



เส้นใยพอลิเมอร์นำแสง : (1) การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับเทคนิค
การสังเคราะห์ วิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติเฉพาะของ
พอลิเมอร์เรซินเพื่อใช้เตรียมเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

ร/พ.

ล 257 ล
2536

นายสมบูรณ์

กัลยาพงศ์ดี

นางสาวเสาวคนธ์

วิไลประภากร

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....

วันเดือนปี.....

612527294

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

**Polymer Optical Fibres : (I) Preliminary Studies of Techniques
for Synthesis and Characterisation of a Polymer
for Preparation of Polymer Optical Fibres**

**Mr. Somboon Kanlayapongsak
Miss Soawakon Wilaiprapakorn**

**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 : (1) การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับเทคนิคการ
สังเคราะห์ วิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์เรซิน
เพื่อใช้เตรียมเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

โดย นายสมบุรณ์ กัลยาพงศ์ศักดิ์

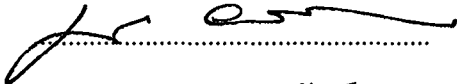
นางสาวเสาวคนธ์ วิไลประภากร

ภาควิชา เคมี

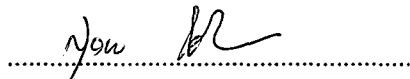
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ลายเซ็น


.....
(ผศ. นงนุช มาตราณูวัฒน์)

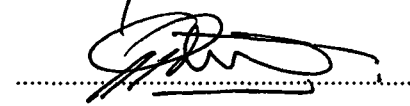
รักษาการแทนหัวหน้าภาควิชาเคมี


.....
(ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์)

ประธานกรรมการ


.....
(ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล)

กรรมการ


.....
(ดร. อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	เส้นใยพอลิเมอร์นำแสง : (1) การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับเทคนิคในการสังเคราะห์ วิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์เรซิน เพื่อใช้เตรียมเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง	
นักศึกษา	นายสมบุญ กัลยาพงศ์ดี	
	นางสาวเสาวคนธ์ วิไลประภากร	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อนุชา	เชื้อเพิ่มเกียรติ
ภาควิชา	เคมี	
ปีการศึกษา	2536	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเทคนิคการสังเคราะห์ วิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์เรซินเพื่อใช้เตรียมเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง โดยศึกษาการพอลิเมอไรเซชันของเมธิลเมธาคริเลตที่อุณหภูมิ 80 °ซ ด้วยวิธีการต่างๆกัน ได้แก่ การพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลายแบบแขวนลอย แบบบัลคในหม้อปฏิกริยาและในหลอดไวแอล (Vial) โดยใช้คาร์บอน เตตระคลอไรด์เป็นสารถ่ายโซเพื่อควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์

จากการศึกษาพบว่า การพอลิเมอไรเซชันแบบบัลคในหลอดไวแอลเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์พอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)ให้การเปลี่ยนแปลงมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ประมาณ 100 % และเทคนิคนี้สามารถใช้เตรียมพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 300,000 ขึ้นไป

การตรวจสอบโครงสร้างเคมีโดยเทคนิคสเปกโทรสโคปีพบว่า พอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์มีโครงสร้างจุลภาคเป็นแบบซินดิโอแทกติก (Syndiotactic) ปริมาณประมาณ 59 % แบบอะแทกติก (Atactic) ประมาณ 37 % และแบบไอโซแทกติก (Isotactic) ประมาณ 4 % จากการศึกษสมบัติเชิงแสงของพอลิเมอร์พบว่า มีความสามารถในการส่งผ่านแสงวิซิเบิลได้ 100% แต่สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตสูงสุดที่ความยาวคลื่น 242 นาโนเมตร ค่าดัชนีหักเหเท่ากับ 1.38 และจากการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์พบว่า อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (Tg) อยู่ในช่วง 123 - 133 °ซ โดยตรวจวัดด้วยเครื่องไดนามิก เมคแคนนิคัลเทอร์มอลแอนนาไลเซอร์ (DMTA) การสลายโครงสร้างเคมีของพอลิเมอร์เนื่องจากความร้อนเริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 250 °ซ การสลายโครงสร้างเคมีทั้งหมดโดยสมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ 400 °ซ โดยการตรวจวัดด้วยเครื่องเทอร์มอลกราวิเมตริกแอนนาไลเซอร์ (TGA)

Special Project Title	Polymer Optical Fibres : (I) Preliminary Studies of Techniques for Synthesis and Characterisation of a Polymer for Preparation of Polymer Optical Fibres	
Name	Mr. Somboon	Kanlayapongsak
	Miss Soawakon	Wilaiprapakorn
Special Project Advisor	Dr. Anuchar	Euapermkiati
Department	Chemistry	
Academic Year	1993	

Abstract

This Project was to study techniques for synthesis and characterisation of polymer resins to be used as materials for making of polymer optical fibres. Poly(methyl methacrylate) was synthesized using various polymerisation processes from methyl methacrylate monomer at 80°C . The processes included solution, suspension and bulk polymerization in a reactor and in vials. Carbon tetrachloride (CCl₄) was employed as a chain transfer agent in order to control molecular weight of the polymer.

It was found from this study that the bulk polymerization in vials was the most suitable process for synthesizing poly(methyl methacrylate) having high monomer conversion approximately 100 percent. The process was suitable for preparation of polymers having molecular weight upper than 300,000.

Investigation of chemical microstructure of the polymer identified that 59 % of constituents of the polymer was syndiotactic, 47 % was atactic and 4% was isotactic. Determination of optical properties of the polymers indicated that the polymer could transmit visible light totally. In contrast, the ultraviolet light transmission was not successful at 242 nanometres. The refractive index of the polymer was 1.38. Evaluation of thermal properties of the polymer indicated that glass transition temperature (T_g) of the polymer was in the range of 123 to 133 °C as measured by the Dynamic Mechanical Thermal Analyser (DMTA). The polymers chemical compositions started to decompose at 250 °C as examine by the Thermal Gravimetric Analyser (TGA).

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร. อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการดำเนิน
โครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณคณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไขโครงการพิเศษ
ฉบับนี้ให้ถูกต้อง

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบังที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการตรวจวัดดัชนีหักเหของพอลิเมอร์สังเคราะห์

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติและเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือใน
การตรวจสอบโครงสร้างเคมี และสมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์สังเคราะห์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย สาขาพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยมหิดลที่ให้ความช่วยเหลือในการ
ตรวจวัดน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์สังเคราะห์

ขอขอบคุณ Mr. John W. Ellis ที่กรุณาให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาโครงการ
พิเศษนี้

ขอขอบคุณ ดร. ประยงค์ ดวงดี ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์สำหรับจัดทำโครงการ
พิเศษฉบับนี้ด้วยดีมาตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความสนใจและให้ความช่วยเหลือจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วง

นายสมบุรณ์ กัลยาพงศ์ศักดิ์

นางสาวเสาวคนธ์ วิไลประภากร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	I
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
คำย่อที่ใช้ในโครงการพิเศษ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยนำแสง	
2.1.1 การนำแสงของเส้นใยนำแสง	3
2.1.2 การสูญเสียสัญญาณแสงในเส้นใยนำแสง	6
2.1.3 ชนิดของเส้นใยนำแสง	9
2.1.4 วัสดุสำหรับผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง	13
2.1.5 กระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง	17
2.1.6 การคลอกลเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง	29
2.1.7 การทำสายเคเบิลเส้นใยนำแสง	31
2.1.8 การใช้งานเส้นใยนำแสง	34
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพอลิเมอร์ไรเซชันของเมธิล เมทาคริเลต	
2.2.1 การพอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่อนุมูลอิสระของเมธิล เมทาคริเลต	36
2.2.2 กลไกปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่อนุมูลอิสระของมอนอเมอร์ เมธิล เมทาคริเลต	37
2.2.3 การย้ายโซ่ในปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่อนุมูลอิสระของ เมธิล เมทาคริเลต	40
2.2.4 การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่อนุมูล อิสระของเมธิล เมทาคริเลต	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินงาน	
สารเคมีที่ใช้	45
เครื่องมือและอุปกรณ์	46
การทดลอง	
3.1 การเตรียมมอนอเมอร์เมธิล เมธาคริเลตบริสุทธิ์	48
3.2 การเตรียมสารริเริ่มปฏิกิริยา 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนไตรล์บริสุทธิ์	48
3.3 การพอลิเมอไรเซชันเมธิล เมธาคริเลตแบบอนุมูลอิสระ	49
3.4 การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต) โดยใช้สาร ย้ายโซ่และเปลี่ยนแปลงปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยา	53
3.5 การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์โดย เทคนิคสเปกโทรสโคปี	57
3.6 การตรวจสอบสมบัติเชิงแสงของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์	58
3.7 การตรวจสอบสมบัติเชิงความร้อนของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต) สังเคราะห์	60
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	61
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	81
ภาคผนวก	83
บรรณานุกรม	94

สารบัญรูป

		หน้า
รูป 2.1	แสดงการสะท้อนและการหักเหของแสงบริเวณรอยต่อของวัสดุสองชนิด	3
รูป 2.2	แสดงมุมวิกฤตและการสะท้อนกลับหมดของแสง	4
รูป 2.3	แสดงการสะท้อนกลับหมดของแสงในเส้นใยนำแสง	5
รูป 2.4	แสดงมุมรับแสงของเส้นใยนำแสง	6
รูป 2.5	แสดงสาเหตุต่างๆ ของการสูญเสียแสงที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสง	9
รูป 2.6	ก แสดงเส้นใยนำแสงชนิดแบบเดี่ยว	11
	ข แสดงเส้นใยนำแสงชนิดแบบสห	11
รูป 2.7	ก แสดงลักษณะดัชนีหักเหของแกนเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีหักเหแบบขั้น	12
	ข แสดงลักษณะดัชนีหักเหของแกนเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีหักเหแบบเกรด	12
รูป 2.8	แสดงชุดอุปกรณ์การกลับกายได้ความดัน	17
รูป 2.9	แสดงการจัดเรียงตัวของสปีโนโมเชลล์	20
รูป 2.10	แสดงกระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงโดยวิธีการอัดรีดแบบต่อเนื่อง	24
รูป 2.11	แสดงกระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงโดยวิธีการอัดรีดแบบไม่ต่อเนื่อง	25
รูป 2.12	แสดงอุปกรณ์ในการเตรียมแท่งพรีฟอร์มสำหรับผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง	27
รูป 2.13	แสดงกระบวนการดึงเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงจากแท่งพรีฟอร์ม	28
รูป 2.14	แสดงสายเคเบิลเส้นใยนำแสง	33
รูป 3.1	แสดงการจัดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดค่าดัชนีหักเหของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์	59
รูป 4.1	กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์ไปจากน้ำหนักโมเลกุลที่ต้องการควบคุม	64

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูป 4.2 แสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์	66
รูป 4.3 แสดงสเปกตรัมรามานของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์	68
รูป 4.4 แสดงสเปกตรัมรามานมาตรฐานของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์	68
รูป 4.5 แสดงสเปกตรัมโปรตอน-1 เอ็นเอ็มอาร์ของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์	70
รูป 4.6 แสดงสเปกตรัมคาร์บอน-13 เอ็นเอ็มอาร์ของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์	71
รูป 4.7 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต) สังเคราะห์	75
รูป 4.8 แสดงสเปกตรัมการส่งผ่านแสงวิซิเบิลของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์	76
รูป 4.9 เทอร์โมแกรมจากการตรวจวัดอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของ พอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล 100,000	78
รูป 4.10 เทอร์โมแกรมจากการตรวจวัดอุณหภูมิสลายโครงสร้างเคมีของ พอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล 100,000	80

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 2.1	แสดงพารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาประกอบการเลือกวัสดุในการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง	14
ตาราง 2.2	แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคการพอลิเมอไรเซชันแบบต่างๆ	22
ตาราง 3.1	แสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์	57
ตาราง 4.1	แสดงลักษณะทางกายภาพของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์ที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ	62
ตาราง 4.2	แสดงน้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์ที่เตรียมโดยให้สารริเริ่มปฏิกิริยาปริมาณต่างๆ	63
ตาราง 4.3	แสดงลักษณะของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน	65
ตาราง 4.4	แสดงเลขคลื่นที่ปรากฏพีกและลักษณะเฉพาะของพีกบนสเปกตรัมอินฟราเรด	67
ตาราง 4.5	แสดงเลขคลื่นที่ปรากฏพีกและลักษณะเฉพาะของพีกบนสเปกตรัมรามานของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์	69
ตาราง 4.6	แสดงความถี่ที่เกิดสัญญาณเรโซแนนซ์และลักษณะเฉพาะของสัญญาณเรโซแนนซ์บนสเปกตรัมโปรตอน-เอ็นเอ็มอาร์	72
ตาราง 4.7	แสดงพีกที่แสดงลักษณะเฉพาะของโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกัน	73
ตาราง 4.8	แสดงความถี่ที่เกิดสัญญาณเรโซแนนซ์และลักษณะเฉพาะของสัญญาณเรโซแนนซ์บนสเปกตรัมคาร์บอน13-เอ็นเอ็มอาร์พอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์	74
ตาราง 4.9	แสดงค่ามุมบรีวสเตอร์และค่าดัชนีหักเหของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์	77
ตาราง 4.10	แสดงอุณหภูมิสถานะแก้วของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ	79

คำย่อที่ใช้ในโครงการพิเศษ

PMMA	แทน	พอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)
MMA	แทน	เมทิล เมทาคริเลต
AIBN	แทน	2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนโตรล์
CCl ₄	แทน	คาร์บอน เตตระคลอไรด์
T _g	แทน	อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว
°ซ	แทน	องศาเซลเซียส
%	แทน	เปอร์เซ็นต์
ซม.	แทน	เซนติเมตร
ซม ⁻¹	แทน	เซนติเมตร ⁻¹

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีการสื่อสารเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว การสื่อสารโดยใช้สัญญาณแสงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจอย่างสูง ทั้งนี้เนื่องจากความสะดวก รวดเร็วและมีความปลอดภัย เครื่องมืออย่างหนึ่งของการสื่อสารด้วยสัญญาณแสง คือ เส้นใยนำแสง ในยุคเริ่มต้นเส้นใยนำแสงทำจากแก้วซึ่งมีการลดทอนของสัญญาณแสงต่ำจึงสามารถส่งสัญญาณได้กว้างไกล แต่เพียงเท่านั้นไม่เพียงพอต่อการใช้งาน เนื่องจากเส้นใยแก้วนำแสงมีน้ำหนักมากไม่สามารถโค้งงอได้ จึงมีการพัฒนาเพื่อหาวัสดุชนิดอื่นที่มีความสามารถในการส่งผ่านแสงได้ใกล้เคียงกับแก้ว และสามารถขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นกับเส้นใยแก้วได้ วัสดุพอลิเมอร์จึงได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อการผลิตเส้นใยนำแสง วัสดุพอลิเมอร์ที่ได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษ ได้แก่ พอลิ(เมทิล เมทาคริเลต) พอลิสไตรีนและพอลิคาร์บอนเนต เนื่องจากสามารถส่งผ่านแสงได้สูงและสามารถปรับปรุงให้มีสมบัติตามที่ต้องการได้ง่าย อย่างไรก็ตามเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงก็ไม่สามารถแทนที่เส้นใยแก้วนำแสงได้อย่างสิ้นเชิง เนื่องจากมีข้อด้อยที่สำคัญ คือ การลดทอนของสัญญาณแสงในเส้นใยสูง จึงสามารถทดแทนเส้นใยแก้วได้เฉพาะในการสื่อสารสัญญาณแสงระยะทางใกล้ๆ เช่น การส่งสัญญาณแสงในเครื่องตรวจจับ (Sensor) การเชื่อมโยงระบบข้อมูลระหว่างอาคารหรือสำนักงาน ในเขตพื้นที่เดียวกัน เป็นต้น การศึกษาและการพัฒนาวิธีการสังเคราะห์เส้นใยพอลิเมอร์นำแสงให้สามารถส่งผ่านแสงได้โดยมีการลดทอนของสัญญาณแสงต่ำที่สุดจะช่วยให้สามารถผ่านข้ามอุปสรรคหรือข้อด้อยของเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงอันทำให้การสื่อสารด้วยสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงมีประสิทธิภาพสูงสุดได้

วัตถุประสงค์ในการทำโครงการพิเศษ

1. ศึกษา รวบรวมและสรุปข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการเตรียมพอลิเมอร์เรซิน เพื่อใช้ในการเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง
2. ทำการสังเคราะห์ วิเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์เรซิน

วิธีการดำเนินงานโดยย่อ

1. ศึกษาการสังเคราะห์พอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)ด้วยเทคนิคต่างๆกันและเลือกเทคนิคที่เหมาะสมเพื่อสังเคราะห์และควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)
2. ตรวจสอบโครงสร้างเคมีของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์โดยเทคนิคสเปกโตรสโคปี
3. ตรวจสอบสมบัติเชิงแสงและเชิงความร้อนของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์

ประโยชน์ที่จะได้รับ

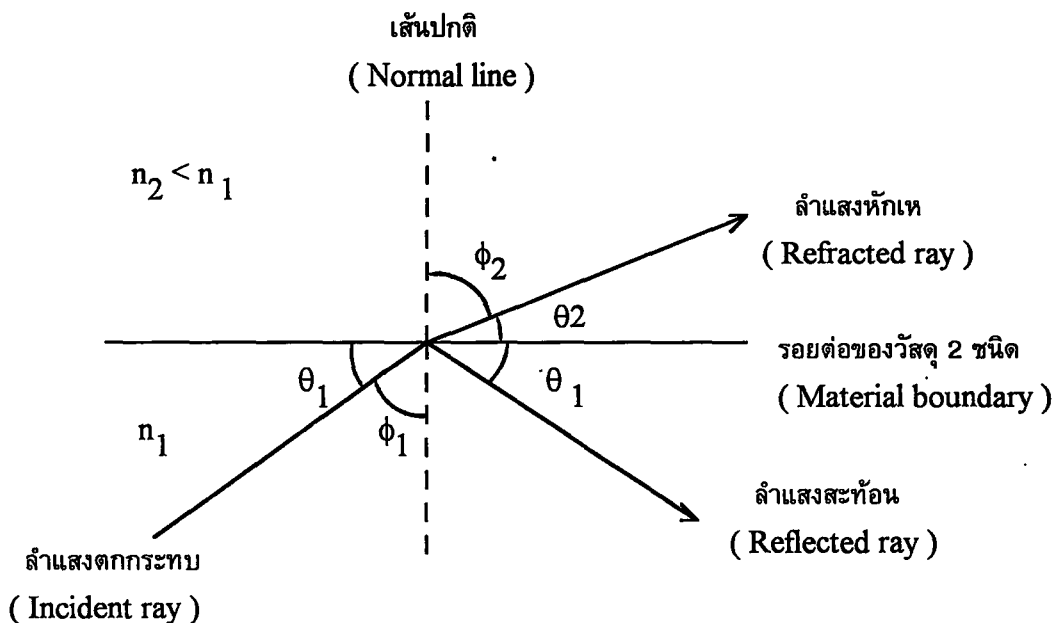
1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับวิธีการเตรียมและการตรวจสอบสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์เรซิน เพื่อใช้ในการเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง
2. สามารถนำพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์ไปใช้เตรียมเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

บทที่ 2 ทัศนศาสตร์และหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทัศนศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเส้นใยนำแสง

2.1.1 การนำแสงของเส้นใยนำแสง

พารามิเตอร์เชิงแสงพื้นฐานของวัสดุ คือ ดัชนีหักเห (n) ในบรรยากาศปกติแสงเดินทางด้วยความเร็ว (c) เท่ากับ 3×10^8 เมตร / วินาที ในวัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric) แสงเดินทางด้วยความเร็ว (v) เท่ากับ c/n ซึ่งมีค่าน้อยกว่า c เมื่อแสงตกกระทบบนรอยต่อของวัสดุแตกต่างกันสองชนิด แสงบางส่วนถูกสะท้อนกลับและแสงส่วนที่เหลือจะเกิดการหักเหเข้าไปในวัสดุชนิดที่สองซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของความเร็วแสงในวัสดุสองชนิดที่มีดัชนีหักเหต่างกัน ดังรูป 2.1



รูป 2.1

การสะท้อนและการหักเหของแสงบริเวณรอยต่อของวัสดุสองชนิด(1)

กฎของสเนล (Snell ' s Law) อธิบายความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อของวัสดุสองชนิดดังสมการ (1) หรือ (2)

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2 \quad (1)$$

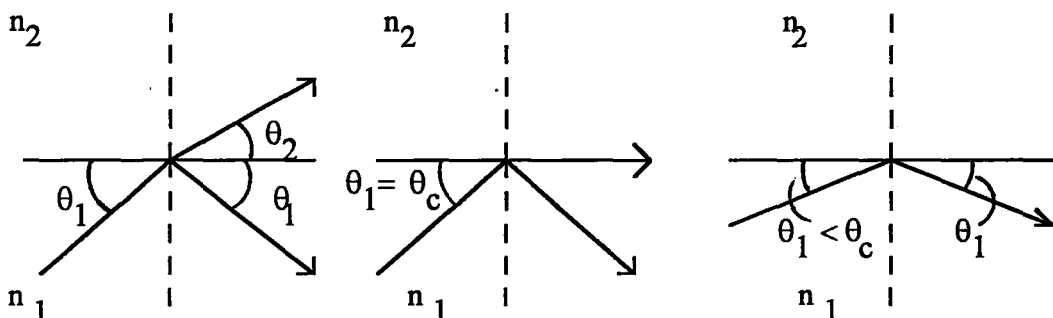
$$n_1 \cos \theta_1 = n_2 \cos \theta_2 \quad (2)$$

