 1 : 5.000 mm/min  
 Gauge length 1 : 60.000 mm  
 Load cell : 2500.00 N  
 Cell class : 0.5  
 Internal Extensometer  
 Data saved as: b:\optici.FSD

OPTIC1



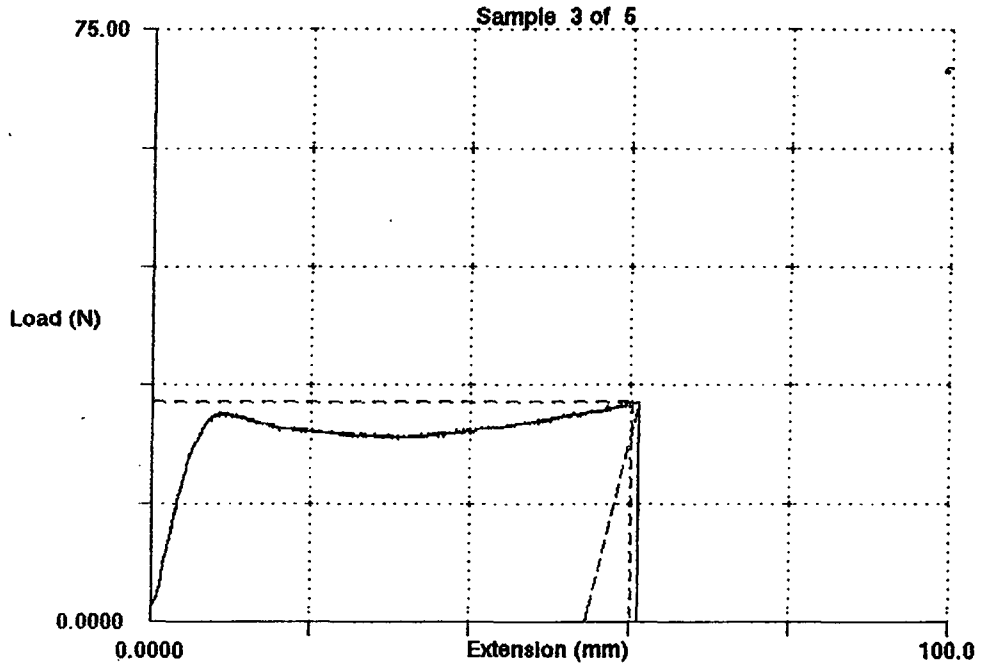
Maximum Load (N)	Maximum Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Stress @ Break (N/mm <sup>2</sup> )	Ext @ Break (mm)	Strain @ Break (%)	Fixed Strain (%)	Modulus of Elast (N/mm <sup>2</sup> )	Sample Diameter (mm)
32.23	72.96	72.96	85.14	141.9	129.4	581.7	0.750000

OPTIC1



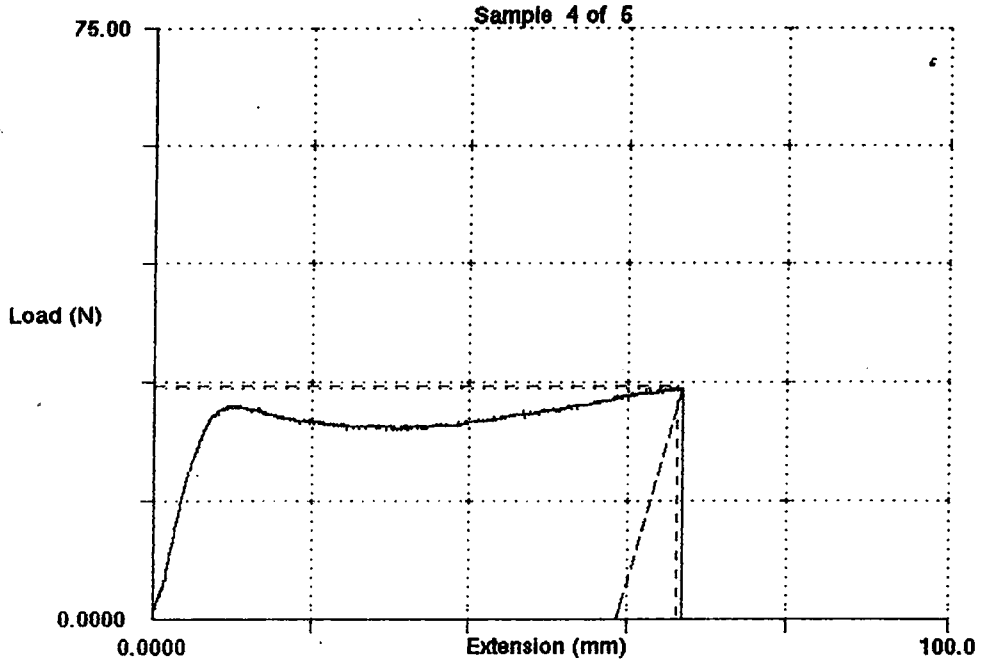
Maximum Load (N)	Maximum Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Stress @ Break (N/mm <sup>2</sup> )	Ext @ Break (mm)	Strain @ Break (%)	Fixed Strain (%)	Modulus of Elast (N/mm <sup>2</sup> )	Sample Diameter (mm)
28.04	63.47	60.01	33.11	55.19	48.65	917.7	0.750000