โดย n_1 คือ ดัชนีหักเหของวัสดุที่แสงตกกระทบ และ n_2 คือดัชนีหักเหของวัสดุที่แสงเกิดการหักเห ϕ_1 และ θ_1 คือมุมที่ลำแสงตกกระทบกระทำกับเส้นปกติและพื้นผิวรอยต่อของวัสดุตามลำดับ ส่วน ϕ_2 และ θ_2 คือมุมที่ลำแสงหักเหกระทำกับเส้นปกติและพื้นผิวรอยต่อของวัสดุตามลำดับ

เมื่อลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงภายนอกตกกระทบวัสดุที่มีความหนาแน่นมากกว่าด้วยมุม θ_1 ที่เล็กลงลำแสงจะเกิดการหักเหด้วยมุม θ_2 ซึ่งจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ มุม θ_1 ที่ทำให้มุม θ_2 มีค่าเท่ากับศูนย์เรียกว่ามุมวิกฤต (θ_c) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3)

$$\theta_c = \text{arc cos} (n_2 / n_1) \quad (3)$$

เมื่อมุม θ_c มากกว่า θ_1 การหักเหจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ และแสงจะถูกจำกัดให้เคลื่อนที่อยู่ในตัวกลางที่หนาแน่นมากกว่าโดยปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมด ดังรูป 2.2 การเคลื่อนที่ของแสงภายในเส้นใยนำแสงอาศัยหลักการการสะท้อนกลับหมดของแสงนี้เอง

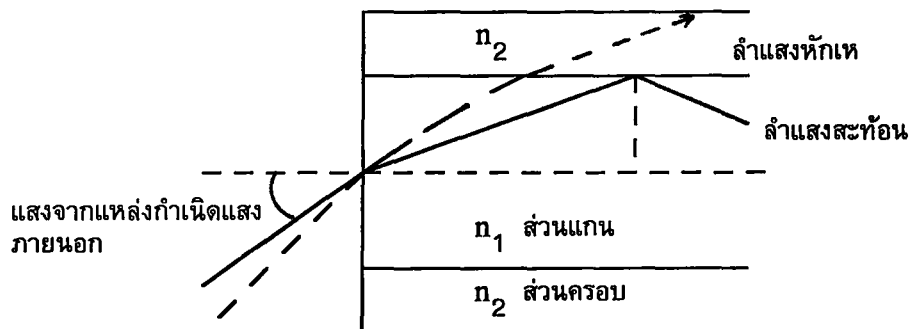


รูป 2.2

มุมวิกฤตและการสะท้อนกลับหมดของแสง(1)

รูปพรรณของเส้นใยนำแสงโดยปกติเป็นทรงกระบอก ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแกนเส้นใย (Core) ในรายงานฉบับนี้จะเรียกโดยย่อว่า " แกน " และส่วนห่อหุ้มเส้นใย (Clad) ในรายงานฉบับนี้จะเรียกโดยย่อว่า " ครอบ " ส่วนแกนเป็นของแข็งรูปทรงกระบอกที่มีดัชนีหักเหเท่ากับ n_1 ส่วนแกนถูกล้อมล้อมรอบด้วยครอบที่มีดัชนีหักเหเท่ากับ n_2 ซึ่งโดยปกติควรมีค่าน้อยกว่า n_1

เมื่อแสงในเส้นใยตกกระทบบริเวณรอยต่อของแกนกับส่วนห่อหุ้มเป็นมุมเฉียงค่าหนึ่งแล้ว แสงจะถูกกักอยู่ในแกนโดยเกิดการสะท้อนกลับหมด ดังแสดงในรูป 2.3



รูป 2.3

การสะท้อนกลับหมดของแสงในเส้นใยนำแสง(1)

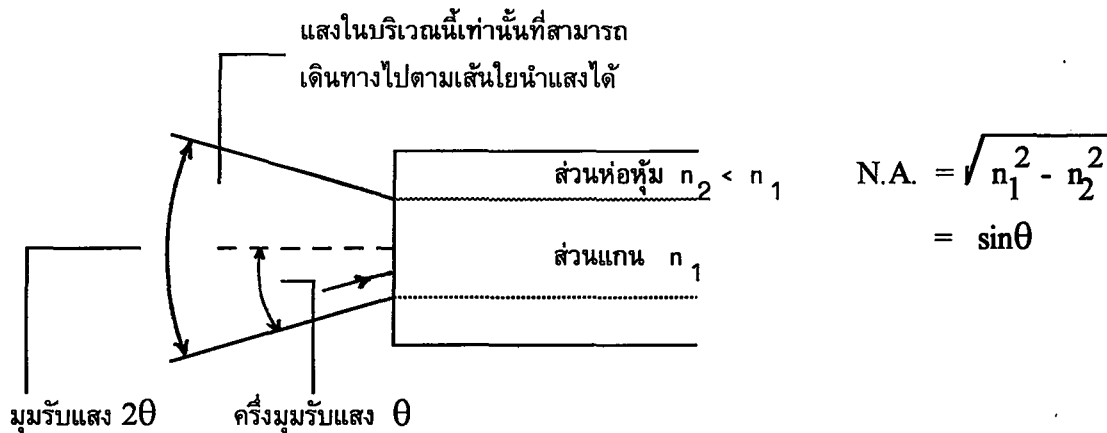
การนำแสงของเส้นใยขึ้นอยู่กับมุมรับแสง (Fiber's Acceptance Angle) ของเส้นใย โดยทั่วไปมุมรับแสงของเส้นใยแสดงในรูปของ " นิวเมอริคอล อะเพอเจอร์ " (Numerical Aperture, NA) สำหรับแสงจากอากาศภายนอกที่เข้าสู่เส้นใยจะมีค่า NA ดังสมการ (4)

$$NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (4)$$

เมื่อ n_1 คือดัชนีหักเหของส่วนแกนเส้นใยและ n_2 คือดัชนีหักเหของส่วนครอบเส้นใย อีกนัยหนึ่ง NA มีค่าเท่ากับค่าซายน์ (Sine) ของครึ่งมุมรับแสง (Half - Acceptance Angle) ดังแสดงในสมการ (5)

$$NA = \sin \theta \quad (5)$$

เมื่อมุม θ คือมุมที่กระทำกับแนวแกนเส้นใย (พิจารณารูป 2.4 ประกอบ)



รูป 2.4

มุมรับแสงของเส้นใยนำแสง(2)

2.1.2 การสูญเสียสัญญาณแสง (Transmission Loss)

การสูญเสียสัญญาณแสงเป็นตัวบอกรับว่า กำลังของแสงที่เดินทางไปในเส้นใยนำแสงนั้นจะลดลงไปจากเดิมเท่าไร การสูญเสียแสงยิ่งน้อยเท่าไรจะทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงได้ไกลมากยิ่งขึ้น

การสูญเสียสัญญาณแสง อาจเนื่องมาจาก

2.1.2.1 การสูญเสียจากตัวเส้นใยนำแสงเอง (Fixed Loss) เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ กัน ได้แก่ การดูดกลืนแสง (Absorption Loss) การกระเจิงของแสงแบบเรเลย์ (Rayleigh Scattering Loss) และการกระเจิงของแสงเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างเส้นใย (Ununiformity Loss)

2.1.2.2 การสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมา (**Additional Loss**) เกิดจากสาเหตุต่างๆกัน ได้แก่ การโค้งงอของเส้นใย (Bending Loss) การโค้งงอแบบไมโครเบนดิง (Microbending Loss) การต่อเส้นใยแสง (Connection Loss) การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กำเนิดแสงหรืออุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยนำแสง (Coupling Loss) ซึ่งรายละเอียดของแต่ละสาเหตุมีดังต่อไปนี้

ก. การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดกลืนแสง (Absorption Loss)

สารที่ใช้ผลิตเส้นใยแสงเองและสารอื่นที่เจือปนอยู่ในเส้นใยเป็นตัวดูดกลืนแสงที่เดินทางในเส้นใยนำแสงแล้วเปลี่ยนการสูญเสียเป็นความร้อน เพราะฉะนั้นการพัฒนาเส้นใยนำแสงให้มีการสูญเสียแสงต่ำจึงต้องทำให้เส้นใยมีสารมลทินอยู่น้อยที่สุด

ข. การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระเจิงแสงแบบเรเลย์ (Rayleigh Scattering Loss)

การสูญเสียแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อแสงไปกระทบกับอนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแล้วทำให้แสงนั้นกระจัดกระจายออกในทิศทางต่างๆ ขนาดของการกระเจิงแสงแบบเรเลย์เป็นสัดส่วนกลับกับความยาวคลื่นแสงยกกำลัง 4 ซึ่งหมายความว่าเมื่อความยาวคลื่นยิ่งมีค่ามากการกระเจิงของแสงแบบเรเลย์จะน้อยลง ตัวอย่างเช่น เมื่อความยาวคลื่นเป็น 1 ไมโครเมตร การกระเจิงแสงแบบเรเลย์มีค่าประมาณ 1 เดซิเบลต่อกิโลเมตร แต่หากความยาวคลื่นเป็น 1.6 ไมโครเมตร การกระเจิงของแสงแบบเรเลย์จะมีค่าลดลงเหลือ 0.1 เดซิเบลต่อกิโลเมตร(3)

ค.การสูญเสียจากการกระเจิงแสงเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใย (Ununiformity Loss)

เส้นใยที่ผลิตได้จริงนั้นไม่ได้มีลักษณะกลมร้อยเปอร์เซ็นต์ ทั้งยังไม่สามารถทำให้ส่วนแกนและส่วนครอบเส้นใยมีรูปทรงกระบอกสม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ ตรงบริเวณรอยต่อของแกนและส่วนครอบเส้นใยจึงไม่สม่ำเสมอมีลักษณะคล้ายถนนขรุขระซึ่งทำให้เกิดการกระเจิงของแสง แสงที่เดินทางในเส้นใยบางส่วนจึงกระจายออกไปนอกเส้นใย

ง. การสูญเสียแสงจากการกระเจิงแสงเนื่องจากการโค้งงอของเส้นใย (Bending Loss)

เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยถูกโค้งงอด้วยมุมมากกว่ามุมวิกฤตทำให้แสงไม่สามารถเดินทางไปตามแกนเส้นใย แต่จะกระจายออกไปนอกแกนทำให้เกิดการสูญเสียแสง ดังนั้นการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงต้องระมัดระวังอย่าให้เกิดการโค้งงอเส้นใยมากเกินไป

จ. การสูญเสียแสงที่เกิดจากการโค้งงอแบบไมโครเบนดิง (Microbending Loss)

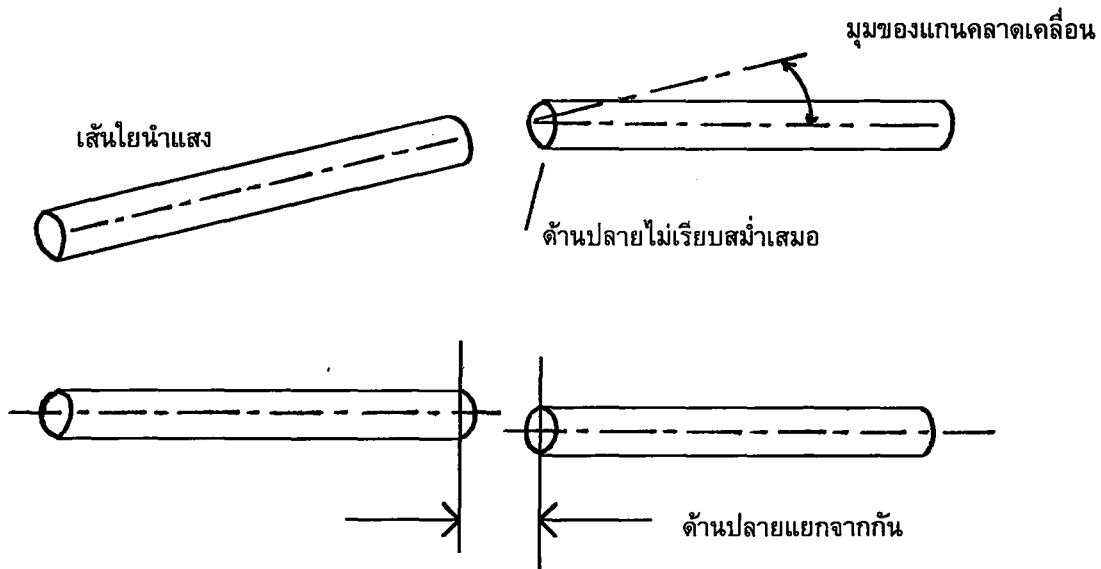
เป็นการสูญเสียที่เกิดจากมีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอกระทำที่ด้านข้างของเส้นใยนำแสงทำให้แกนของเส้นใยบิดงอไปเล็กน้อย (ประมาณ 2 - 3 ไมโครเมตร) ด้วยเหตุนี้จึงต้องป้องกันเส้นใยแสงจากแรงกดทางด้านข้างด้วยการหุ้มเส้นใยด้วยชั้น (Layer) ป้องกันการกระแทก

ฉ. การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง (Connection Loss)

การต่อเส้นใยแสงคล้ายกับการต่อท่อน้ำประปาหรือท่อแก๊ส คือ ต้องต่อเข้ากันให้ดีไม่ให้เกิดการรั่ว กรณีที่ต่อเส้นใยแสงสองเส้นเข้าด้วยกันต้องปรับแกนของเส้นใยทั้งสองให้ตรงกันพอดีและไม่เกิดช่องว่าง (Gap) ระหว่างเส้นใยทั้งสอง ดังแสดงในรูป 2.5 หากแกนเส้นใยทั้งสองต่อกันไม่สนิทสมมุติแสงที่ออกมาจากแกนเส้นใยเส้นหนึ่งจะไม่เข้าไปในแกนเส้นใยเส้นที่สองแต่จะกระจายออกนอกเส้นใยทำให้เกิดการสูญเสียแสง

ช. การสูญเสียแสงที่เกิดจากการต่อเส้นใยกับอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง (Coupling Loss)

อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้กับเส้นใยนำแสงได้แก่ เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode, LD) และไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED) โดยเลเซอร์ไดโอดทำให้เกิดการสูญเสียแสงจากการเชื่อมต่อน้อยกว่า



รูป 2.5

แสดงสาเหตุต่างๆของการสูญเสียแสงที่เกิดจากการต่อเส้นใยนำแสง(3)

2.1.3 ชนิดของเส้นใยนำแสง

การใช้งานเส้นใยนำแสงที่แตกต่างกันก็ต้องการเส้นใยที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการผลิตเส้นใยนำแสงหลายชนิดเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละอย่าง เช่น การใช้ในงานโทรคมนาคมระยะทางไกลๆต้องการความเร็วในการส่งสัญญาณสูงและการสูญเสียของสัญญาณต่ำซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีครบถ้วนอยู่ในเส้นใยชนิดเดียว (Single Mode) ที่มีแกนเส้นใยขนาดเล็กสำหรับเครือข่ายงานในพื้นที่เฉพาะจุดและต้องการลดค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อและคู่ควบของระบบต่ำต้องใช้เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีหักเหแบบเกรดที่มีแกนเส้นใยขนาดใหญ่

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกชนิดของเส้นใยนำแสงสำหรับการใช้งานหนึ่งๆมีดังต่อไปนี้

- มีการลดทอนของสัญญาณแสงภายในเส้นใยต่ำ
- ส่งสัญญาณได้ด้วยความเร็วสูงและในช่วงความยาวคลื่นกว้างที่สุด
- สามารถรวบรวมแสงจากแหล่งกำเนิดแสงราคาถูกลงได้ง่าย
- สามารถเชื่อมต่อหรือคู่ควบกันภายในระบบได้ง่าย
- ราคาของเส้นใยนำแสง
- ความทนทานต่ออุณหภูมิหรือสภาวะอื่นๆ
- ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นโค้งงอของเส้นใย

2.1.3.1 การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสง

เส้นใยนำแสงสามารถแบ่งออกได้หลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้พิจารณา ซึ่งโดยทั่วไปมีอยู่ 3 เกณฑ์ คือ ชนิดของไดอิเล็กตริก (Dielectric) จำนวนแบบการเดินทางของแสง (Propagation Mode) และลักษณะของดัชนีหักเห (Refractive Index)

ก. การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามชนิดของไดอิเล็กตริก (Dielectric)

สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. เส้นใยแก้วซิลิกา (Silica Glass Optic Fiber)
2. เส้นใยแก้วผสม (Compound Glass Optic Fiber)
3. เส้นใยห่อหุ้มพลาสติก (Plastic Clad Optic Fiber)
4. เส้นใยพลาสติก (Plastic Optic Fiber)

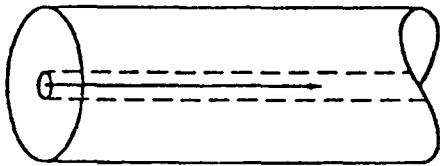
ข. การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามจำนวนแบบการเคลื่อนที่ของแสง (Propagation Mode) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. เส้นใยนำแสงชนิดแบบเดี่ยว (Single Mode Optic Fiber)

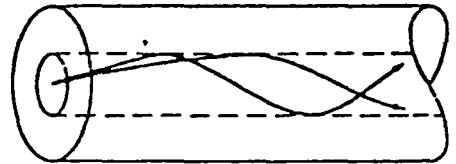
เส้นใยนำแสงชนิดนี้แกนเส้นใยมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก แสงเดินทางภายในเส้นใยด้วยเส้นทางเดียว ดังแสดงในรูป 2.6 ก

2. เส้นใยนำแสงชนิดแบบสห (Multi Mode Optic Fiber)

เส้นใยนำแสงชนิดนี้แกนเส้นใยมีขนาดใหญ่กว่าชนิดแบบเดี่ยว แสงสามารถเดินทางในเส้นใยได้หลายเส้นทาง ดังรูป 2.6 ข



ก



ข

รูป 2.6

ก เส้นใยนำแสงชนิดแบบเดี่ยว ข เส้นใยนำแสงชนิดแบบสห(1)

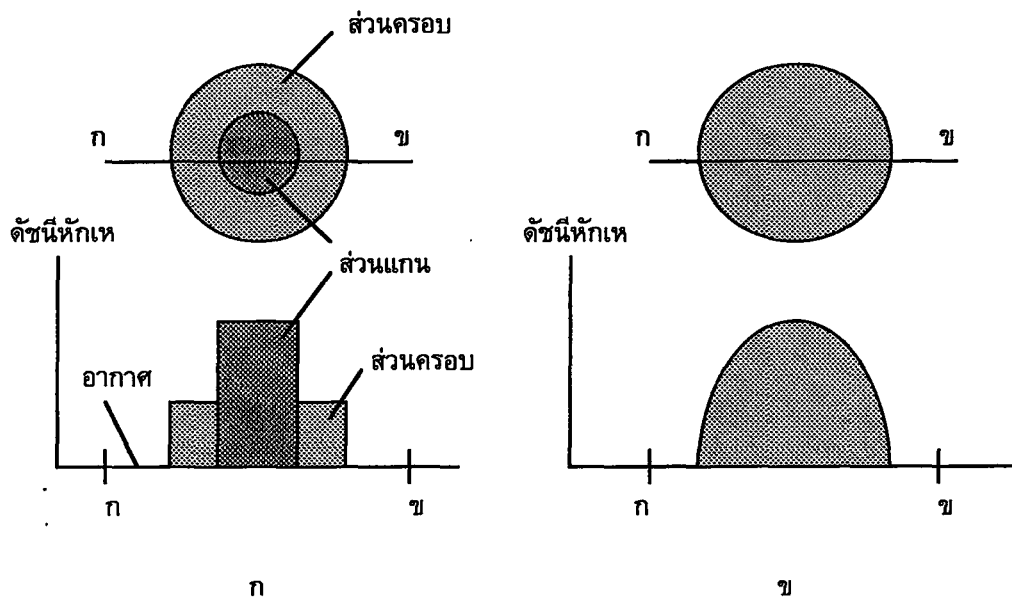
ค. การแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงตามลักษณะของดัชนีหักเห สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีหักเหแบบขั้น (Step Index Optic fiber)

เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีหักเหแบบขั้นนี้ ทุกๆส่วนของแกนเส้นใยมีดัชนีหักเหเท่ากัน ดังแสดงในรูป 2.7 ก

2. เส้นใยนำแสงชนิดดัชนีหักเหแบบเกรด (Grade Index Optic Fiber)

เส้นใยนำแสงชนิดนี้ บริเวณศูนย์กลางแกนเส้นใยมีดัชนีหักเหสูงสุดและจะลดหลั่นกันไปตามแนวรัศมีของแกนเส้นใย ดังรูป 2.7 ข



รูป 2.7

ก แสดงลักษณะดัชนีหักเหของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีหักเหแบบขั้น

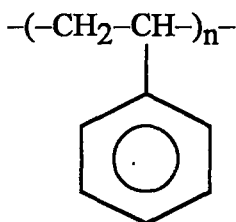
ข แสดงลักษณะดัชนีหักเหของเส้นใยนำแสงชนิดดัชนีหักเหแบบเกรด(4)

2.1.4 วัสดุสำหรับการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

การเลือกวัสดุสำหรับผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงทั้งส่วนแกนและส่วนครอบ พิจารณาจากดัชนีหักเหของวัสดุพอลิเมอร์เป็นเกณฑ์สำคัญ โดยวัสดุที่ใช้เป็นแกนเส้นใยเป็นตัวกำหนดชนิดของวัสดุ ส่วนห่อหุ้มเส้นใย วัสดุส่วนครอบควรมีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่าส่วนแกนอย่างน้อย 1 % การเลือกวัสดุที่ใช้ในการผลิตเส้นใยไม่เพียงพิจารณาแต่ดัชนีหักเหของวัสดุเท่านั้นควรพิจารณาถึงพารามิเตอร์อื่นๆ ประกอบด้วย ดังรายละเอียดแสดงในตาราง 2.1

ในบรรดาวัสดุพอลิเมอร์มากมายหลายชนิด มีพอลิเมอร์ 3 ชนิดที่นิยมใช้ในการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง ได้แก่ พอลิสไตรีน (polystyrene, PS) พอลิคาร์บอเนต (polycarbonate, PC) และพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต) (poly(methyl methacrylate), PMMA)

พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS)



พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความใสและความมันเงาสูง ถึงกับมีการนำพอลิสไตรีนไปผลิตเป็นเลนส์ พอลิสไตรีนสามารถส่งผ่านแสงวิสิเบิล (visible light) ได้สูงถึง 88 - 91 % และสามารถส่งผ่านแสงย่านอินฟราเรดระยะใกล้ (ความยาวคลื่นช่วง 780 ถึง 2500 นาโนเมตร) ได้สูงถึงประมาณ 70 - 90 % ดัชนีหักเหของพอลิสไตรีนเท่ากับ 1.5894(5)

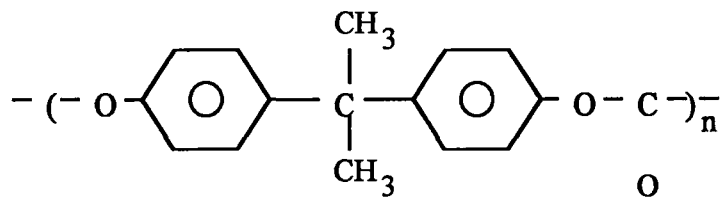
ตาราง 2.1

พารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาประกอบการเลือกวัสดุในการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง(4)

พารามิเตอร์	ข้อเสนอแนะ
มอโฟโลยี (Morphology)	มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานและเป็นเนื้อเดียวอย่างยิ่งยวด ความเป็นผลึกทำให้เกิดการกระเจิงของแสงเนื่องจากความแตกต่างของดัชนีหักเห
น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight)	น้ำหนักโมเลกุลสูง มีปริมาณปลายสายโซ่น้อย เป็นเนื้อเดียวกัน มากขึ้น แต่หลอมเหลวและละลายได้ยาก
การกระจายของน้ำหนัก โมเลกุล	การกระจายของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง ช่วยให้แปรรูปได้ง่าย
สถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition)	T_g ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลมากขึ้น ทำให้ การกระเจิงของแสงเพิ่มขึ้น ดังนั้น พอลิเมอร์ควรมี T_g สูงกว่า อุณหภูมิห้อง
โซ่สาขา (Branching)	โซ่กิ่งสั้น โครงสร้างเป็นอสัณฐานมากขึ้น เนื่องจากโซ่กิ่งยาวอาจมี ความเป็นผลึกในโซ่กิ่งได้
การเชื่อมโยงสายโซ่ (Cross Linking)	หากมีการเชื่อมโยงสายโซ่พอลิเมอร์จะทำให้ T_g สูงขึ้น ช่วยเพิ่ม ความเสถียรต่อความร้อน แต่แปรรูปยากขึ้น
สารตัวเติม (Additives)	อาจต้องใช้ เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพแต่เป็นเสมือนสารมลทิน ทำให้เกิดการกระเจิงของแสงเพิ่มขึ้น
หน่วยที่ซ้ำๆกัน (Repeat Unit)	ไม่ควรมีหมู่ที่ขบ่น้ำอยู่ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ หากมีหมู่อะไร มาติกหรือหมู่คอนจูเกตเต็ด จะทำให้การดูดกลืนแสง UV เพิ่มขึ้น โคพอลิเมอร์แบบสุ่มเพิ่มความเป็นอสัณฐาน และทำให้แปรรูปง่าย ขึ้น
แทกทิซิตี (Tacticity)	ควรเป็นอะแทกติก เพราะไอโซแทกติกเพิ่มความเป็นผลึก ซึ่งทำ ให้การกระเจิงของแสงเพิ่มมากขึ้น

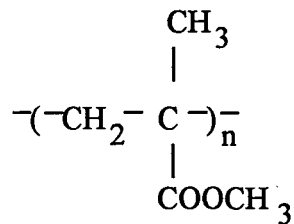
นอกจากสมบัติเชิงแสงเหล่านี้แล้ว พอลิสไตรีนยังทนทานต่อสารเคมี ไม่ทำปฏิกิริยากับสารจำพวกกรดอินทรีย์ (ยกเว้นกรดแก่ที่เป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง) กรดอินทรีย์ เอมีนชนิด-ไฮโดรเจน ต่าง และเกลืออินทรีย์ พอลิสไตรีนไม่ดูดซับน้ำและป้องกันการซึมผ่านของน้ำและไอน้ำได้ดีและที่สำคัญคือราคาถูก อย่างไรก็ตาม พอลิสไตรีนจัดเป็นพลาสติกประเภทไม่ทนทานต่อสภาวะอากาศ เช่น ไม่ทนทานต่อความร้อน อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของพอลิสไตรีนสูงกว่าจุดเดือดของน้ำเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 ถึง 90 °C ได้ เนื่องจากจะสูญเสียความสามารถในการคืนตัว พอลิสไตรีนสลายตัวได้ด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงและผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง การเปลี่ยนสีและความเปราะเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตทำให้ไม่สามารถนำพอลิสไตรีนไปใช้งานกลางแจ้งได้

พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC)



พอลิคาร์บอเนตเป็นพอลิเมอร์วิศวกรรมชนิดหนึ่งซึ่งมีสมบัติเชิงกลดีเยี่ยม มีความสามารถในการส่งผ่านแสงสูงถึง 68 - 89 % และความขุ่นมัวเพียง 1 % จึงนิยมใช้ในการผลิตเลนส์ชนิดต่างๆ พอลิคาร์บอเนตเรซินมีดัชนีหักเห 1.586 โดยทั่วไปไม่มีความเสถียรต่อน้ำแร่ธาตุและกรดอินทรีย์ ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอและมอดูลัสของการโค้งงอจะลดลงแต่ความแข็งแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิใช้งานเพิ่มสูงขึ้น โดยสรุปเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุพอลิเมอร์ชนิดอื่น พอลิคาร์บอเนตจัดว่ามีความทนทานต่อสภาวะอากาศและมีสมบัติเชิงกลอยู่ในเกณฑ์ดี

พอลิ(เมธิล เมทาคริเลต) (Polymethyl methacrylate, PMMA)



พอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)เป็นพอลิเมอร์มีขั้ว สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ จึงดูดซับความชื้นได้ สมบัติทางไฟฟ้า ทางกายภาพ และทางกลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้น พอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)เหนียวกว่าพอลิสไตรีน ความแข็งแรงอัดสูงกว่าแก้ว ความแข็งแรงดึง ๓ จุดขาดและมอดูลัสการโค้งงอสูงกว่าพอลิคาร์บอนเนต พอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)แข็งกว่าเทอร์โมพลาสติกหลายชนิด ทนทานต่อสารเคมีแต่ไม่ทนทานต่อการขีดข่วน หนักกว่าน้ำแต่เบากว่าโลหะ มีความหนาแน่นเป็นครึ่งหนึ่งของแก้ว อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เท่ากับ 105°C ค่าดัชนีหักเหเท่ากับ 1.49

พอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)มักถูกใช้ในงานที่ต้องการสมบัติเชิงแสงดีเยี่ยม เนื่องจากสามารถส่งผ่านแสงได้ถึง 92 % แสงประมาณ 4 % สูญเสียไปเนื่องจากการสะท้อนที่พื้นผิวและเกิดจากการดูดกลืนอีกประมาณ 0.5 % ต่อความหนาหนึ่งนิ้ว ด้วยความหนาเพียงหกนิ้วก็ทำให้แก้วเกือบทึบแสง แต่สำหรับพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต) แม้ความหนามากกว่านี้ถึงหกเท่าก็ยังคงความใสไว้ได้ พอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)ดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การดูดกลืนแสงจะเพิ่มมากขึ้นที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 330 นาโนเมตร ด้วยสมบัติทนทานต่อแสงและสารเคมี ทำให้เหมาะสำหรับใช้งานกลางแจ้ง มีอายุการใช้งานกลางแจ้งมากกว่า 20 ปีโดยไม่มีสมบัติใดๆด้อยลง ราคาของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)ถูกกว่าพอลิคาร์บอนเนตเรซินครึ่งหนึ่งแต่แพงกว่าพอลิสไตรีนประมาณ 2 เท่า

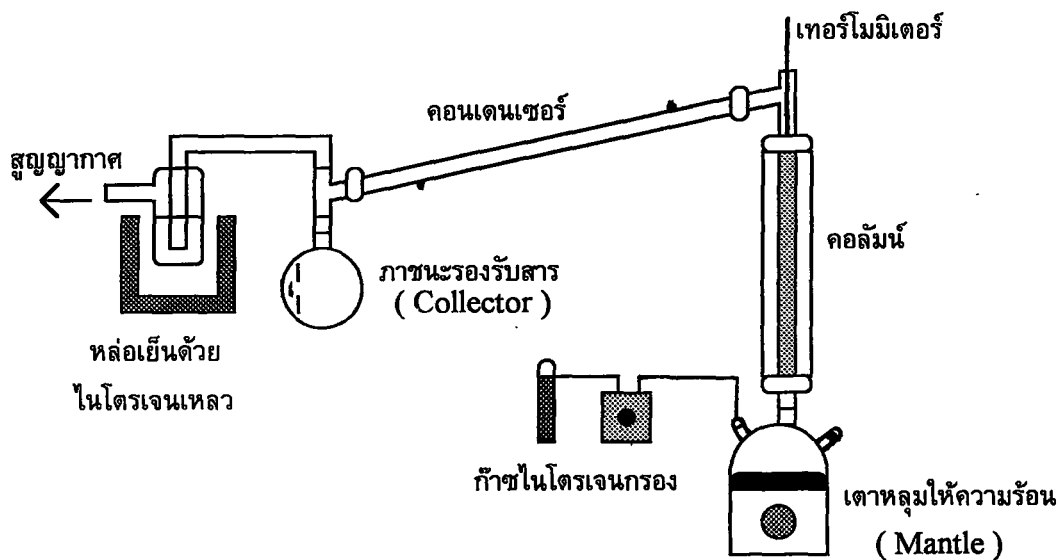
2.1.5 กระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

การผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีหลักๆ คือ การอัดรีด (Extrusion) และการดึงเส้นใยจากแท่งพรีฟอร์ม (Preform Drawing) ทั้งสองวิธีจำเป็นต้องมีกระบวนการพื้นฐาน 2 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมสารตั้งต้นสำหรับการพอลิเมอไรเซชันและกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน

2.1.5.1. การเตรียมสารตั้งต้นสำหรับการพอลิเมอไรเซชัน

มอนอเมอร์ที่มีจำหน่ายในเชิงการค้ามีสารยับยั้งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและสารปนเปื้อนเจือปนอยู่ ดังนั้นก่อนการนำไปใช้จะต้องกำจัดออกก่อน การกำจัดสารยับยั้งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันทำได้โดยวิธีการสกัด แล้วทำให้ปราศจากน้ำด้วยกระบวนการทางเคมีหลังจากนั้นนำมอนอเมอร์ที่ได้ไปกลั่นภายใต้สุญญากาศ

ปัญหาสำคัญ คือ การกำจัดอนุภาคสารมลทินซึ่งเป็นจุดกำเนิดของการกระเจิงของแสง การกลั่นภายใต้ความดันต่ำหลายๆครั้งสามารถแก้ปัญหานี้ได้ ชุดอุปกรณ์การกลั่นภายใต้ความดันแสดงในรูป 2.8 เพื่อลดความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของมอนอเมอร์อันเนื่องมาจากการเกิดพอลิเมอไรเซชันซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ จึงควรใช้มอนอเมอร์ภายใน 3 ชั่วโมงหลังการกลั่นครั้งสุดท้าย



รูป 2.8

ชุดอุปกรณ์การกลั่นภายใต้ความดัน (4)

2.1.5.2 กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization Process)

กระบวนการพอลิเมอไรเซชันมีด้วยกันหลายเทคนิค แต่ละเทคนิคมีรายละเอียดแตกต่างกันดังต่อไปนี้

พอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ (Bulk Polymerisation)

ในระบบเนื้อเดียวกัน (Homogeneous System) พอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์นี้มีมอนอเมอร์บริสุทธิ์เพียงชนิดเดียวและสารริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) อีกปริมาณเล็กน้อยหรืออาจมีสารย้ายไซเพื่อควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ต้องการ ไม่มีตัวทำละลายหรือสารชนิดอื่น พอลิเมอไรเซชันแบบนี้เหมาะอย่างยิ่งสำหรับเตรียมพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานโดยสมบูรณ์และเพื่อให้มีสมบัติใสหรือโปร่งแสงเหมือนแก้วเทคนิคนี้มีข้อเสียตรงที่ยากต่อการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาและยากต่อการควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยา

พอลิเมอไรเซชันในสารละลาย (Solution Polymerisation)

เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบนี้โดยทั่วไปมีมอนอเมอร์บริสุทธิ์และสารริเริ่มปฏิกิริยาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม เช่น เบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) คลอโรฟอร์ม (Chloroform) และไฮโดรคาร์บอน พอลิเมอไรเซชันแบบนี้ลดปัญหาในการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาและความร้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา แต่มีข้อเสียเปรียบอยู่สองประการ คือ อาจเกิดปฏิกิริยาการย้ายไซของอนุมูลอิสระที่กำลังเจริญเติบโตให้แก่ตัวทำละลายในกรณีที่ไม่ต้องการให้เกิดการย้ายไซซึ่งจะมีผลต่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ต้องการและปัญหาการทำให้พอลิเมอร์แห้งหากตัวทำละลายเป็นสารที่ระเหยยาก

พอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย (Suspension Polymerisation)

เทคนิคการพอลิเมอไรเซชันแบบนี้กระจายมอนอเมอร์เป็นหยดเล็กๆขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.01 - 0.05 เซนติเมตรในตัวกลางที่มอนอเมอร์

ไม่ละลายซึ่งโดยทั่วไปเป็นน้ำ การกระจายมอนอเมอร์เป็นหยดเล็กๆใช้วิธีการปั่นกวอย่างรวดเร็วควบคู่ไปกับการเติมสารช่วยกระจาย (Dispersant) หรือสารเพิ่มความเสถียร (Stabilizer) ซึ่งโดยทั่วไปเป็นสารพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ เช่น พอลิ(ไวนิล แอลกอฮอล์) เมธิลเซลลูโลส ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้หยดมอนอเมอร์ที่กำลังพอลิเมอไรซ์อยู่กลับมารวมตัวกันเป็นหยดใหญ่ส่วนสารริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้เป็นสารที่สามารถละลายในมอนอเมอร์ได้ ซึ่งโดยทั่วไปได้แก่สารเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ เช่น เบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ทั่วไปตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 60 °C

การพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอยนี้มีลักษณะคล้ายกับแบบบัลค์มาก เพราะประกอบด้วยสารริเริ่มปฏิกิริยาละลายในมอนอเมอร์ แตกต่างกันเพียงมอนอเมอร์ถูกแยกออกจากกันในรูปแบบของหยดเล็กๆแขวนลอยอยู่ในตัวกลางเท่านั้น แต่วิธีนี้มีข้อดีตรงที่ตัวกลางคอยทำหน้าที่รับและกระจายความร้อนของปฏิกิริยาจึงช่วยลดปัญหาการควบคุมอุณหภูมิและความหนืดของสารผสมในปฏิกิริยา

การพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion Polymerization)

เทคนิคการพอลิเมอไรเซชันแบบนี้มีน้ำเป็นตัวกลางเช่นเดียวกับกรณีแบบแขวนลอยแต่มีข้อแตกต่างที่สำคัญ 2 ประการ คือ สารริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ละลายอยู่ในน้ำแทนที่จะละลายอยู่ในมอนอเมอร์และขนาดของหยดมอนอเมอร์เล็กกว่าทำให้พอลิเมอร์ที่ได้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่ามาก (ประมาณ 10^{-4} เซนติเมตรเทียบกับ 0.01 - 0.05 เซนติเมตรในกรณีของการพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย)(6)

องค์ประกอบหลักในกระบวนการนี้ ได้แก่ มอนอเมอร์ ตัวกลาง(น้ำ) สบู่หรือ สารอิมัลซิไฟเออร์ สารริเริ่มปฏิกิริยาที่สามารถละลายน้ำได้และสารย้ายโซ่ การพอลิเมอไรเซชันแบบนี้เริ่มต้นด้วยการตีสบู่ในน้ำในหม้อปฏิกิริยา สบู่ส่วนน้อยจะละลายน้ำ ส่วนที่เหลือจะเกาะกลุ่มกันเรียกว่า "ไมเซลล์ (micelle)" โมเลกุลของสบู่ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว (ไม่ชอบน้ำ) และหมู่คาร์บอกซิเลตที่มีขั้ว (ชอบน้ำ) การจัดเรียงตัวของสบู่ในไมเซลล์จะมีส่วนที่เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนชี้เข้าข้างในและหันส่วนที่เป็นหมู่คาร์บอกซิเลตออกข้างนอก รูปร่างของไมเซลล์แสดงในรูป 2.9 เมื่อเติมมอนอเมอร์ที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำเข้าไปในระบบที่ถูกปั่นกววนตลอดเวลา มอนอเมอร์บางส่วนจะละลายเข้าไปในไมเซลล์ทำให้ขนาดของไมเซลล์โตขึ้น มอนอเมอร์ส่วนที่เหลือจะอยู่กันเป็นหยดเล็กๆกระจายอยู่ทั่วไปในระบบ เมื่อเติมสารริเริ่มปฏิกิริยาที่ละลายน้ำได้ลงในระบบ อนุโมลติสระที่เกิดจากการแตกตัวของสารริเริ่มปฏิกิริยาจะริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งพบว่าอนุโมลติสระทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะแพร่เข้าไปในไมเซลล์เพื่อริเริ่มและแผ่ขยายปฏิกิริยาทันที ขณะเดียวกันมอนอเมอร์จากภายนอกไมเซลล์จะแพร่เข้าไปในไมเซลล์ เกิดปฏิกิริยาแผ่ขยายมากขึ้น ทำให้ขนาดของไมเซลล์ใหญ่ขึ้นปฏิกิริยาการแผ่ขยายจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ ในไมเซลล์จนกว่าจะมีอนุโมลติสระอื่นแพร่เข้ามาหรือมีอนุโมลติสระของพอลิเมอร์ที่กำลังเจริญเติบโตแพร่ออกไป ปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุดจะเกิดขึ้นทันที



รูป 2.9

การจัดเรียงตัวของสบู่ในไมเซลล์(6)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเทคนิคการพอลิเมอไรเซชันแต่ละแบบ พบว่ามีข้อดีและข้อเสียที่สำคัญ ดังแสดงในตาราง 2.2

การกระเจิงของแสงเนื่องจากอนุภาคสารปนเปื้อนที่แฝงอยู่ในแกนเส้นใยเป็นสาเหตุหลักของการสูญเสียสัญญาณแสง (Optical Loss) ในเส้นใย ทำให้เทคนิคในการพอลิเมอไรซ์และชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยนำแสงถูกจำกัด ปัจจุบันสองประการที่เอื้อต่อการปนเปื้อนในกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ได้แก่ สารเติมแต่งที่ต้องใช้และพื้นที่ผิวโดยรวมของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ สารตัวเติมอาจมีอนุภาคสารอื่นปะปนอยู่และผงสารซึ่งมีพื้นที่ผิวมากจะเกิดการปนเปื้อนได้ง่ายกว่าวัสดุที่เป็นก้อน ดังนั้นเทคนิคทั่วไปที่ใช้กันในเชิงการค้า เช่น การพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชันมอนอเมอร์ต้องกระจายตัวอยู่ในของเหลวชนิดอื่นและได้ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์เป็นเม็ดเล็กๆเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมในการสังเคราะห์พอลิเมอร์เพื่อนำไปใช้เตรียมเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงที่ต้องการให้มีการสูญเสียสัญญาณแสงต่ำ

การพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์มอนอเมอร์ถูกพอลิเมอไรซ์ร่วมกับสารตัวเติมปริมาณเพียงเล็กน้อย เป็นเทคนิคสำหรับเตรียมพอลิเมอร์ที่มีความบริสุทธิ์สูงจึงนิยมใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์เพื่อใช้ผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

ตาราง 2.2

เปรียบเทียบเทคนิคการพอลิเมอไรเซชันแบบต่างๆ(6)

เทคนิคการพอลิเมอไรเซชัน	ข้อได้เปรียบ (Advantages)	ข้อเสียเปรียบ (Disadvantages)
บัลค์ (Bulk)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ได้พอลิเมอร์ที่มีความบริสุทธิ์สูง มีสารปนเปื้อนน้อย 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ยากต่อการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยา ◆ อาจได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ◆ การกระจายของน้ำหนักโมเลกุลกว้างเกินไป
สารละลาย (Solution)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ อาจเกิดปัญหาในการขจัดตัวทำละลายออกจากพอลิเมอร์
แขวนลอย (Suspension)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ได้พอลิเมอร์ที่มีความบริสุทธิ์สูงเมื่อเทียบกับแบบอิมัลชัน ◆ ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ มีการปนเปื้อนของสารเพิ่มความเสถียร (Stabilizer)
อิมัลชัน (Emulsion)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย ◆ % การเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ (Conversion) สูง ◆ พอลิเมอร์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและการกระจายแคบ 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ยากต่อการขจัดอิมัลซิไฟเออร์ สารลดความตึงผิวและสารมลทินอื่นๆ ◆ ได้พอลิเมอร์ที่มีความบริสุทธิ์ต่ำกว่าแบบแขวนลอย ◆ ค่าใช้จ่ายในการเตรียมสูง