OPTIC1



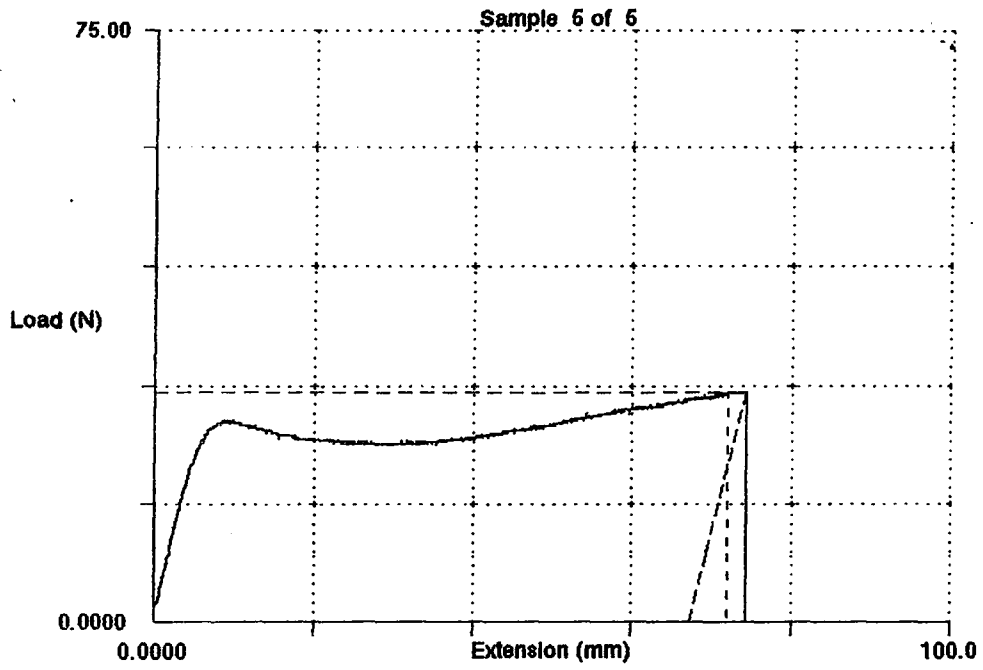
Maximum Load (N)	Maximum Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Stress @ Break (N/mm <sup>2</sup> )	Ext @ Break (mm)	Strain @ Break (%)	Fixed Strain (%)	Modulus of Elast (N/mm <sup>2</sup> )	Sample Diameter (mm)
28.04	63.47	63.03	60.88	101.5	90.61	580.4	0.75000