2.1.5.3 การผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงโดยวิธีการอัดรีด (Extrusion)

ก. กระบวนการอัดรีดแบบต่อเนื่อง (Continuous Extrusion)

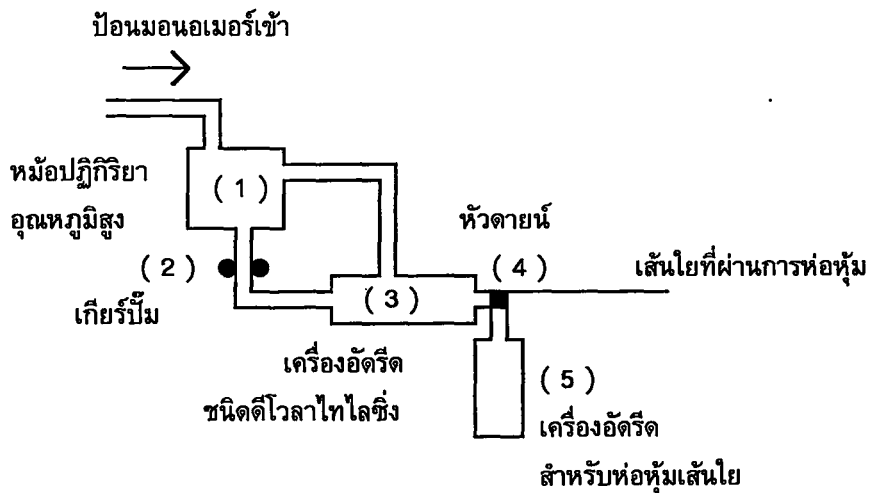
กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ใช้ในเชิงการค้าเนื่องจากมีอัตราการผลิตสูง ลักษณะที่สำคัญของกระบวนการนี้ คือ มอนอเมอร์ที่มีสารริเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) ปริมาณเล็กน้อยและสารย้ายโซ่ถูกป้อนเข้าหม้อปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันภายในหม้อปฏิกิริยาทันที เส้นใยจะถูกอัดรีดผ่านหัวดายน์ (Die) และถูกหุ้มอย่างต่อเนื่องทันที

อุณหภูมิของหม้อปฏิกิริยา และปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาและสารย้ายโซ่ที่ใช้ จะต้องสอดคล้องกับอัตราการผลิตเส้นใยเพื่อรักษาสัดส่วนของพอลิเมอร์และมอนอเมอร์ในหม้อปฏิกิริยาให้อยู่ระหว่าง 60 - 80 % เมื่อหม้อปฏิกิริยามีอุณหภูมิประมาณ 150 °ซ สารละลายชั้นที่เกิดขึ้นจะไหลได้สะดวกและจะถูกปั๊มจากหม้อปฏิกิริยาไปยังเครื่องอัดรีดชนิดดีโวลตาไทไลซิง (Devolatilizing Extruder) โดยใช้เกียร์ปั๊ม (Gear Pump) เครื่องอัดรีดชนิดดีโวลตาไทไลซิงนี้ทำหน้าที่ลดความดันของสารละลายผสมของพอลิเมอร์และมอนอเมอร์อย่างรวดเร็ว เพื่อให้มอนอเมอร์ส่วนเกินระเหยกลับไปยังหม้อปฏิกิริยา ดังนั้นพอลิเมอร์ที่ผ่านไปถึงหัวดายน์จะมีปริมาณมอนอเมอร์น้อยกว่า 1 % เมื่อพอลิเมอร์ส่วนแกนเส้นใยผ่านหัวดายน์ออกมา จะถูกหุ้มด้วยพอลิเมอร์ชนิดที่สองทันทีด้วยเครื่องอัดรีดชนิดอื่น

เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงมอนอเมอร์ไปเป็นพอลิเมอร์ (Conversion) ของปฏิกิริยาควรต่ำกว่า 100 % เนื่องจากการมีมอนอเมอร์เหลืออยู่ในพอลิเมอร์ช่วยพลาสติกไซส์ (Plasticize) ให้พอลิเมอร์สามารถผ่านเกียร์ปั๊มและดีโวลตาไทไลเซอร์ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าในกรณีที่เป็นพอลิเมอร์บริสุทธิ์ ความหนืดที่ลดลงขณะปฏิกิริยาดำเนินไปเกิดขึ้นจากการที่โมเลกุลพอลิเมอร์เคลื่อนที่ในระหว่างการอัดรีด อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของปรากฏการณ์การเร่งที่เกิดขึ้นเอง (Autoacceleration) การ

ป้องกันการเร่งที่เกิดขึ้นเองทำได้โดยควบคุมให้สารผสมของปฏิกิริยามีความหนืดที่เหมาะสม ถ้าความหนืดน้อยเกินไปการคายความร้อนจะเกิดขึ้นน้อยเนื่องจากระบบจะถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนแทน แต่หากความหนืดมากเกินไป ปฏิกิริยาจะรันอะเวย์ (Run Away) ทำให้มอนอเมอร์เดือดเป็นบางบริเวณและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน แผนภาพกระบวนการผลิตแสดงในรูป 2.10

ข้อเสียที่สำคัญของกระบวนการนี้นอกเหนือจากความซับซ้อนของกระบวนการ คือ พอลิเมอร์ต้องสัมผัสกับผนังโลหะเป็นเวลานานจึงเกิดแรงเฉือนสูง อาจทำให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัวและทำให้เครื่องมือมีอายุการใช้งานสั้นลง ช่วงเริ่มต้นของการเดินเครื่องผลิตมอนอเมอร์และพอลิเมอร์จะชะสารมลทินในเครื่องมือออกมา สารมลทินเหล่านี้จะปนเปื้อนอยู่ในเส้นใยนำแสงที่ผลิตได้ในช่วงต้น เส้นใยที่มีการสูญเสียแสงต่ำจะผลิตได้ในช่วงกลางของการผลิต ก่อนที่จะเกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์ในช่วงท้ายทำให้ได้เส้นใยที่มีคุณภาพต่ำ



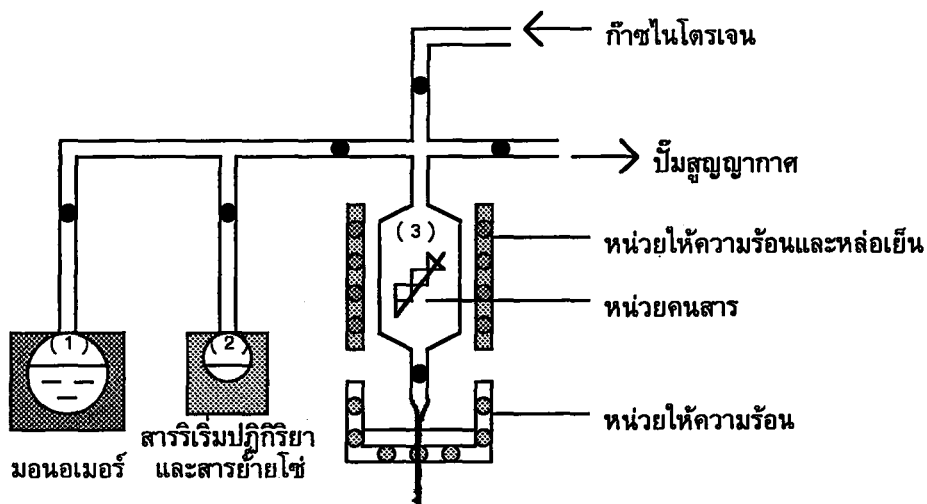
รูป 2.10

กระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงโดยวิธีการอัดรีดแบบต่อเนื่อง(7)

ข. กระบวนการอัดรีดแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch Extrusion)

กระบวนการนี้มอนอเมอร์จะถูกกักไว้ในภาชนะ (1) ไปยังหม้อปฏิริยา (3) สารริเริ่มปฏิริยาและสารย้ายโซ่จะถูกกักหรือทำให้ระเหิดจากภาชนะ (2) ไปยังหม้อปฏิริยา (3) หลังจากนั้นหม้อปฏิริยาจะถูกปิดสนิทและให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิ 180 °ซ เพื่อให้เกิดการพอลิเมอไรเซชัน เมื่อการเปลี่ยนแปลงมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์เกิดขึ้นสมบูรณ์หรือยเปอร์เซ็นต์ ปรับอุณหภูมิเป็น 200 °ซ เพื่อให้พอลิเมอร์หลอมเหลวและไหลออกจากหม้อปฏิริยาโดยใช้ความดันก๊าซไนโตรเจน เกิดเป็นแกนเส้นใยซึ่งจะถูกหุ้มด้วยพอลิเมอร์ชนิดอื่นทันทีโดยเทคนิคเดียวกับกระบวนการอัดรีดแบบต่อเนื่อง(7)

รูป 2.11 แสดงกระบวนการอัดรีดแบบไม่ต่อเนื่อง



รูป 2.11

กระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงโดยวิธีการอัดรีดแบบไม่ต่อเนื่อง(7)

ข้อดีที่สำคัญของกระบวนการนี้ คือ การควบคุมการผลิตและการออกแบบ เครื่องมือสำหรับการผลิตได้ง่าย แต่ก็มีปัญหาบางประการ ได้แก่ ณ ช่วงสุดท้ายของการพอลิเมอไรเซชัน ความหนืดของสารผสมในปฏิกิริยาจะต้องต่ำและอุณหภูมิจะต้องสูงเพียงพอ เพื่อป้องกันการเดือดเฉพาะบางบริเวณของสารผสมในปฏิกิริยา อันเป็นผลมาจากการเร่งที่เกิดขึ้นเองและกระบวนการนี้เป็นกระบวนการไม่ต่อเนื่องจึงมีอัตราการผลิตค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการอัดรีดแบบต่อเนื่องและการพอลิเมอไรซ์ควรผสมนอร์หรือยเปอร์เซ็นต์

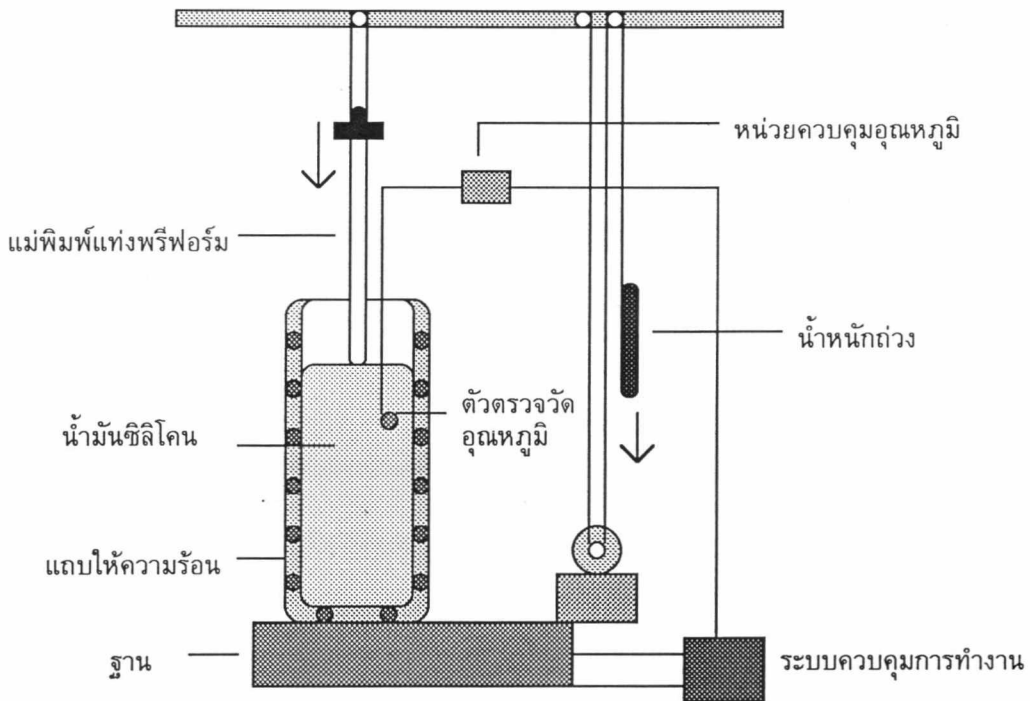
2.1.5.4 การผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงโดยวิธีการดึงจากแท่งพรีฟอร์ม

(Preform Drawing)

การผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงโดยวิธีการดึงจากแท่งพรีฟอร์มนี้คล้ายกับการผลิตเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ก. การเตรียมแท่งพรีฟอร์ม

แท่งพรีฟอร์มเตรียมโดยพอลิเมอไรซ์มอนอเมอร์ในแบบพิมพ์รูปทรงกระบอกยาวประมาณ 50 ซม. ในอ่างน้ำมันซึ่งควบคุมอุณหภูมิอย่างดีแท่งพรีฟอร์มที่เตรียมได้ใช้ในการผลิตเส้นใยนำแสงโดยตรง เพราะฉะนั้นลักษณะของแท่งพรีฟอร์มจะกำหนดสมบัติของเส้นใยนำแสง แท่งพรีฟอร์มที่ดีจะต้องมีผิวเรียบสม่ำเสมอ เนื้อในของแท่งพรีฟอร์มต้องปราศจากฝุ่นผงหรืออนุภาคสารมลทินอื่นๆ รวมทั้งฟองอากาศหรือช่องว่างใดๆซึ่งเป็นสาเหตุของการกระเจิงของแสงในเส้นใยนำแสง แบบพิมพ์สำหรับเตรียมแท่งพรีฟอร์มจึงควรมีผิวด้านในเรียบและเป็นมันเพื่อให้ได้แท่งพรีฟอร์มที่มีผิวเรียบและนำออกจากแบบพิมพ์ได้ง่าย รูป 2.12 แสดงอุปกรณ์ในการเตรียมแท่งพรีฟอร์ม



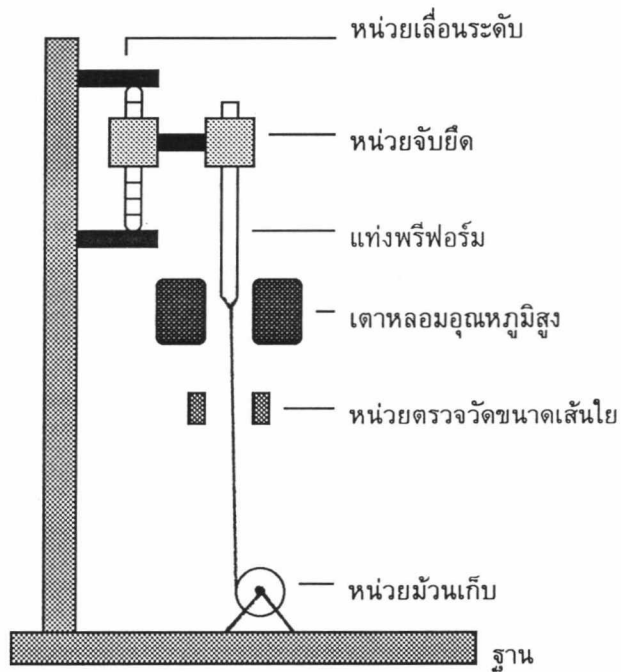
รูป 2.12

อุปกรณ์เตรียมแท่งพรีฟอร์มสำหรับผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง(4)

ข. การนำแท่งพรีฟอร์มไปดึงเป็นเส้นใย

พิจารณารูป 2.13 ซึ่งแสดงกระบวนการดึงเส้นใยจากแท่งพรีฟอร์ม แท่งพรีฟอร์มที่เตรียมได้จะค่อยๆเคลื่อนลงผ่านเตาหลอม เมื่อได้รับความร้อนแท่งพรีฟอร์มจะเกิดการหลอมและถูกดึงเป็นเส้นใย อัตราการดึงเส้นใยจะกำหนดขนาดของเส้นใยที่ได้ อุณหภูมิของเตาหลอมความร้อนสูงถูกกำหนดโดยปัจจัยสองประการ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งพรีฟอร์มและอัตราเร็วในการเคลื่อนผ่านเตาหลอมของแท่งพรีฟอร์ม โดยปกติใช้อุณหภูมิประมาณ 200 - 250 °ซ หน่วยห่อหุ้มเส้นใยอาจผนวกอยู่ในแท่งพรีฟอร์มตั้งแต่แรกหรืออาจมีการห่อหุ้มเส้นใยในสายการผลิตหลังการดึงเส้นใยก็ได้

การผลิตเส้นใยนำแสงโดยวิธีนี้มีข้อดีหลายประการด้วยกัน อย่างน้อยที่สุด ในขั้นตอนการวิจัย หรือการฝึกฝนความชำนาญสามารถใช้เครื่องมือการผลิตร่วมกับการผลิตเส้นใยแก้วได้ การผลิตเส้นใยโดยวิธีนี้มีการสิ้นเปลืองน้อย เนื่องจากพอลิเมอร์ไม่ต้องเผชิญกับอุณหภูมิสูงและงานเชิงกลเป็นเวลานานซึ่งนำไปสู่การการสลายตัวของพอลิเมอร์ได้ ข้อเสียที่สำคัญของกระบวนการนี้ คือเป็นกระบวนการ 2 ขั้นตอน ต้องมีการเคลื่อนย้ายแท่งพรีฟอร์มไปยังหน่วยดึงเส้นใย จึงมีโอกาสปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ง่ายและช่วงขณะหนึ่งแท่งพรีฟอร์มได้รับความร้อนจากเตาหลอมไม่เท่ากันทำให้มีโอกาสที่เส้นใยที่เตรียมได้ในแต่ละช่วงเวลาจะมีสมบัติไม่เหมือนกันทุกประการ



รูป 2.13

กระบวนการดึงเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงจากแท่งพรีฟอร์ม(4)

2.1.6 การห่อหุ้มเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง (Fiber Cladding)

ข้อสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการห่อหุ้มเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

เส้นใยพอลิเมอร์นำแสงหลังการห่อหุ้มควรมีผิวเรียบสม่ำเสมอ ปราศจากฟองอากาศหรือช่องว่างใดๆ โดยมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงดังต่อไปนี้

- ความหนืดของวัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้ห่อหุ้มเส้นใยต้องเหมาะสม
- วัสดุที่ใช้ห่อหุ้มเส้นใยต้องปราศจากสารมลทินหรือฝุ่นละออง
- การห่อหุ้มเส้นใยนำแสงต้องกระทำในสิ่งแวดล้อมที่สะอาด
- วัสดุที่ใช้ห่อหุ้มเส้นใยต้องไม่สุกตัวก่อนการห่อหุ้มเส้นใยเสร็จสมบูรณ์

การเลือกวัสดุสำหรับห่อหุ้มเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

วัสดุพอลิเมอร์ที่เหมาะสมสำหรับห่อหุ้มเส้นใยนำแสง ควรคำนึงถึงสมบัติดังต่อไปนี้

- ทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณแสงต่ำ
- สามารถทำให้มีความบริสุทธิ์สูงได้
- สามารถยึดติดกับแกนเส้นใยได้ดี
- เส้นใยนำแสงภายหลังการห่อหุ้มต้องมีความแข็งแรงมากขึ้น
- กระบวนการห่อหุ้มเส้นใยไม่ยุ่งยาก
- วัสดุที่ห่อหุ้มเส้นใยควรมีดัชนีหักเหต่ำกว่าพอลิเมอร์ที่เป็นแกนเส้นใย

มีพอลิเมอร์มากมายหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงได้ เช่น ซิลิโคนเรซิน อนุพันธ์ของพอลิ(เมธา อะคริเลต)ที่ถูกฟลูออริเดชั่นบางส่วน(1)

เทคนิคการหล่อเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

การหล่อเส้นใยจะต้องกระทำพร้อมๆกับการผลิตเส้นใยนำแสงเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของแกนเส้นใย ดังนั้นอุปกรณ์ในการผลิตแกนเส้นใยจึงควรมีอุปกรณ์ประกอบเพื่อหล่อเส้นใยไปพร้อมกันซึ่งสามารถแบ่งเทคนิคการหล่อได้เป็น 3 วิธี คือ

ก. การหล่อเส้นใยเมื่อแกนเส้นใยผลิตโดยเทคนิคการอัดรีดแบบต่อเนื่อง
การหล่อเส้นใยโดยวิธีนี้ต้องอาศัยอุปกรณ์ประกอบ คือ หัวดายชนิดรูปตัวที (T-Head Die) ต่ออยู่กับเครื่องอัดรีด 2 เครื่องซึ่งวางตั้งฉากกัน เครื่องอัดรีดหลักทำหน้าที่อัดรีดแกนเส้นใยและเครื่องอัดรีดเสริมทำหน้าที่อัดรีดหล่อเส้นใยไปพร้อมกัน(1)

ข. การหล่อเส้นใยเมื่อแกนเส้นใยผลิตโดยเทคนิคการอัดรีดแบบไม่ต่อเนื่อง
พิจารณารูป 2.11 อีกครั้งหนึ่ง ข้างใต้หัวฉีด (Nozzle) ซึ่งทำหน้าที่ฉีดแกนเส้นใยมีภาชนะบรรจุวัสดุพอลิเมอร์หลอมสำหรับหล่อเส้นใย เมื่อแกนเส้นใยที่ผ่านออกจากหัวฉีดเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งผ่านภาชนะดังกล่าวทำให้เกิดการหล่อเส้นใย

ค. การหล่อเส้นใยนำแสงเมื่อแกนเส้นใยผลิตโดยเทคนิคการดึงเส้นใยจากแท่งพรีฟอร์ม

การหล่อเส้นใยโดยวิธีนี้คล้ายกับวิธีที่ผ่านมา คือ แกนเส้นใยที่ได้จากการดึงแท่งพรีฟอร์มจะเคลื่อนที่ลงในแนวตั้งผ่านภาชนะบรรจุวัสดุหลอมสำหรับหล่อเส้นใย

2.1.7 การทำสายเคเบิลเส้นใยนำแสง (Cabling)

การทำสายเคเบิลเส้นใยนำแสง คือ การนำเส้นใยนำแสงหลายๆ เส้นมารวมกันแล้วเคลือบหรือห่อหุ้มด้วยวัสดุอีกชนิดหนึ่งเพื่อประโยชน์ในการใช้งานและปกป้องเส้นใยนำแสง เทคโนโลยีการทำสายเคเบิลเส้นใยนำแสงคล้ายคลึงกับการทำสายเคเบิลทองแดง

2.1.7.1 จุดประสงค์ในการทำสายเคเบิลเส้นใยนำแสง

การใช้งานบางอย่างไม่จำเป็นต้องห่อหุ้มเส้นใยนำแสงด้วยวัสดุอื่นก็สามารถใช้งานได้ดี เช่น การใช้งานในห้องทดลองหรือในการตรวจวัดปริมาณแสงสำหรับอุปกรณ์ทางแสง แต่สำหรับการใช้งานสื่อสารคมนาคมเส้นใยนำแสงจำเป็นต้องได้รับการปกป้องอีกชั้นหนึ่งด้วยเหตุผลหลายประการ ดังนี้

ก. เพื่อความสะดวกในการจับต้อง

เส้นใยนำแสงเดี่ยวๆเส้นหนึ่งมีขนาดเล็กมากแม้ผ่านการเคลือบมาชั้นหนึ่งแล้วก็ตามและเส้นใยยังไสมากจนมองเห็นได้ยากในพื้นที่บางชนิด การหุ้มกลุ่มเส้นใยด้วยวัสดุอีกชนิดหนึ่งซึ่งอาจมีสีต่างออกไปทำให้สามารถมองเห็นและหยิบจับได้ง่ายขึ้น

ข. เพื่อป้องกันความเค้นหรือความเสียหายอันเกิดแก่เส้นใย

การใช้งานและติดตั้งเส้นใยนำแสงอาจทำความเสียหายแก่เส้นใย การหุ้มเส้นใยด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรงสามารถปกป้องเส้นใยได้ เช่น ป้องกันเส้นใยจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการขุดเพื่อนำเส้นใยที่ฝังอยู่ใต้พื้นดินขึ้นมาตรวจสอบบำรุง

ค. เพื่อป้องกันเส้นใยนำแสงจากการบดขยี้

เมื่อต้องติดตั้งเส้นใยนำแสงใต้ทะเลลึก เส้นใยต้องทนต่อความดันมหาศาล การห่อหุ้มเส้นใยด้วยวัสดุที่แข็งแรงสามารถปกป้องเส้นใยจากการนี้ได้

ง. เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของเส้นใยนำแสง

การเผชิญกับความชื้นในบรรยากาศเป็นเวลานานๆทำให้เส้นใยนำแสงมีความแข็งแรงและสมบัติเชิงแสงด้อยลง โดยเฉพาะกับเส้นใยนำแสงที่ถูกใช้งานกลางแจ้ง ซึ่งต้องพบกับอุณหภูมิสูงทำให้เส้นใยเสื่อมสภาพไปตามธรรมชาติ การปกป้องเส้นใยอีกชั้นหนึ่งสามารถยืดอายุการใช้งานของเส้นใยได้

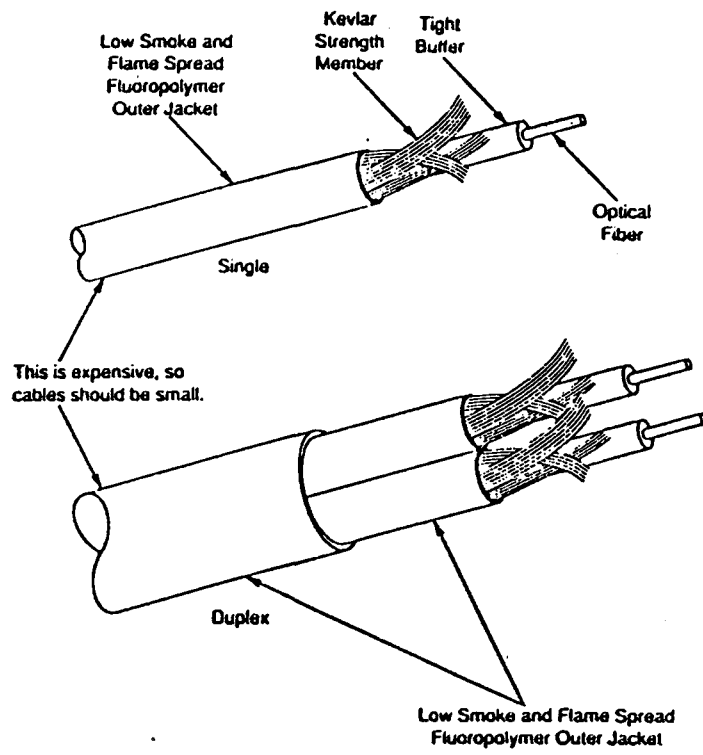
2.1.7.2 วัสดุที่ใช้ห่อหุ้มเส้นใยนำแสง

การเลือกใช้วัสดุชนิดใดในการห่อหุ้มกลุ่มเส้นใยนำแสงขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของสายเคเบิลเส้นใยนำแสงซึ่งแบ่งเป็นสองลักษณะใหญ่ๆ คือ (1) การใช้งานในที่ร่มและ (2) การใช้งานใต้ดินหรือกลางแจ้ง มีวัสดุสามัญสองชนิดที่ใช้การห่อหุ้มเส้นใยนำแสง ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride), PVC) และพอลิเอธิลีน (Polyethylene, PE)(2)

ก. พอลิไวนิลคลอไรด์ สำหรับห่อหุ้มเส้นใยที่ใช้ในอาคารบ้านเรือนหรือสำนักงาน ซึ่งสภาวะการใช้งานไม่รุนแรงนัก

ข. พอลิเอธิลีน สำหรับปกป้องเส้นใยนำแสงที่ใช้งานใต้ดินหรือใช้งานกลางแจ้ง

นอกจากวัสดุพอลิเมอร์ 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีพอลิเมอร์อื่นอีกหลายชนิดที่สามารถใช้ห่อหุ้มกลุ่มเส้นใยนำแสงได้ เช่น ไนลอน (Nylon) พอลิยูรีเทน (Polyurethane,PU) ฟลูออโรพอลิเมอร์ (Fluoropolymer) ภาพตัวอย่างสายเคเบิลเส้นใยนำแสงแสดงในรูป 2.14



รูป 2.14

สายเคเบิลเส้นใยนำแสง(2)

2.1.8 การใช้งานเส้นใยนำแสง (Application of Optical Fibres)

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการโทรคมนาคมแบบเก่า การสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงมีข้อได้เปรียบหลายประการ ดังนี้

- มีการลดทอนของสัญญาณต่ำกว่าการใช้สายทองแดง
- มีสายเคเบิลเส้นใยนำแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กและน้ำหนักเบา ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง การเก็บรักษา และการติดตั้ง
- ไม่มีการแทรกสอดของสัญญาณอื่น เส้นใยนำแสงทำด้วยไดอิเล็กตริกจึงไม่เกิดการแทรกสอดของสัญญาณวิทยุและสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนในกรณีการส่งสัญญาณตามสายโลหะ
- ความปลอดภัยสูงกว่า เนื่องจากสิ่งที่ถูกทำให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นใยคือแสงไม่ใช่กระแสไฟฟ้า หากเกิดการรั่วไหลหรือเมื่อเส้นใยได้รับความเสียหายไม่มีประกายไฟจากกระแสลัดวงจรจึงไม่เกิดอัคคีภัยหรือการระเบิด
- อายุการใช้งานยาวนานกว่า มีการคาดการณ์ว่า เส้นใยนำแสงสามารถใช้งานได้ยาวนาน 20 ถึง 30 ปี เปรียบเทียบกับสายเคเบิลแบบเดิมซึ่งใช้งานได้ประมาณ 12 ถึง 15 ปี เนื่องจากแก้วไม่เกิดการผุกร่อนเหมือนโลหะ
- ค่าใช้จ่ายในการรับ-ส่งสัญญาณต่ำกว่า เมื่อระบบเส้นใยนำแสงแพร่หลายมากขึ้น ค่าใช้จ่ายของระบบเส้นใยนำแสงจะต่ำกว่าระบบสายทองแดงมาก เนื่องจากเส้นใยนำแสงมีราคาถูกกว่าสายทองแดง อีกทั้งตัวเชื่อมต่อ (connector) สำหรับเส้นใยนำแสงทำด้วยไนลอนหรือพลาสติกแต่สำหรับสายทองแดง ตัวเชื่อมต่อต้องฉาบด้วยทอง

เส้นใยแก้วและเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงมีความสามารถในการส่งผ่านแสงได้ไม่เท่ากัน ฉะนั้นการใช้งานย่อมแตกต่างกันบ้างในบางกรณี

2.1.8.1 เส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงสามารถส่งสัญญาณแสงได้ระยะทางไกล เนื่องจากมีการสูญเสียสัญญาณแสงภายในเส้นใยต่ำ การใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงจึงมุ่งเน้นในงานโทรคมนาคม เช่น การสื่อสารสำหรับการไฟฟ้าและการรถไฟ ระบบเคเบิลใต้น้ำ การส่งสัญญาณโทรทัศน์ เป็นต้น

2.1.8.2 เส้นใยพอลิเมอร์นำแสง

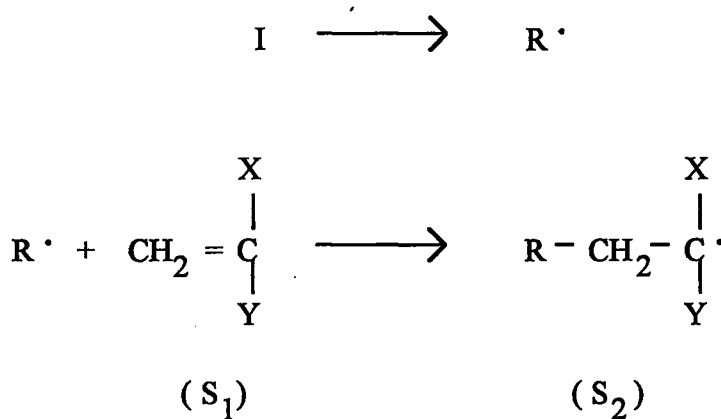
เส้นใยพอลิเมอร์นำแสงมีการสูญเสียสัญญาณแสงภายในเส้นใยค่อนข้างสูง จึงใช้งานได้เฉพาะในระยะทางใกล้ๆ เช่น

- ระบบสื่อสารภายในรถยนต์และอากาศยาน(8)
- การสื่อสารคมนาคมภายในกลุ่มย่อย เช่น ภายในสำนักงาน ระหว่างสำนักงานที่อยู่ในบริเวณเดียวกัน
- การส่องสว่างภายในรถยนต์ เส้นใยนำแสงทำหน้าที่ส่งผ่านแสงจากแหล่งกำเนิดแสงความเข้มสูงไปยังไฟหน้า ไฟท้าย ไฟในห้องโดยสารและไฟบนแผงหน้าปัด(8)
- การส่องสว่างของสัญญาณไฟจราจรโดยควบคุมจากหน่วยควบคุมที่อยู่ใกล้เคียง
- ในระบบคอมพิวเตอร์ใช้เส้นใยพอลิเมอร์นำแสงเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์กับหน่วยดำเนินงานและประเมินผล(2)
- ในทางการแพทย์ ใช้เส้นใยพอลิเมอร์นำแสงขนาดเล็กในกล้องตรวจภายใน เส้นใยจะส่งผ่านภาพอวัยวะในร่างกายของผู้ป่วยเพื่อให้แพทย์ใช้ประกอบการวินิจฉัยโรค(1)
- ใช้ในงานศิลปะ เช่น การประดิษฐ์รูปต่างๆ แล้วใช้เส้นใยนำแสงทำให้เกิดการส่องสว่าง(2)

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพอลิเมอไรเซชันเมธิล เมทาคริเลต

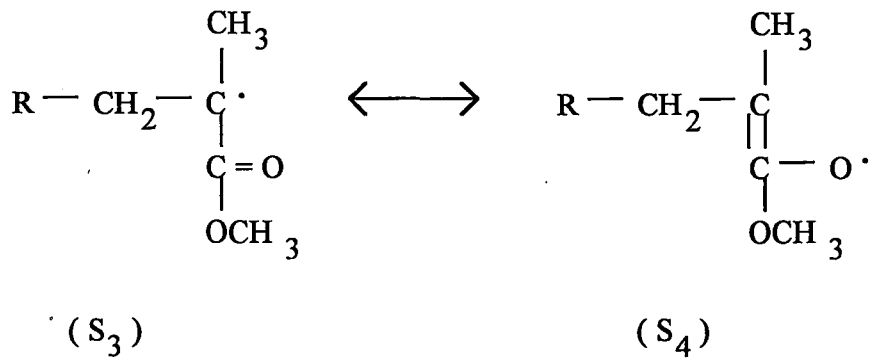
2.2.1 การพอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่อนุมูลอิสระของเมธิล เมทาคริเลต

มอนอเมอร์ไวนิลไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่ผ่านอนุมูลอิสระได้ทุกชนิด มอนอเมอร์ไวนิลสามารถเกิดปฏิกิริยาผ่านกลไกแบบนี้ได้เมื่อหมู่แทนที่บนคาร์บอนตำแหน่งเดียวกันของพันธะคู่ไม่เหมือนกัน นอกจากนี้ การที่มอนอเมอร์ชนิดหนึ่งจะสามารถเกิดเป็นพอลิเมอร์โดยกลไกอนุมูลอิสระยังขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของสารมัธยันต์ (Intermediate) ซึ่งถูกกำหนดโดยหมู่แทนที่หลังขั้นตอนการริเริ่มปฏิกิริยา (Initiation) ดังนี้



เมื่อ X และ Y เป็นหมู่แทนที่ เช่น CH_3 , COOCH_3

หากหมู่แทนที่สามารถเพิ่มความเสถียรให้กับอนุมูลอิสระโดยผลของเรโซแนนซ์ (Resonance Effect) ได้ ปฏิกิริยาอนุมูลอิสระจะสามารถเกิดได้ดี ในกรณีของมอนอเมอร์เมธิล เมทาคริเลต ซึ่งมีหมู่แทนที่ คือ หมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซิลิกบนคาร์บอนตัวเดียวกัน หมู่คาร์บอกซิลิกช่วยเพิ่มความเสถียรให้แก่สารมัธยันต์ (Intermediate) ด้วยผลของเรโซแนนซ์ มอนอเมอร์เมธิล เมทาคริเลตจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ผ่านกลไกอนุมูลอิสระได้

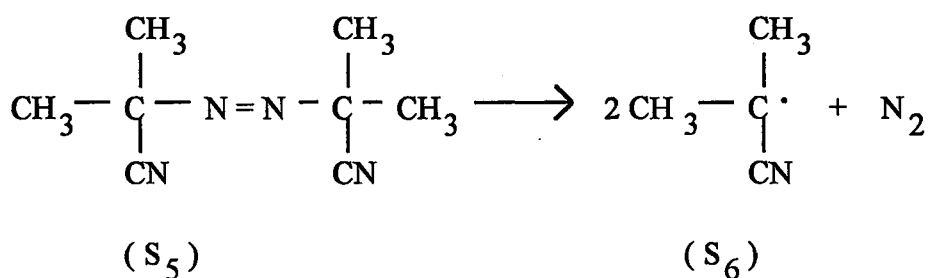


2.2.2 กลไกของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันลูกโซ่แบบอนุมูลอิสระของเมทิลเมทาคริเลต

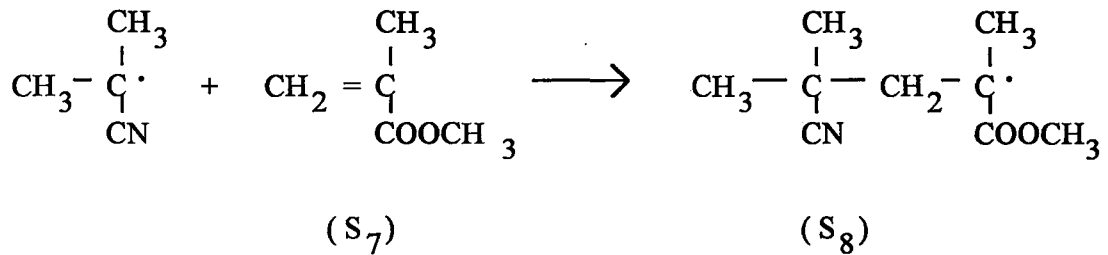
กลไกปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันลูกโซ่แบบอนุมูลอิสระของเมทิล เมทาคริเลตประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.2.2.1 ขั้นริเริ่มปฏิกิริยา (Initiation) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

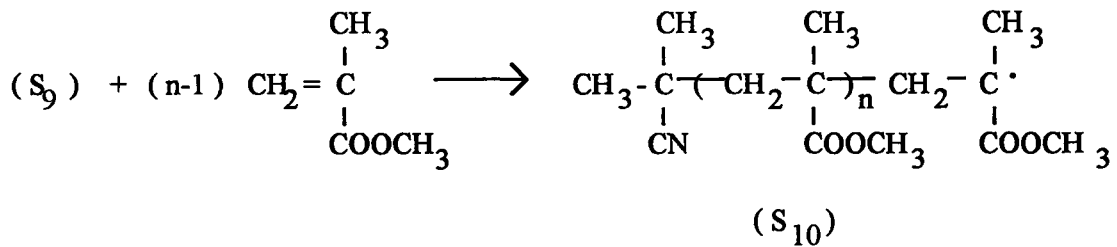
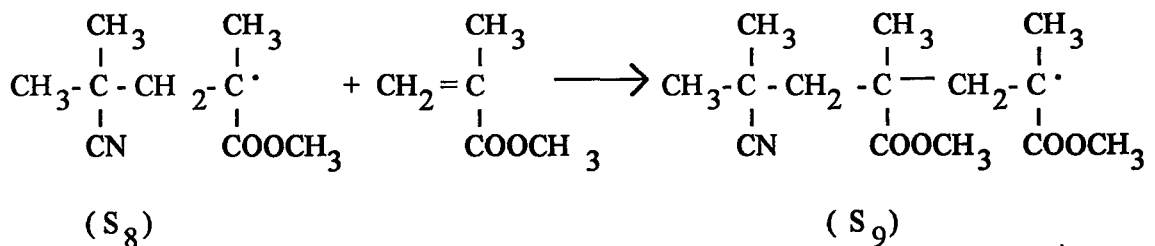
ก. การกำเนิดอนุมูลอิสระ คือ การทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในปฏิกิริยา โดยทั่วไปนิยมใช้สารจำพวกเปอร์ออกไซด์ (Peroxides) หรือสารประกอบเอโซ (Azo compounds) เช่น 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนไตรล์การกำเนิดอนุมูลอิสระของ 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนไตรล์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเป็นดังนี้



ข. อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยากับเมทิล เมทาคริเลต ดังสมการ



2.2.2.2 ขั้นแผ่ขยาย (Propagation) อนุมูลอิสระ (S₈) ที่เกิดขึ้นใหม่เข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์อีกตัวหนึ่งทันทีที่เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (S₉) และอนุมูลอิสระ (S₉) ทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ตัวต่อไปทีละตัวอย่างรวดเร็วจนได้สายโซ่อนุมูลอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

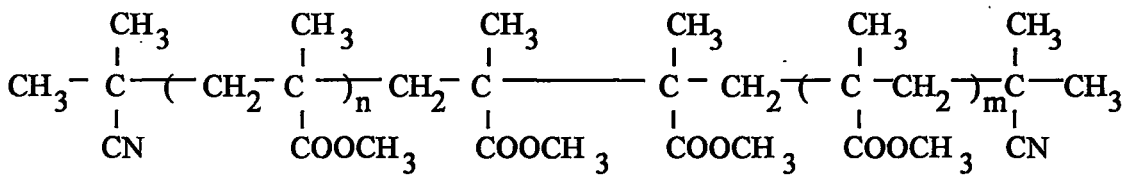
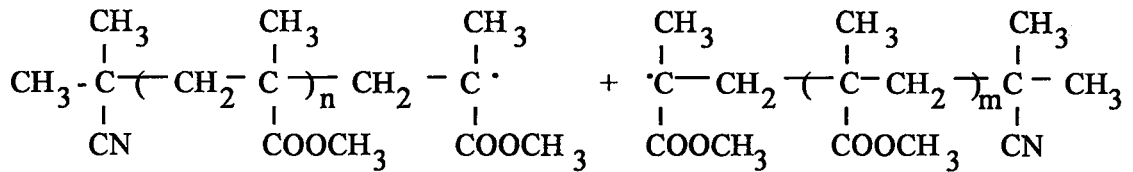


โดย n แทนจำนวนหน่วยของมอนอเมอร์ในสายโซ่ (S₁₀)

2.2.2.3 **ขั้นสิ้นสุด (Termination)** เป็นขั้นตอนที่อนุมูลอิสระถึงจุดยุติ โดยอาจเกิดขึ้นได้