OPTIC1



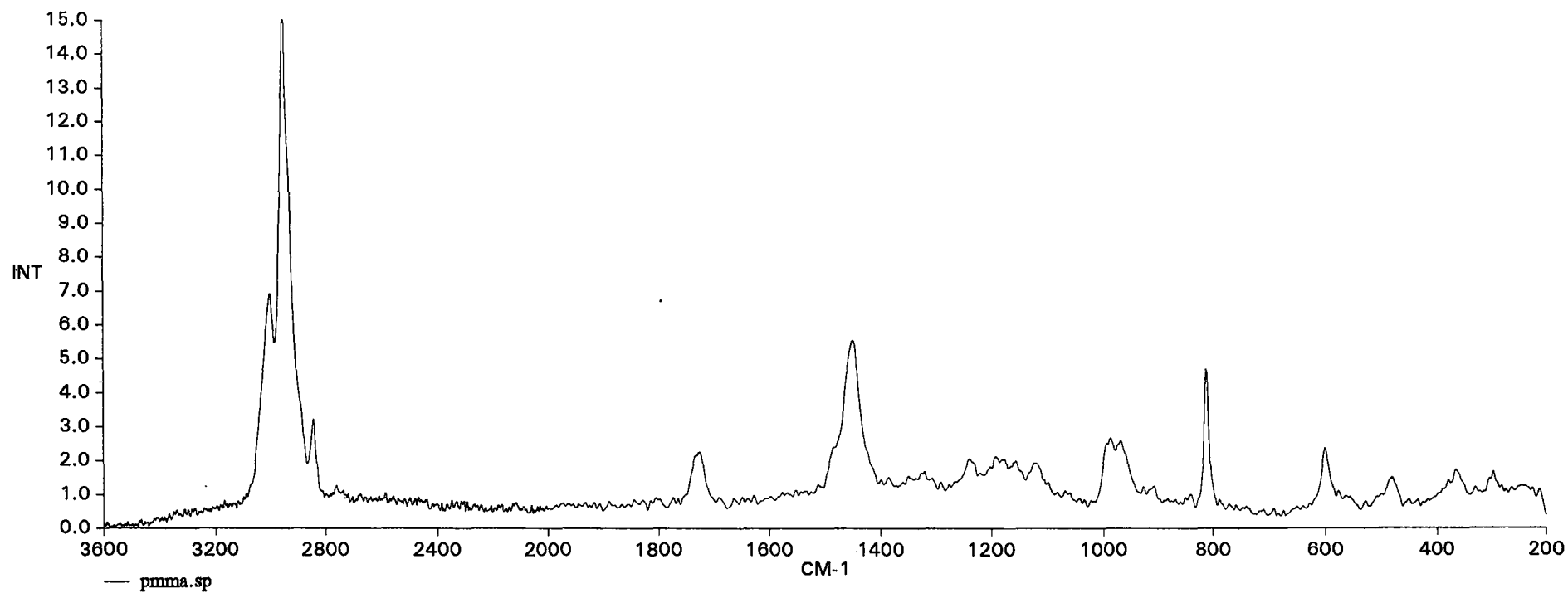
Maximum Load (N)	Maximum Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Stress @ Break (N/mm <sup>2</sup> )	Ext @ Break (mm)	Strain @ Break (%)	Fixed Strain (%)	Modulus of Elast (N/mm <sup>2</sup> )	Sample Diameter (mm)
29.56	66.92	66.49	66.76	111.3	97.42	480.2	0.750000

OPTIC1



Maximum Load (N)	Maximum Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Stress @ Break (N/mm <sup>2</sup> )	Ext @ Break (mm)	Strain @ Break (%)	Fixed Strain (%)	Modulus of Elast (N/mm <sup>2</sup> )	Sample Diameter (mm)
29.37	66.49	66.49	74.08	123.5	112.1	585.9	0.750000

Date: 1/6/94



Standard PMMA

pmma5

RESULTS

Thu 10 FEB 1994 21:10:18

Polystyrene # 1 RUN # 26 Inj # 5  
 DATE : Thu 10 FEB 1994 TIME : 20:00:11  
 Calibration # 1.004 Number of points: 267

CODE : INJ 124  
 Manual integration  
 Axial dispersion: NO

MOLECULAR WEIGHTS UNIVERSAL

Peak mol. wt Mp : 1111000  
 Number aver. Mn : 482800  
 Viscos. aver. Mv : 1038000  
 Weight averag. Mw : 1274000  
 Z average Mz : 2500000  
 Polydispersity : 2.64  
 [n] (ml/g) : 3.867  
 Log(K) (M-H) : -2.3  
 Alpha (M-H) : .48

REFRACTOMETER C/c : 1

Peak elution : 15.098

Baseline : .12382

Area constant : .6532

Conc. (g/ml) : .01

dn/dc : 0

VISCOMETER Mn : 432100

Peak elution : 14.839

Baseline : .9141

[n]area (ml/g): 3.871

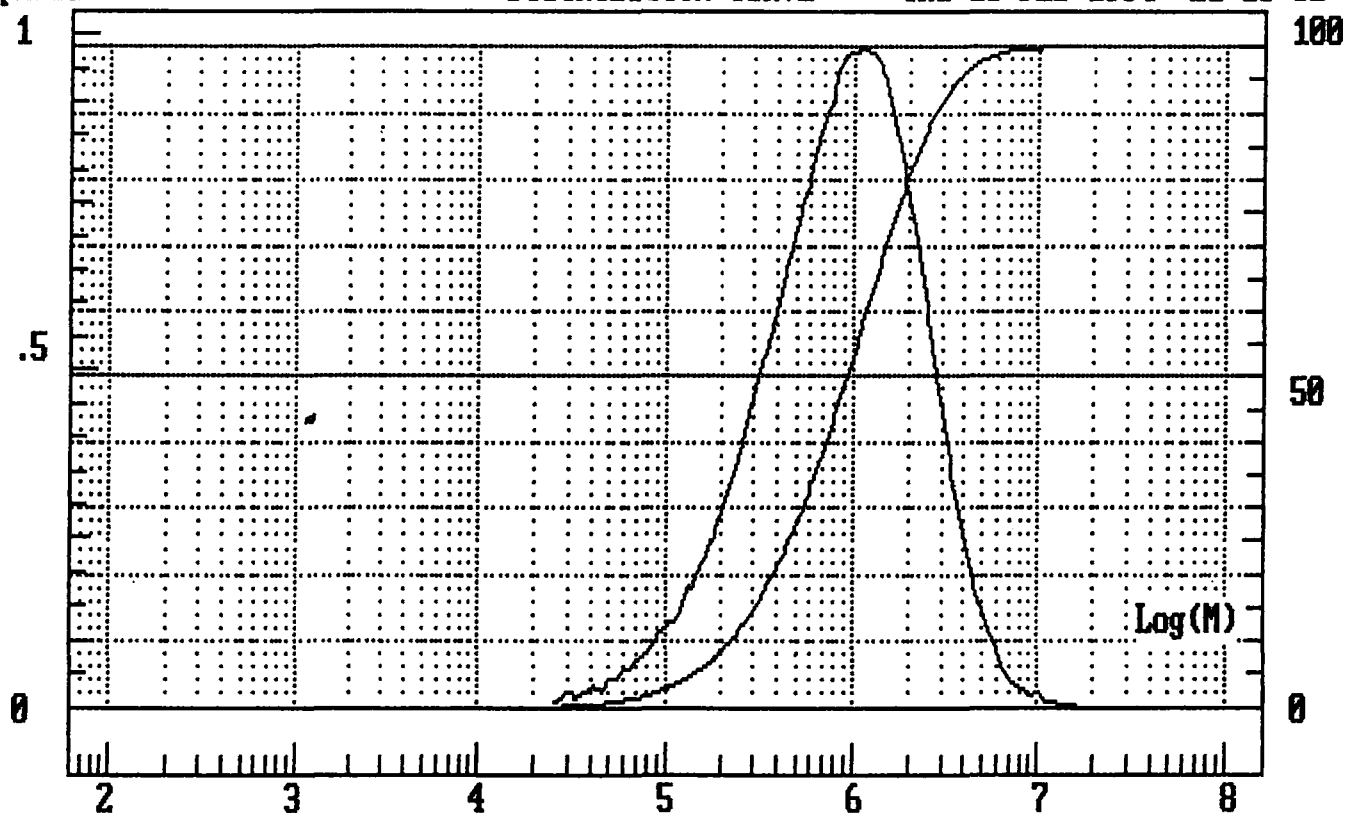
[n]peak(ml/g): 4.707

[n]exp (ml/g): 3.867

pmma5

DISTRIBUTION CURVE

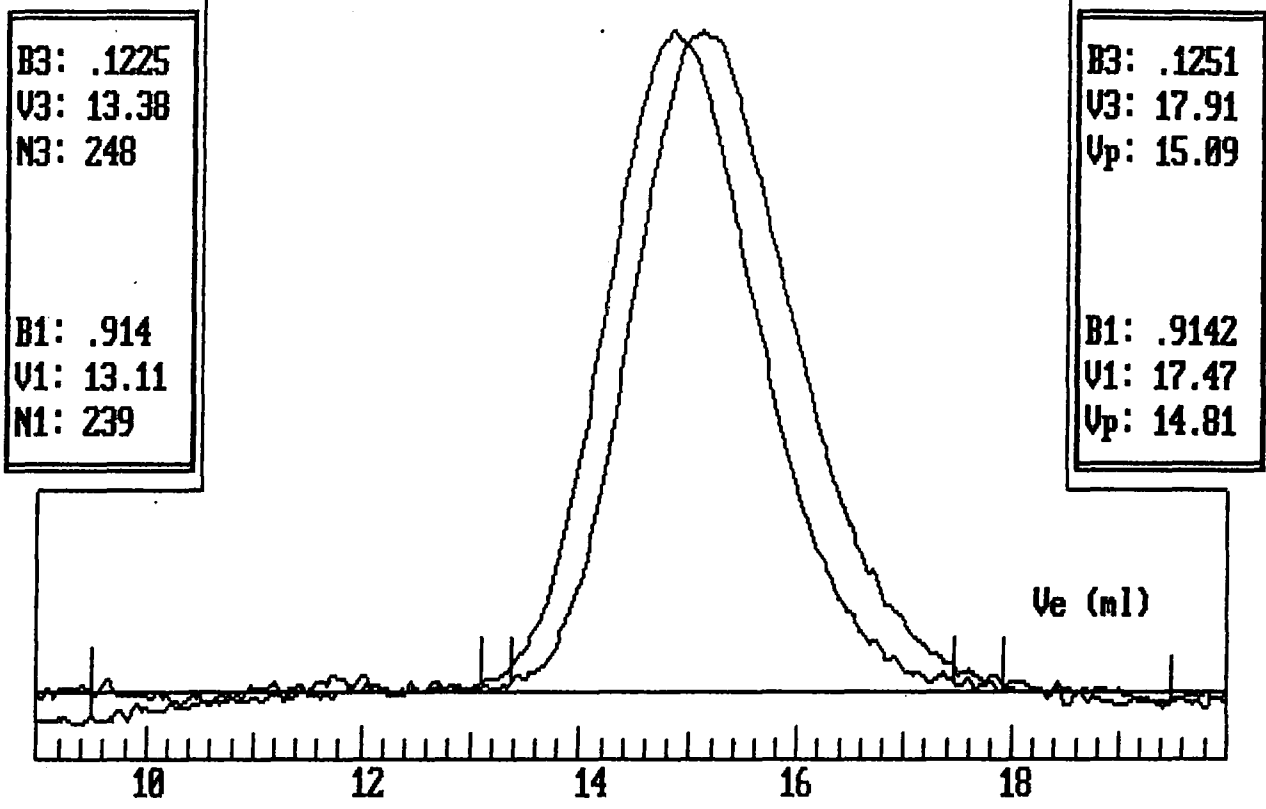
Thu 10 FEB 1994 21:10:32



pmma5

DETECTORS

Thu 10 FEB 1994 21:09:17



## บรรณานุกรม

1. รศ.ดร.บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ . *วิศวกรรมสาร* . คณะวิศวกรรมศาสตร์ , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 21-26 (2526) .
2. พิเชษฐ ลิ่มสุวรรณ . *วารสารวิทยาศาสตร์* . ฉบับที่ 11 , 849-853 .
3. อภินันท์ มัถยานนท์ . *การสื่อสารเส้นใยแสง* . คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพมหานคร , 2532.
4. Jonathan W. Martin and Coworker. *Journal of Applied Polymer Science* , vol. 34 , 377-393 ( 1987) .
5. K.S. Law , K.H. Wong and S.K. Yeung . *Journal of Chemical Education* . vol. 70 , 336-339 (1987).
6. Newport Corporation . *Projects in Fibre Optics Application Handdbook* . 25-36 (1986)
7. P. Avakian and Coworker . *Macromolecules (American Chemistry Society)* . vol. 19 , 2160-2168 (1986) .
8. T. Kaino . *Applied Optics* . vol. 20 , No. 17 , 2886-2888 (1981)
9. T. Kaino . *Journal of Applied Polymer Science : Part A : Polymer Chemistry* , vol. 25 , 37-46 (1987) .
10. T. Kaino . *Journal of Polymer Science : Part A : Polymer Chemistry* . vol. 25 , 37-46 (1987)
11. Yoshitaka Takezawa and Coworker . *Journal of Applied Polymer Science* . vol. 42 , 2811-2817 , 3195-3203 (1991) .
12. American Standard Test Method D 3916-84. *Standard Test Method for Tensile Properties of Pultruded Glass-Fiber-Reinforced Plastic Rod*. 555-558 (1984).