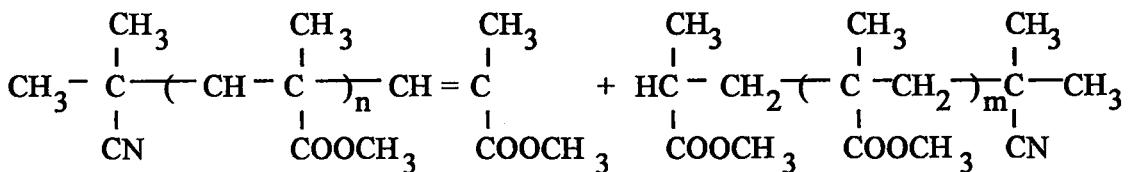
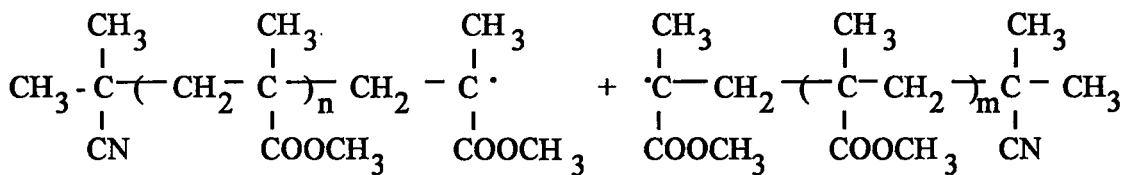
2 วิธี คือ

ก. การรวมตัว (Combination) โซ่อนุมูลอิสระ 2 โซ่มารวมกันดังนี้



ข. การแตกตัวของอนุมูลอิสระ (Disproportionation) การสิ้นสุดแบบนี้เกิดจากโซ่อนุมูลอิสระหนึ่งให้ไฮโดรเจนกับโซ่อนุมูลอิสระอีกโซ่หนึ่ง

ดังนี้

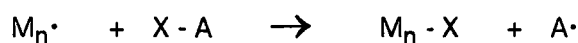


ปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุดทำให้อนุมูลอิสระหายไปจากสายโซ่อนุมูลอิสระที่กำลังเจริญเติบโต ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจึงสิ้นสุดลง

โดยทั่วไปปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะมีการสิ้นสุดทั้งสองแบบควบคู่กันไป แต่สำหรับการพอลิเมอไรเซชันของเมทิล เมทาคริเลตจะพบการสิ้นสุดแบบ Disproportionation มากกว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 °C(9)

2.2.3 การย้ายโซ่ (Chain Transfer)

ในการพอลิเมอไรเซชันทั่วไป น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้จะต่ำกว่าที่คาดการณ์ไว้ ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาการสิ้นสุดของพอลิเมอร์อนุมูลอิสระที่กำลังเจริญเติบโต โดยการย้ายอะตอมของไฮโดรเจนหรืออะตอมอื่นจากสารบางชนิดที่อยู่ในระบบ เช่น มอนอเมอร์ สารริเริ่มปฏิกิริยาหรือตัวทำละลายที่ใช้ โดยอะตอมดังกล่าวนั้นต้อง่วงไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ (Labile Atom) ปฏิกิริยาการแทนที่อนุมูลอิสระนี้เรียกว่า "ปฏิกิริยาการย้ายโซ่ (Chain Transfer Reaction)" ซึ่งแสดงได้ดังนี้

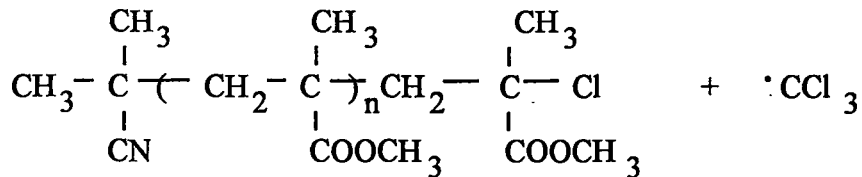
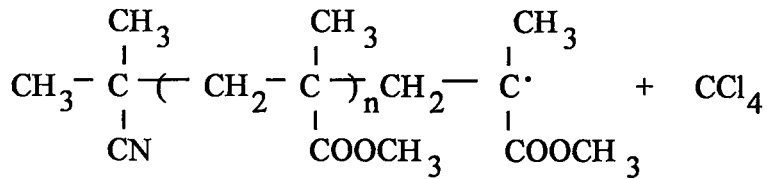


โดย X - A อาจเป็นมอนอเมอร์ สารริเริ่มปฏิกิริยา ตัวทำละลายหรือสารอื่นและ X คืออะตอมที่ถูกเคลื่อนย้าย

ก. การย้ายโซ่ให้แก่สารย้ายโซ่

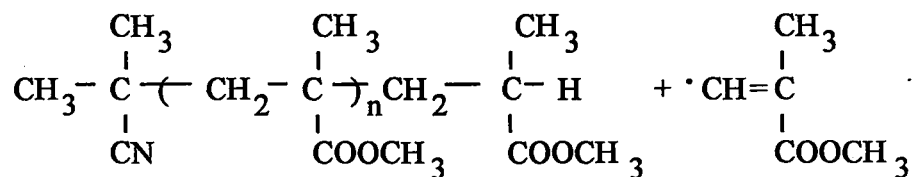
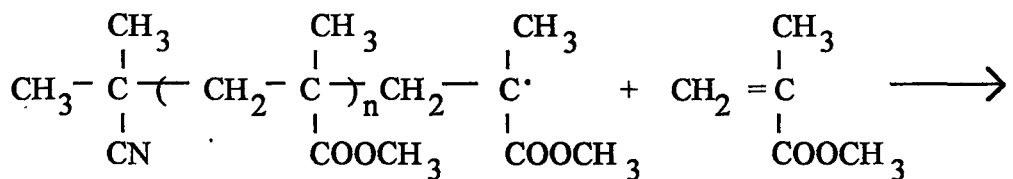
สารย้ายโซ่ คือ สารเคมีที่เพิ่มเข้าไปในระบบการพอลิเมอไรเซชันเพื่อจุดประสงค์ในการควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ต้องการ สารย้ายโซ่ที่นิยมใช้สำหรับปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเมทิล เมทาคริเลต ได้แก่สารประกอบเมอร์แคปแทน (n-Butyl Mercaptan , t-Butyl Mercaptan) และคาร์บอน เตตระคลอไรด์

ปฏิกิริยาการย้ายโซ่ของอนุมูลอิสระเมธิล เมธาคริเลตที่กำลังเจริญเติบโตให้แก่สาร
ย้ายโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์ เป็นดังนี้



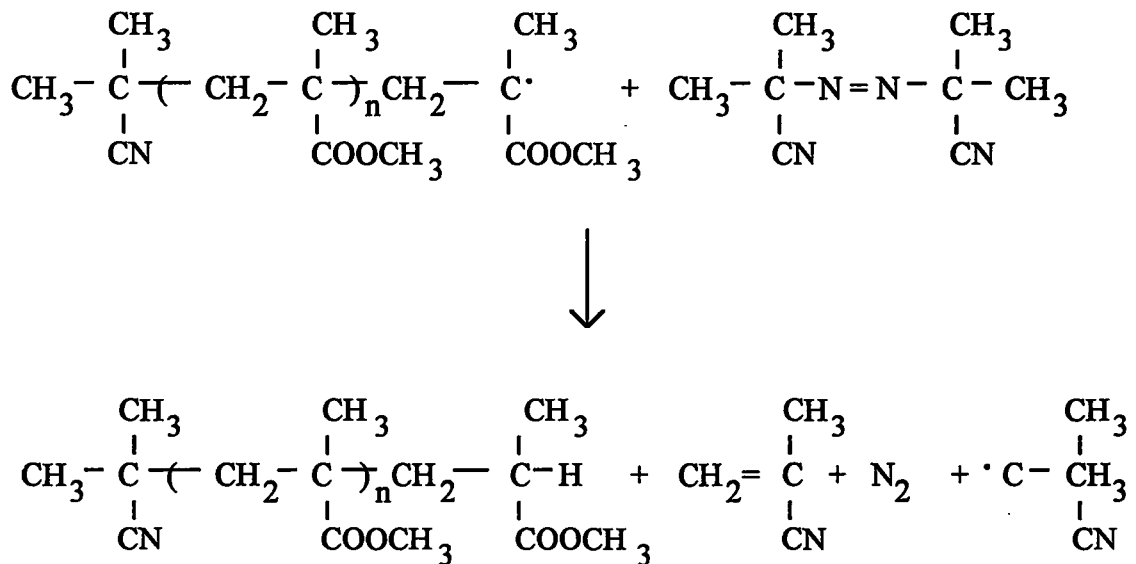
ข. การย้ายโซ่ให้แก่มอนอเมอร์

การย้ายโซ่ให้แก่มอนอเมอร์เป็นธรรมชาติของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ปริมาณการ
ย้ายโซ่ให้แก่มอนอเมอร์ขึ้นอยู่กับค่าคงที่การย้ายโซ่ (C_M) มอนอเมอร์ส่วนใหญ่มี
ค่าคงที่การย้ายโซ่ต่ำ คือ อยู่ในช่วง 10^{-5} ถึง 10^{-4} (9) ปฏิกิริยาการย้ายโซ่ของอนุมูล
อิสระพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)ที่กำลังเจริญเติบโตให้แก่มอนอเมอร์เมธิล เมธา-
คริเลตแสดงได้ดังนี้



ค. การย้ายโซ่ให้แก่สารริเริ่มปฏิกิริยา

สารริเริ่มปฏิกิริยาต่างชนิดกันมีค่าคงที่ในการย้ายโซ่แตกต่างกัน โดยทั่วไปสารประกอบเอไซม์มีค่าคงที่ในการย้ายโซ่ต่ำ(๑) จึงเกิดการย้ายโซ่ของอนุมูลอิสระที่กำลังเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อย ปฏิกิริยาการย้ายโซ่ของอนุมูลอิสระพอลิ(เมทิล เมธาคริเลต)ที่กำลังเจริญเติบโตให้แก่สารริเริ่มปฏิกิริยา 2,2'-เอไซบิสไอโซบิวไทโรไนไตรล์ เป็นดังนี้



ง. การย้ายโซ่ให้แก่พอลิเมอร์

การย้ายโซ่ให้แก่พอลิเมอร์ทำให้เกิดตำแหน่งอนุมูลอิสระบนสายโซ่พอลิเมอร์ที่กำลังแผ่ขยายและเมื่อมอนอเมอร์เข้าพอลิเมอร์ที่ตำแหน่งดังกล่าวทำให้เกิดพอลิเมอร์มีโซ่กิ่งสาขา การย้ายโซ่ให้แก่พอลิเมอร์มีส่วนกำหนดสมบัติและการใช้งานของพอลิเมอร์ กล่าวคือการย้ายโซ่ให้แก่พอลิเมอร์ทำให้เกิดโซ่สาขาซึ่งช่วยลดความเป็นผลึกของพอลิเมอร์

2.2.4 การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่อนุกรมอิสระ

การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้อาศัยสมการของเมโย (Mayo's Equation) (9) ซึ่งแสดงในสมการ (6)

$$\frac{1}{X_n} = \frac{k_t V_p}{k_p^2 [M]^2} + C_s \frac{[S]}{[M]} + C_I \frac{[I]}{[M]} + C_M \quad (6)$$

$$\text{โดยที่ } V_p = k_p [M] \left\{ f \cdot k_d [I] / k_t \right\}^{1/2} \quad (7)$$

เมื่อนำค่า V_p จากสมการ (7) แทนลงในสมการ (6) จะได้สมการ (8)

$$\frac{1}{X_n} = \frac{\{ k_t k_d f [I] \}^{1/2}}{k_p [M]} + C_s \frac{[S]}{[M]} + C_I \frac{[I]}{[M]} + C_M \quad (8)$$

โดย X_n	คือ	องศาของการพอลิเมอร์ไรเซชัน
k_t	คือ	ค่าคงที่อัตราการสิ้นสุดปฏิกิริยา
k_p	คือ	ค่าคงที่อัตราการแผ่ขยายปฏิกิริยา
k_d	คือ	ค่าคงที่การสลายตัวของสารริเริ่มปฏิกิริยา
f	คือ	ประสิทธิภาพของสารริเริ่มปฏิกิริยา
C_M	คือ	ค่าคงที่การย้ายโซ่ให้แก่มอนอเมอร์
C_I	คือ	ค่าคงที่การย้ายโซ่ให้แก่สารริเริ่มปฏิกิริยา
C_S	คือ	ค่าคงที่การย้ายโซ่ให้แก่สารย้ายโซ่
$[M]$	คือ	ความเข้มข้นของมอนอเมอร์
$[I]$	คือ	ความเข้มข้นของสารริเริ่มปฏิกิริยา
$[S]$	คือ	ความเข้มข้นของสารย้ายโซ่

น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์สามารถคำนวณได้จากสมการ (9)

$$M_n = X_n \times \text{น้ำหนักโมเลกุลของหน่วยที่ซ้ำๆ กัน} \quad (9)$$

โดย M_n คือ น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวนของพอลิเมอร์ (Number average molecular wieght)

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

สารเคมีที่ใช้

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1. มอนอเมอร์เมธิล เมธาคริเลต | เกรดการค้า |
| 2. 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนไตรล์ | เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka จำกัด |
| 3. คาร์บอน เตตระคลอไรด์ | เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka จำกัด |
| 4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ | เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka จำกัด |
| 5. โซเดียมคลอไรด์ | เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka จำกัด |
| 6. โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส | เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka จำกัด |
| 7. อะซิโตน | เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka จำกัด |
| 8. คลอโรฟอร์ม | เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka จำกัด |
| 9. เมธานอล | เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka จำกัด |
| 10. พอลิ(ไวนิล แอลกอฮอล์) | เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka จำกัด |
| 11. โซเดียมไฮโดรเจนซัลเฟต เดคะไฮเดรท | เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka จำกัด |
| 12. เอลิธอะซิเตต | เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka จำกัด |
| 13. เตตระไฮโดรฟิวแรน | เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka จำกัด |
| 14. น้ำมันซิลิโคน | เกรดการค้า |
| 15. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ | |

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
รุ่น 2000 FT-IR บริษัท PERKIN ELMER จำกัด
2. เครื่องรามานสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
รุ่น 2000 FT-RAMAN บริษัท PERKIN ELMER จำกัด
3. เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์
4. เครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรสโคปีโฟโตมิเตอร์ รุ่น 7800 บริษัท JASCO จำกัด
5. เครื่องเทอร์มอลกราฟิเมตริกแอนนาไลเซอร์ รุ่น TG 51 บริษัท DUPONT จำกัด
6. เครื่องไดนามิกเมคานิคอลเทอร์มอลเทอร์มอลแอนนาไลเซอร์
รุ่น DMA 7 บริษัท PERKIN ELMER จำกัด
7. เครื่องเจลเพอร์มิเอชันโครมาโตกราฟี รุ่น 150-C บริษัท WATERS จำกัด
8. เครื่องปั่นกวนเชิงกลชนิดปรับรอบ รุ่น RW 20 บริษัท KIKA จำกัด
9. เครื่องให้ความเย็น (Cooling aid) รุ่น CA-111 บริษัท EYELA TOKYO
RIKAKIKAI จำกัด
10. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
11. เตาให้ความร้อนแบบหลุม
12. ตู้บรอนแบบอากาศร้อน บริษัท Memert จำกัด
13. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า รุ่น SBS 25 บริษัท Stuart Scientific จำกัด
14. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
15. ชุดอุปกรณ์ควบแน่น (Condensor)
16. อ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิ
17. ชุดเครื่องมือกลั่น
18. ขวดกักกลมแบบ 3 คอ ขนาด 500 มิลลิลิตร
19. ขวดกักกลมขนาด 500 มิลลิลิตร
20. หม้อปฏิกริยาขนาด 2 ลิตร
21. กรวยแยก ขนาด 500 มิลลิลิตร
22. กรวยหยดสารแบบควบคุมความดัน

23. เทอร์โมมิเตอร์ช่วงอุณหภูมิ 0-100 องศาเซลเซียส และ 0-200 องศาเซลเซียส
25. เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electric balance) บริษัท Sartorius จำกัด
26. แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์
27. โฟโตดีเทคเตอร์

วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมมอนอเมอร์เมธิล เมธาคริเลตบริสุทธิ์

3.1.1 การสกัดตัวหน่วงปฏิกิริยาออกจากมอนอเมอร์เมธิล เมธาคริเลต

นำมอนอเมอร์เมธิล เมธาคริเลตใส่ในกรวยแยก เติมสารละลายน้ำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตรเท่ากับมอนอเมอร์ เขย่าแรงๆประมาณ 2 - 3 นาที ทิ้งให้สารแยกชั้น (สารละลายน้ำโซเดียมไฮดรอกไซด์อยู่ชั้นล่าง) ทิ้งสารละลายชั้นล่าง ทำเช่นเดิมอีก 2 - 3 ครั้ง แล้วสกัดด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งมอนอเมอร์ไม่เปลี่ยนสีกระดาษลิตมัส นำไปทำให้ปราศจากน้ำด้วยโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส แล้วนำไปกลั่นแยกให้บริสุทธิ์

3.1.2 การกลั่นแยกมอนอเมอร์เมธิล เมธาคริเลตบริสุทธิ์

นำมอนอเมอร์เมธิล เมธาคริเลตใส่ลงในขวดก้นกลมแบบ 3 คอที่ต่ออยู่กับชุดเครื่องมือกลั่นแยก จากนั้นให้ความร้อนแก่มอนอเมอร์จนมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 60 - 90 °ซ พร้อมกับผ่านก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ลงไป มอนอเมอร์ที่ผ่านการกลั่นจะถูกรวบรวมอยู่ในขวดก้นกลมที่ต่ออยู่ตอนท้ายของชุดอุปกรณ์การกลั่น เก็บมอนอเมอร์ที่ได้ไว้ในขวดสีชาที่มีโซเดียมซัลเฟต แอนไฮดรัสบรรจุอยู่ แล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 5 °ซ

3.2 การเตรียมสารริเริ่มปฏิกิริยา 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนโตรลบริสุทธิ์

นำสารริเริ่มปฏิกิริยา 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนโตรลปริมาณหนึ่งใส่ลงในขวดรูปกรวยแล้วเติมตัวทำละลายอะซิโตนลงไป ปริมาณพอสมควร ใช้แท่งแก้วคนจนสารริเริ่มปฏิกิริยาละลายหมด เติมสารริเริ่มปฏิกิริยาลงไปอีกจนกระทั่งเกิดเป็นสารละลายอิมิตัว จากนั้นนำไปวางบนแผ่นให้ความร้อนซึ่งปรับให้มีอุณหภูมิประมาณ 50 °ซ ใช้แท่งแก้วคนจนสารริเริ่มปฏิกิริยาละลายหมด เติมสารริเริ่มปฏิกิริยาลงไปอีกจนกระทั่งเกิดเป็นสารละลายอิมิตัว กรองสารละลายอิมิตัวในขณะที่ร้อนลงในขวดรูปกรวยที่มีตัวทำละลายอะซิโตนอยู่ปริมาณเล็กน้อยและวางอยู่บนแผ่น

ให้ความร้อน จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆ ผลึกสารริเริ่มปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นนำผลึกที่ได้มากรองแบบสูญญากาศ ทิ้งไว้ให้แห้ง ณ อุณหภูมิห้อง ผลึกสารที่ได้จะมีสีขาวสะอาดและมีความบริสุทธิ์สูงเก็บไว้ในขวดสีชา ปิดผนึกให้มิดชิดแล้วใส่ไว้ในถุงพอลิเอทิลีนที่มีสารดูดความชื้นบรรจุอยู่ เก็บสารริเริ่มปฏิกิริยาบริสุทธิ์นี้ในตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 5 °ซ

3.3 การพอลิเมอไรเซชันเมธิล เมธาคริเลตแบบอนุมูลอิสระ

3.3.1 การพอลิเมอไรเซชันเมธิล เมธาคริเลตแบบสารละลาย (Solution)

ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้
 ชั่งสารเคมีที่ต้องใช้ปริมาณต่างๆ ดังนี้

สารเคมีที่ต้องใช้	ปริมาณที่ต้องใช้ (กรัม)
มอนอเมอร์เมธิล เมธาคริเลตบริสุทธิ์	500.60
สารริเริ่มปฏิกิริยา 2,2'- เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนโตรลบริสุทธิ์	0.0821
สารย้ายโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์	2.3076
ตัวทำละลายเอทิลอะซิเตต	500.60

จัดชุดเครื่องมือปฏิกิริยา โดยนำหม้อปฏิกิริยาขนาด 2 ลิตรวางลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นต่อเครื่องปั่นกวนเชิงกล ท่อน้ำก๊าซไนโตรเจนและเครื่องควบแน่นไว้ที่ส่วนบนของหม้อปฏิกิริยา ให้ความร้อนแก่อ่างน้ำร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 80 °ซ ใส่ตัวทำละลายเอทิลอะซิเตตลงในหม้อปฏิกิริยาและผ่านก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ลงไปตลอดเวลา ละลายสารริเริ่มปฏิกิริยา 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนโตรลและสารย้ายโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์ในเมธิล เมธาคริเลตบริสุทธิ์จนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วค่อยๆหยดลงในหม้อปฏิกิริยาโดยใช้กรวยแยกแบบควบคุมความดันให้หมดภายในเวลา 1.75 - 2 ชั่วโมง ทำการปั่นกวนสารผสมในหม้อปฏิกิริยาเป็นเวลา

5 ชั่วโมงโดยปรับความเร็วรอบของเครื่องปั่นกวนเชิงกลให้มีค่าประมาณ 500 รอบต่อนาทีแล้วสังเกตการดำเนินไปของปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์เป็นระยะเพื่อปรับความเร็วรอบของเครื่องปั่นกวนเชิงกลให้สูงขึ้นเมื่อสารผสมในหม้อปฏิกิริยามีความหนืดเพิ่มขึ้น บันกวนจนกระทั่งปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์ ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เย็นตัวลงอย่างช้าๆจนถึงอุณหภูมิห้อง กรองสารที่ได้ผ่านเครื่องกรองแบบสูญญากาศแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง ทำผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้บริสุทธิ์โดยละลายผลิตภัณฑ์ในตัวทำละลายคลอโรฟอร์มโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 50 °C จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆจนถึงอุณหภูมิห้อง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืด นำมาตกตะกอนด้วยเมธานอลอีกครั้งหนึ่ง นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง เก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้ในถุงซิปปอลิเอธิลีนแล้วนำไปเก็บไว้ในเครื่องดูดความชื้นเพื่อรอการทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป ในขั้นตอนนี้ไม่ควรใช้มือสัมผัสเพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์ถูกปนเปื้อนจากสารมลทิน

3.3.2 การพอลิเมอไรส์เมธิล เมธาคริเลตแบบแขวนลอย (Suspension)

ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

ซึ่งสารเคมีที่ต้องใช้ปริมาณดังต่อไปนี้

สารเคมีที่ใช้	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
เมธิล เมธาคริเลตบริสุทธิ์	200
2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนโตรลบริสุทธิ์	2.25
พอลิ(ไวนิล แอลกอฮอล์)	8
ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต เดคะไฮเดรต	20
น้ำกลั่นบริสุทธิ์	400

จัดตั้งชุดเครื่องมือปฏิกิริยาในลักษณะเดียวกับการพอลิเมอไรส์แบบสาละลาย ละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต เดคะไฮเดรตในน้ำกลั่นบริสุทธิ์บนแผ่นความร้อน

อุณหภูมิประมาณ 80 °ซ เทของผสมที่ได้ลงในหม้อปฏิริยาและให้ความร้อนแก่อ่างน้ำร้อนจนมีอุณหภูมิ 35 °ซ จนกระทั่งได้สารละลายใส ผ่านก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ลงในหม้อปฏิริยานาน 15 นาที ละลาย 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนโตรลีนเมธิล เมธาคริเลตจนกระทั่งเป็นสารเนื้อเดียวกันแล้วค่อยๆหยดลงในหม้อปฏิริยาโดยใช้กรวยแยกแบบควบคุมความดัน พร้อมกันนั้นต่อเครื่องควบแน่นที่ส่วนบนของหม้อปฏิริยาและทำการปั่นกวนอย่างแรงโดยปรับความเร็วรอบของเครื่องปั่นกวนเชิงกลให้มีค่าประมาณ 1,000 รอบต่อนาที ลดอัตราการผลิตผ่านก๊าซไนโตรเจนลงในหม้อปฏิริยาและให้ความร้อนแก่ของผสมเพิ่มขึ้นแต่ไม่ควรเกิน 95 °ซ หลังจากให้ความร้อนแก่ของผสมเป็นเวลานาน 5 นาทีแล้วแทนที่ท่อส่งก๊าซไนโตรเจนด้วยเทอร์โมมิเตอร์อย่างรวดเร็ว รักษาอุณหภูมิเอาไว้ให้ต่ำกว่า 95 °ซ การพอลิเมอไรซ์จะเสร็จสมบูรณ์ภายในเวลาประมาณ 20 นาที ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เย็นตัวลงอย่างช้าๆจนถึงอุณหภูมิห้อง เทผลิตภัณฑ์ที่ได้ลงในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ปริมาตร 500 มิลลิลิตรแล้วตั้งทิ้งไว้ ผลิตภัณฑ์จะตกตะกอนออกมา มีลักษณะเป็นเม็ดไข่มุกขนาดเล็กจำนวนมาก กรองผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ ล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 40 °ซ นาน 24 - 48 ชั่วโมง เก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้ในเครื่องดูดความชื้นเพื่อรอการทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป

3.3.3 การพอลิเมอไรซ์เมธิล เมธาคริเลตแบบบัลค์ (Bulk)

ในหม้อปฏิริยาประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้
ซึ่งสารเคมีที่ต้องใช้ปริมาณดังนี้

สารเคมีที่ต้องใช้	ปริมาณที่ต้องใช้ (กรัม)
มอนอเมอร์เมธิล เมธาคริเลตบริสุทธิ์	400.48
สารริเริ่มปฏิริยา 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนโตรลีนบริสุทธิ์	0.0657
สารย้ายโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์	1.8461

จัดตั้งชุดเครื่องมือปฏิบัติการในลักษณะเดียวกันกับการพอลิเมอไรซ์แบบสารละลาย ละลายสารริเริ่มปฏิบัติการ 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนไตรล์และสารย้ายโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์ในเมทิลเมทาคริเลตจนเป็นเนื้อเดียวกัน ให้ความร้อนแก่อ่างน้ำมันจนมีอุณหภูมิ 80 °ซ เทของผสมลงในหม้อปฏิบัติการ ปรับความเร็วรอบของเครื่องปั่นกวนเชิงกลให้มีค่า 500 รอบ ต่อนาที พร้อมกับผ่านก๊าซไนโตรเจนลงในหม้อปฏิบัติการและเปิดเครื่องทำความเย็นที่ต่ออยู่กับ เครื่องควบแน่น ทำการปั่นกวนของผสมที่อุณหภูมิ 80 °ซ เป็นเวลา 14 ชั่วโมง แล้วปรับ ความร้อนที่ให้แก่ของผสมจนมีอุณหภูมิ 100 °ซ คงอุณหภูมินี้ไว้นาน 1.5 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่ม อุณหภูมิจนถึง 130 °ซ ปล่อยให้ปฏิบัติการดำเนินไปเป็นเวลา 4 ชั่วโมง สังเกตการดำเนินไปของ ปฏิกริยาเป็นระยะเพื่อปรับความเร็วรอบของเครื่องปั่นกวนเชิงกลให้มีค่าสูงขึ้นเมื่อความหนืดของ ระบบเพิ่มขึ้น เมื่อปฏิบัติการเสร็จสมบูรณ์หยุดให้ความร้อนและปล่อยให้เย็นลงอย่างช้าๆจนถึง 80 °ซ นำผลิตภัณฑ์ออกจากหม้อปฏิบัติการ นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง เก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้ในถุงซิปปอลิเอธิลีน ไม่ควรใช้มือสัมผัสเพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์ถูกปนเปื้อน จากสารมลทิน แล้วนำไปเก็บไว้ในเครื่องดูดความชื้น

3.3.4 การพอลิเมอไรซ์เมทิล เมทาคริเลตแบบบัคส์ในหลอดไวแอล

ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังนี้

ซึ่งสารเคมีที่ต้องใช้ ปริมาณดังต่อไปนี้

สารเคมีที่ใช้	ปริมาณที่ต้องใช้ (กรัม)
มอนอเมอร์เมทิล เมทาคริเลตบริสุทธิ์	500.60
สารริเริ่มปฏิบัติการ 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนไตรล์บริสุทธิ์	0.0821
สารย้ายโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์	2.3076

ละลายสารริเริ่มปฏิบัติการ 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนไตรล์และสารย้ายโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์ ในมอนอเมอร์เมทิล เมทาคริเลตจนเป็นเนื้อเดียวกัน กรองสารละลายที่ได้ผ่านกระดาษกรอง

เบอร์ 42 ลงในหลอดไวแอล (vial) ผ่านก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ลงในหลอดไวแอลจนไม่มีก๊าซออกซิเจนเหลืออยู่แล้วปิดฝาหลอดให้สนิททันที นำหลอดไวแอลแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเปียกที่มีอุณหภูมิ 80 °ซ และอัตราการเขย่าเท่ากับ 150 - 200 รอบต่อนาที นาน 14 ชั่วโมงและต้องรักษาระดับน้ำในอ่างเขย่าให้สูงกว่าระดับของผสมในหลอดตลอดเวลา จากนั้นนำหลอดไปแช่ในอ่างน้ำมันที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 1.5 ชั่วโมง หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิของอ่างน้ำมันเป็น 130 °ซ รักษาอุณหภูมินี้ไว้นาน 4 ชั่วโมง เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์ลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆจนถึงอุณหภูมิต่ำ นำผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ออกจากหลอดไวแอลแล้วบรรจุใส่ถุงซิปปอลิเอธิลีน ไม่ควรใช้มือสัมผัสพอลิเมอร์ที่ได้เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์ถูกปนเปื้อนจากสารมลทินแล้วจึงนำไปเก็บในเครื่องดูดความชื้นเพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆต่อไป

3.4 การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต) โดยใช้สารย้ายโซ่และเปลี่ยนแปลงปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยา

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการพอลิเมอร์ไรซ์เมธิล เมธาคริเลตแบบบัคส์ในหลอดไวแอล แต่ต่างกันที่ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ โดยในการศึกษานี้ใช้สารย้ายโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์ปริมาณคงที่ แต่เปลี่ยนแปลงปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยา 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนโตรล์ โดยคำนวณได้จากสมการของเมโย เช่น เมื่อต้องการเตรียมพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)น้ำหนักโมเลกุล 700,000 ต้องใช้ 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนโตรล์เท่ากับ 0.1019 กรัม โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยา 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรไนโตรล์

สมการของเมโย

$$\frac{1}{X_n} = \frac{\{k_t k_d f [I]\}^{1/2}}{k_p [M]} + C_s \frac{[S]}{[M]} + C_I \frac{[I]}{[M]} + C_M$$

ค่าคงที่ต่างๆ สำหรับการพอลิเมอไรเซชันเมธิล เมธาคริเลตที่อุณหภูมิ 80 °ซ มีดังนี้(10)

$$k_t \text{ เท่ากับ } 30.5 \times 10^6 \quad [1/\text{mol.s}]$$

$$k_p \text{ เท่ากับ } 800 \quad [1/\text{mol.s}]$$

$$k_d \text{ เท่ากับ } 3.1 \times 10^{-5} \quad [\text{s}^{-1}]$$

$$f \text{ เท่ากับ } 0.7$$

$$C_s \text{ เท่ากับ } 2.4 \times 10^{-4}$$

$$C_M \text{ เท่ากับ } 0.25 \times 10^{-4}$$

โดยมีสมมติฐานว่าการย้ายโซ่ให้แก่มอนอเมอร์และสารริเริ่มปฏิกิริยาเกิดขึ้นน้อยมาก จึงอาจตัดพจน์ที่ 3 ทางขวามือของสมการของเมโยทิ้งได้

การหาค่าตัวแปรในสมการของเมโย

ในการคำนวณต้องอาศัยค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

น้ำหนักโมเลกุลของมอนอเมอร์เมธิล เมธาคริเลต	เท่ากับ 100.12
ความหนาแน่นของ มอนอเมอร์เมธิล เมธาคริเลต	เท่ากับ 0.936 g/cm ³
น้ำหนักโมเลกุลของสารย้ายโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์	เท่ากับ 153.84
ความหนาแน่น ของสารย้ายโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์	เท่ากับ 1.589 g/cm ³
น้ำหนักโมเลกุลของสารริเริ่มปฏิกิริยา (AIBN)	เท่ากับ 164.21

การหาองศาการพอลิเมอไรเซชัน (X_n)

$$\begin{aligned} X_n &= \frac{\text{น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์}}{\text{น้ำหนักของหน่วยซ้ำๆกัน}} \\ &= \frac{700,000}{100.12} \\ &= 6991.61 \end{aligned}$$

การหาความเข้มข้นของมอนอเมอร์ (C_M)

ในระบบนี้คงปริมาณมอนอเมอร์เมธิล เมทาคริเลตเท่ากับ 5 โมลและปริมาณสารย่ำยโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์เท่ากับ 0.3 โมลเปอร์เซ็นต์ของมอนอเมอร์

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของมอนอเมอร์เมธิล เมทาคริเลต} &= \frac{\text{จำนวนโมล} \times \text{น้ำหนักโมเลกุล}}{\text{ความหนาแน่น}} \\ &= \frac{5.0 \times 100.12}{0.936} \end{aligned}$$

$$= 534.83 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของคาร์บอน เตตระคลอไรด์} &= \frac{0.015 \times 153.84}{1.589} \end{aligned}$$

$$= 1.45 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรรวมของระบบ} &= 534.83 + 1.45 \\ &= 536.28 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของมอนอเมอร์เมธิล เมทาคริเลต} &= \frac{5.0 \times 1000}{536.28} \\ &= 9.3234 \text{ โมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของสารย่ำยโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์} &= \frac{0.015 \times 1000}{536.28} \\ &= 0.0280 \text{ โมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

นำค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้นี้และค่าคงที่ข้างต้นแทนลงในสมการของเมโย

$$\frac{1}{6991.61} = \frac{\{ 30.5 \times 10^6 \times 3.1 \times 10^{-5} \times 0.7 \times [I] \}^{1/2}}{800 \times 9.3234} + 0.25 \times 10^{-4} + \frac{(2.4 \times 10^{-4} \times 0.028)}{9.3234}$$

$$[I]^{1/2} = 0.0409$$

$$[I] = 0.0017 \quad \text{โมลต่อลิตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้} &= \frac{536.28 \times 0.0012}{1000} \\ &= 0.0006 \quad \text{โมล} \\ &= 0.0006 \times 164.21 \quad \text{กรัม} \\ &= 0.1019 \quad \text{กรัม} \end{aligned}$$

ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาสำหรับเตรียมพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต) น้ำหนักโมเลกุลอื่นๆก็คำนวณในทำนองเดียวกัน ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาที่ต้องใช้สำหรับเตรียมพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต) น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ แสดงไว้ในตาราง 3.1 เมื่อเตรียมได้พอลิเมอร์แล้ว นำไปบดเป็นผงละเอียดเตรียมเป็นสารละลายให้มีความเข้มข้นที่แน่นอนประมาณ 1 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้เตตระไฮโดรฟิวแรน (THF) เป็นตัวทำละลาย จากนั้นกรองสารละลายผ่านไมโครฟิวเตอร์ (Micro-filter) ขนาดช่องว่าง (Pore size) 10^{-4} ไมครอนที่ทำด้วยไนลอน แล้วนำไปตรวจวัดน้ำหนักโมเลกุลโดยเทคนิคเจลเพอร์มิเอชันโครมาโตกราฟี (GPC) โดยมีพอลิสไตรีนชนิดเชื่อมโยง (Cross-linked Polystyrene) เป็นเฟสที่อยู่กับที่ (Stationary phase)

ตาราง 3.1

แสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์

น้ำหนักโมเลกุลของ PMMA ที่ต้องการ	ปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ (กรัม)		
	MMA	AIBN	CCl ₄
100,000	500.60	7.0450	2.3076
200,000	500.60	1.6732	2.3076
300,000	500.60	0.7040	2.3076
400,000	500.60	0.3733	2.3076
700,000	500.60	0.1019	2.3076
800,000	500.60	0.0732	2.3076
1,000,000	500.60	0.0410	2.3076
1,200,000	500.60	0.0247	2.3076

3.5. การวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์โดยเทคนิคสเปกโทรสโคปี

3.5.1 การวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี

ละลายพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์ในตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวแรน (THF) จากนั้นนำไปป้ายลงบนเซลล์โซเดียมคลอไรด์ (NaCl cell) 2 - 5 ครั้ง ทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR) ช่วงความยาวคลื่น 4,000 - 590 นาโนเมตร โดยใช้หลอดทังสเตน (Tungsten lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงและใช้ตัวตรวจวัดชนิดควิเทรต ไตรไกลซีน ซัลเฟต (Deuterate Triglycine Sulphate Detector, DTGS)

3.5.2 การวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์โดยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี

นำพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ในลักษณะที่เป็นแท่งกลมยาวประมาณ 4 เซนติเมตรใส่ลงบนตัวจับยึด แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์รามานสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้หลอดนีโอไดเมียม แยก (Neodymium YAG Lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงและใช้ตัวตรวจวัดชนิดอินเดียม แกลเลียม อะซีไนด์ (Indium Gallium Arsenide Detector, InGaAs)

3.5.3 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์โดยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี

3.5.3.1 โปรตอน-เอ็นเอ็มอาร์ ($^1\text{H-NMR}$)

ละลายพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์ในตัวทำละลายดีวทีเรตเต็ดคลอโรฟอร์ม (CDCl_3) จากนั้นกรองใส่ในหลอดแก้ว วิเคราะห์ด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรมิเตอร์ด้วยความถี่คลื่นวิทยุ 500 เมกกะเฮิรทซ์ (MHz)

3.5.3.2 คาร์บอน-13 เอ็นเอ็มอาร์ ($^{13}\text{C-NMR}$)

เตรียมสารที่ต้องการวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ด้วยโปรตอน-เอ็นเอ็มอาร์นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรมิเตอร์ด้วยความถี่คลื่นวิทยุ 500 เมกกะเฮิรทซ์

3.6 การตรวจสอบสมบัติเชิงแสงของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์

3.6.1 การตรวจวัดการดูดกลืนและการส่งผ่านแสงโดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี

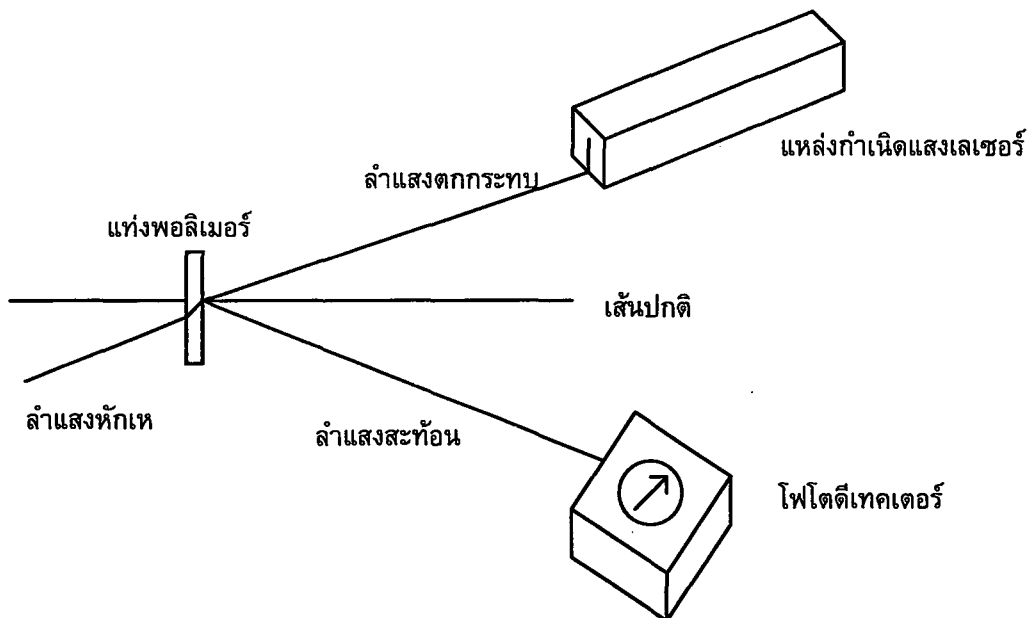
นำพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ละลายในตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวแรนให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 10^{-4} - 10^{-6} โมลต่อลิตร นำใส่ลงในเซลล์ควอทซ์และตรวจวัดความสามารถในการส่งผ่านแสง

วิธีเบิลและแสงอัลตราไวโอเล็ตด้วยเครื่องยูวี-วิธีเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งมีหลอดดิวทีเรียม (Deuterium lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต และหลอดฮาโลเจน (Halogen lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงวิธีเบิลและใช้ตัวตรวจวัดชนิดซิลิคอนโฟโตไดโอด (Silicon photo diode detector)

3.6.2 การตรวจวัดดัชนีหักเหของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)โดยวิธีวัดมุมบรูว์สเตอร์ (Brewster Angle)

จัดตั้งชุดอุปกรณ์ดังรูป 3.1 เปิดเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ เลื่อนตำแหน่งของเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์เพื่อปรับมุมตกกระทบให้เป็นมุมบรูว์สเตอร์ (มุมบรูว์สเตอร์ คือ มุมตกกระทบที่ทำให้ลำแสงที่สะท้อนออกจากแท่งพอลิเมอร์มีความเข้มต่ำที่สุดโดยสังเกตจากเครื่องโฟโตดีเทคเตอร์) วัดค่ามุมบรูว์สเตอร์แล้วแทนลงในสมการ (10) ผลลัพธ์ที่ได้คือค่าดัชนีหักเหของพอลิเมอร์-สังเคราะห์ ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้งเพื่อหาค่าดัชนีหักเหเฉลี่ย

$$\tan \theta_B = n \quad (10)$$



รูป 3.1

แสดงการจัดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดค่าดัชนีหักเหของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์

3.7 การตรวจวัดสมบัติเชิงความร้อนของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์

3.7.1 การตรวจวัดอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของพอลิ(เมธิลเมธาคริเลต)สังเคราะห์ โดยเทคนิคไดนามิกเมคคานิคอลเทอร์มอลแอนนาไลซิส (DMTA)

นำพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้บดเป็นผงละเอียดแล้วนำไปอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดแผ่นให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์หาอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ด้วยเครื่องไดนามิกเมคคานิคอลเทอร์มอลแอนนาไลเซอร์

3.7.2 การตรวจวัดอุณหภูมิสลายโครงสร้างเคมีของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์ โดยเทคนิคเทอร์มอลกราวิเมตริกแอนนาไลซิส (TGA)

นำพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์ปริมาณ 20 มิลลิกรัมใส่ในเซลล์แล้วทำการตรวจวัดอุณหภูมิสลายโครงสร้างเคมีเนื่องจากความร้อนด้วยเครื่องเทอร์มอลกราวิเมตริกแอนนาไลเซอร์ ในช่วงอุณหภูมิ 50 - 800 °C

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การสังเคราะห์พอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)

พอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการต่างๆกันมีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันไป ดังแสดงในตาราง 4.1 พบว่าวิธีการสังเคราะห์พอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)ที่เหมาะสมสำหรับเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงได้จากการพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ในหลอดแก้ว เนื่องจากได้ผลิตภัณฑ์ที่ใสและไม่มีฟองอากาศ และสาเหตุที่การพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ในหม้อปฏิริยาไม่สามารถกระทำจนเสร็จสมบูรณ์ได้เนื่องจากความหนืดของระบบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้โมเลกุลอนุพลอิสระที่กำลังเจริญเติบโตเคลื่อนที่เพื่อเกิดปฏิริยาขั้นสิ้นสุด (Termination) ได้ยาก มอนอเมอร์ซึ่งเคลื่อนที่ได้ง่ายเนื่องจากโมเลกุลมีขนาดเล็กกว่าจึงเข้าทำปฏิริยากับอนุพลอิสระที่กำลังเจริญเติบโต ทำให้ปฏิริยาพอลิเมอไรส์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถควบคุมได้ ส่งผลให้ไม่สามารถทำการปั่นถ่วงสารในหม้อปฏิริยาได้อีกต่อไปและไม่สามารถแยกพอลิเมอร์ออกจากหม้อปฏิริยาและใบพัดปั่นถ่วงได้

ตาราง 4.1

แสดงลักษณะทางกายภาพของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์ที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ

วิธีการสังเคราะห์	ลักษณะพอลิเมอร์ที่ได้	หมายเหตุ
แบบสารละลายในหม้อ ปฏิกิริยา	<ul style="list-style-type: none"> ● มีทั้งส่วนที่ใสและขุ่น ● เนื้อพอลิเมอร์มีฟองอากาศ อยู่มาก 	-
แบบแขวนลอยใน หม้อปฏิกิริยา	<ul style="list-style-type: none"> ● เป็นเม็ดเล็ก ๆ ● ใสค่อนข้างขุ่น 	-
แบบบัลค์ในหม้อ ปฏิกิริยา	<ul style="list-style-type: none"> ● มีทั้งส่วนที่ใสและขุ่น ● เนื้อพอลิเมอร์มีฟองอากาศ 	ไม่สามารถพอลิเมอร์ไรซ์จนเสร็จ สมบูรณ์ได้เนื่องจากความหนืด ของระบบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจน ไม่สามารถบั่นทอนต่อไปได้
แบบบัลค์ในหลอดแก้ว	<ul style="list-style-type: none"> ● เป็นแท่งใส ผิวเรียบ ● ในเนื้อพอลิเมอร์ไม่มีฟอง อากาศ 	เปอร์เซ็นต์การเกิดผลิตภัณฑ์ เกือบ 100% และไม่มีปัญหา เกี่ยวกับการแยกพอลิเมอร์ออก จากหลอดแก้ว

4.2 การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)โดยใช้สารย้ายโซ่และเปลี่ยนแปลงปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยา

การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)โดยใช้สารย้ายโซ่คาร์บอน เตตระคลอไรด์ปริมาณคงที่และเปลี่ยนแปลงปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยา (AIBN) โดยคำนวณจากสมการของเมโย เมื่อตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์โดยเทคนิคเจลเพอร์มิเอชันโครมาโตกราฟีได้โครมาโตแกรมดังแสดงในภาคผนวก โดยการทำให้ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์แบบบัลค์ในหลอดแก้ว จากผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4.2 และ

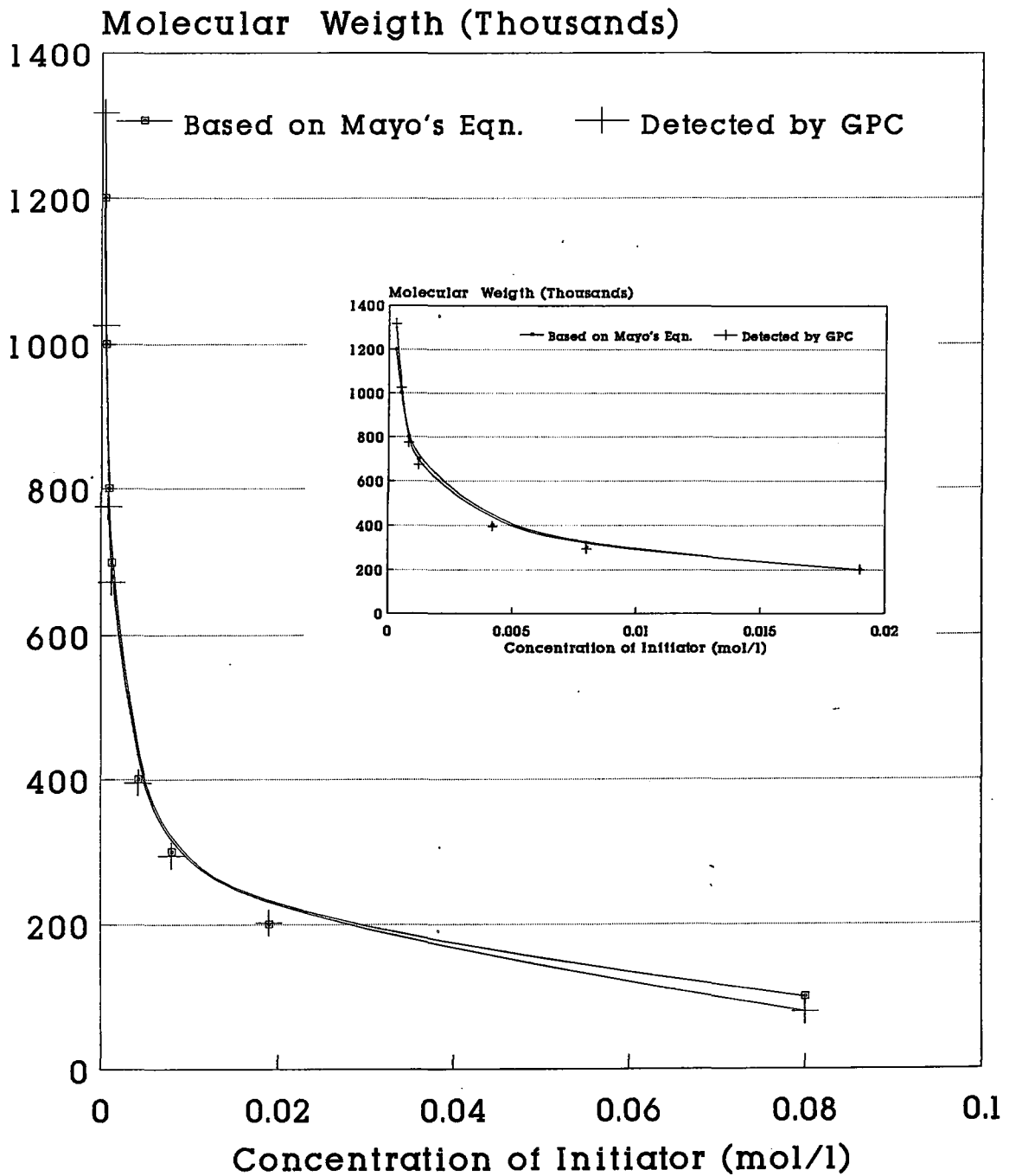
รูป 4.1 พบว่าน้ำหนักโมเลกุลคลาดเคลื่อนไปจากน้ำหนักโมเลกุลที่ควบคุมเล็กน้อย เนื่องจากในการคำนวณสมการของเมโยใช้ค่าคงที่การสลายตัวของสารริเริ่มปฏิกิริยา (K_d) ที่อุณหภูมิ 70°C แต่ทำการพอลิเมอไรซ์ที่อุณหภูมิ 80°C

เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ กัน พบว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 300,000 ขึ้นไปมีลักษณะทางกายภาพเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เตรียมเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง คือ มีความใสสูง ไม่มีฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์ แต่หากน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 300,000 จะมีฟองอากาศเกิดขึ้นในเนื้อพอลิเมอร์ (ข้อมูลแสดงในตาราง 4.3) ซึ่งอาจเนื่องมาจากเมื่อเตรียมพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สารละลายผสมมอนอเมอร์-พอลิเมอร์ในระบบปิดที่ได้รับการผ่านก๊าซไนโตรเจนและถูกเขย่าตลอดเวลาซึ่งมีความหนืดน้อย ก๊าซไนโตรเจนในหลอดแก้วอาจแพร่เข้าไปในสารละลายผสมได้

ตาราง 4.2

แสดงน้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์
ที่เตรียมโดยใช้สารริเริ่มปฏิกิริยาปริมาณต่าง ๆ กัน

น้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมธิล เมธาคริ- เลต)คำนวณจากสมการของเมโย	น้ำหนักโมเลกุลที่ตรวจวัด ได้จากเครื่อง GPC (M_n)	เปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อน
100,000	79,500	20.5
200,000	202,000	1.0
300,000	294,000	2.0
400,000	395,300	1.2
700,000	673,500	3.8
800,000	776,100	3.0
1,000,000	1,026,000	2.6
1,200,000	1,317,000	9.8



รูป 4.1

กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์
ไปจากน้ำหนักโมเลกุลที่ต้องการควบคุม

ตาราง 4.3

แสดงลักษณะทางกายภาพของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ

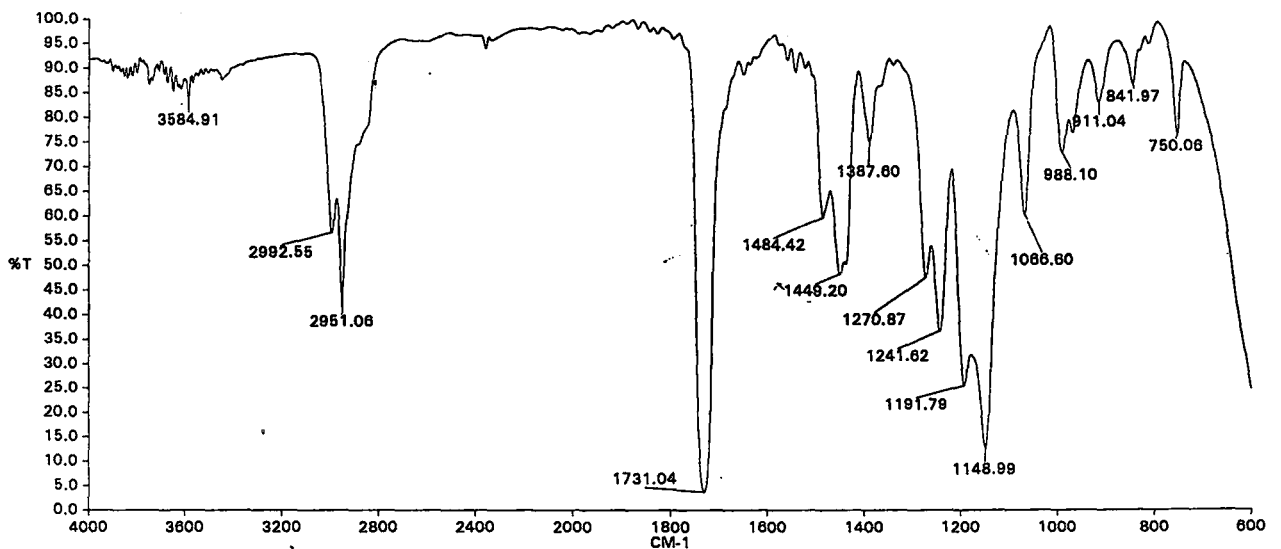
น้ำหนักโมเลกุลของ พอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์	ลักษณะทางกายภาพ			
	มีฟอง อากาศ	ไม่มีฟอง อากาศ	ใส	ขุ่น
100,000	✓		✓	
200,000	✓		✓	
300,000		✓	✓	
400,000		✓	✓	
700,000		✓	✓	
800,000		✓	✓	
1,000,000		✓	✓	
1,200,000		✓	✓	

4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์โดยเทคนิคสเปกโทรสโคปี

4.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์โดยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FTIR)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR) เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันต่างๆบนสายโซ่โมเลกุลได้สเปกตรัมอินฟราเรดดังแสดงในรูป 4.2 พบว่ามีพีกปรากฏขึ้นที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่างๆกัน

ดังแสดงในตาราง 4.4 Schroder/Muller/Arndt(11) พบว่าพีคที่ปรากฏ ณ เลขคลื่น 750.06 และ 1066.60 cm^{-1} แสดงถึงการมีโครงสร้างแบบซินดิโอแทกติก (Syndiotactic) อย่างไรก็ตามเพื่อผลที่ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงใช้เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ต่อไป



รูป 4.2

สเปกตรัมอินฟราเรดของพอลิ(เมทิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์

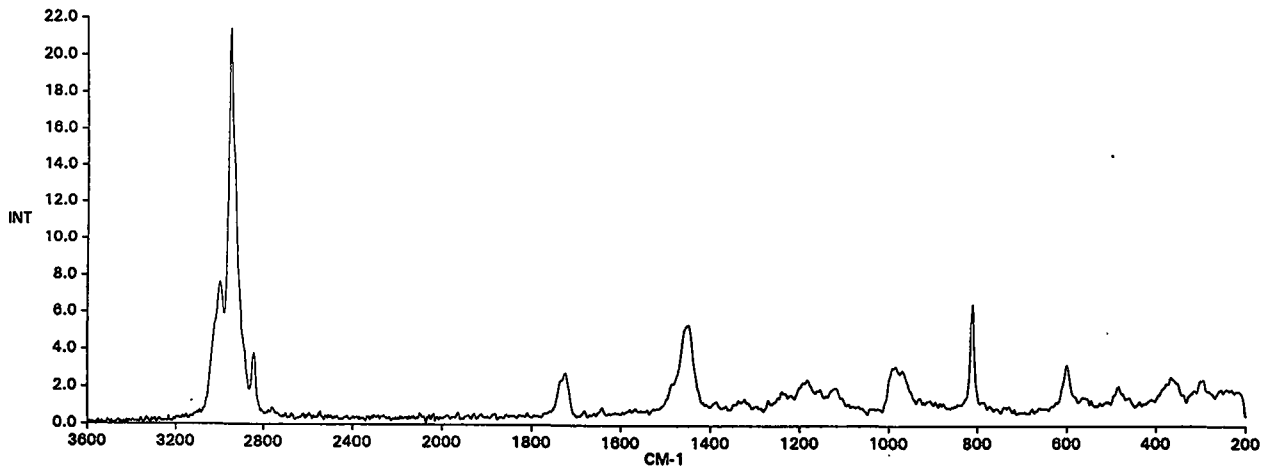
ตาราง 4.4

แสดงเลขคลื่นที่ปรากฏพีกและลักษณะเฉพาะของพีกบนสเปกตรัมอินฟราเรด

ตำแหน่งพีก (cm^{-1})	%การส่งผ่าน แสง	ลักษณะเฉพาะของพีก (Peak Characteristics)	หมายเหตุ
2951.06	45	C-H stretching ของ CH ₃ (asymmetric)	-
1731.04	5	C=O stretching ของ CH ₃	ความเข้มสูง
1484.42	60	C-H deformation ของ - CH<	-
1449.20	47.5	C-H deformation ของ -CH ₃	ความเข้มปกติ ปลายพีกแยกจากกัน
1148.99	15	C-O-C stretching ของ propionate หรือสูงกว่า propionate	ความเข้มสูง 2 พีก และ พีกอื่นๆ อีกอยู่ในช่วง 1300-1000 cm^{-1}
1066.60	60	C-C bending	-
750.06	80	-CH ₂ - bending	-

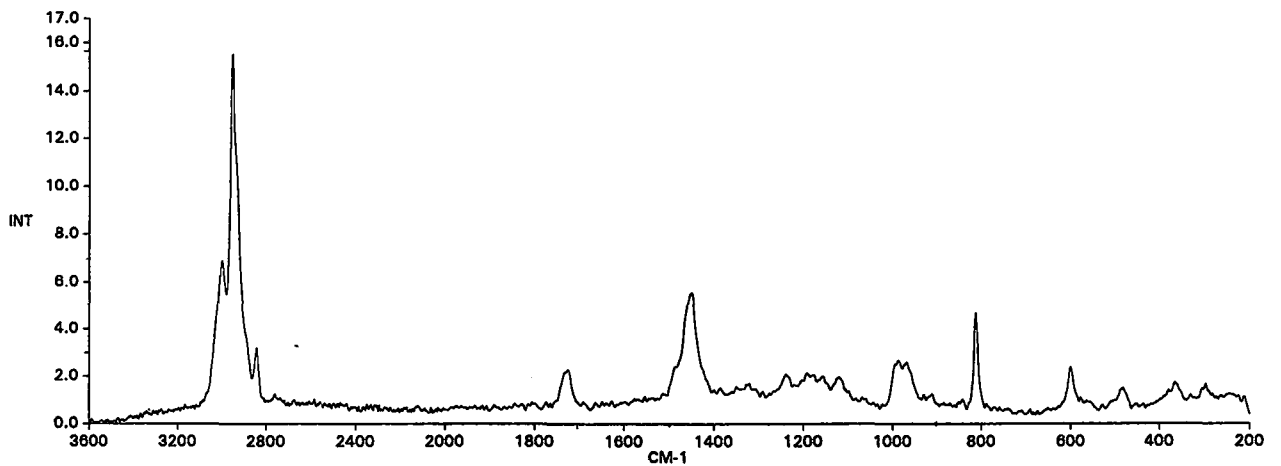
4.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์โดยเทคนิค
รามานสเปกโทรสโคปี

จากการตรวจสอบพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์ด้วยเครื่องรามานสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
ได้สเปกตรัมรามานดังแสดงในรูป 4.3 พบว่ามีพีกปรากฏที่เลขคลื่นต่าง ๆ กันดังแสดงใน
ตาราง 4.5 เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมรามานของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์กับ
สเปกตรัมรามานมาตรฐานของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต) ดังแสดงในรูป 4.4 พบว่ามีลักษณะ
เหมือนกันทุกประการ



รูป 4.3

สเปกตรัมรามานของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์



รูป 4.4

สเปกตรัมรามานมาตรฐานของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)

ตาราง 4.5

แสดงเลขคลื่นที่ปรากฏพีกและลักษณะเฉพาะของพีกบนสเปกตรัมรามาน
ของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์

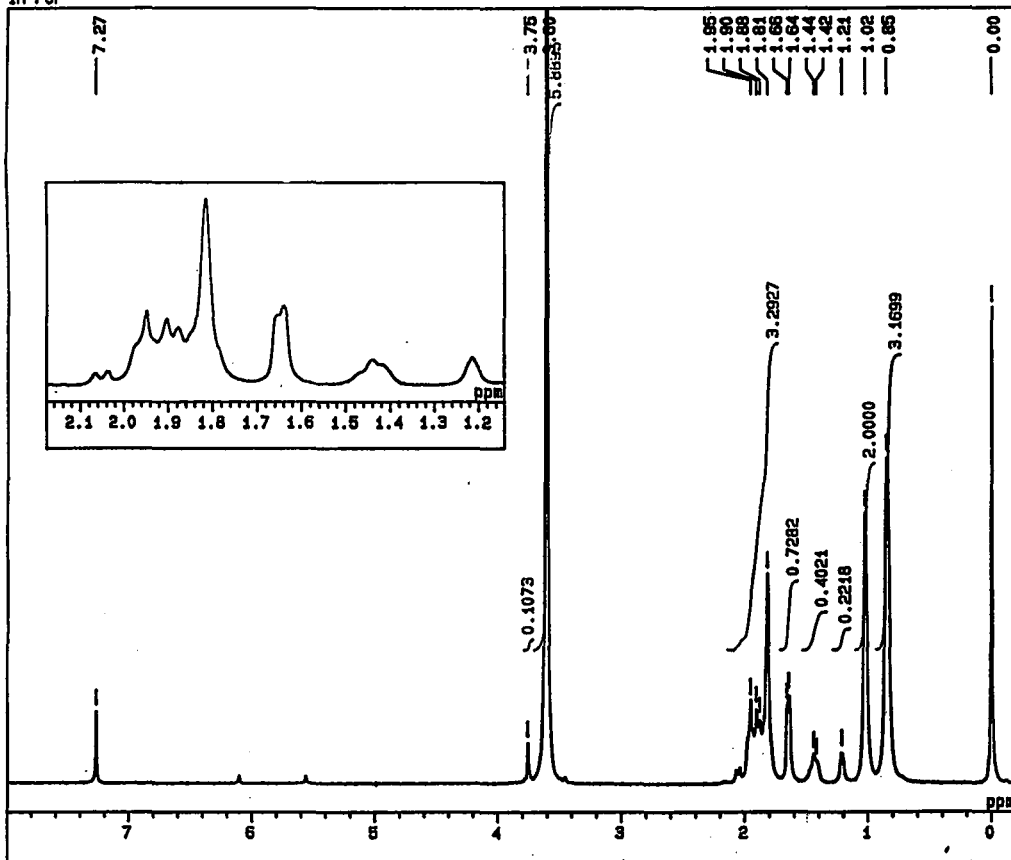
เลขคลื่นที่ปรากฏพีก (cm-1)	ความเข้มของพีก	ลักษณะเฉพาะของพีก (Peak Characteristics)
2950	15.8	C-H stretching ของอัลเคน
1730	2.2	C=O stretching
1450	6.0	CH ₃ anti-symmetric bending
1000	2.0	C-O-C stretching

4.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์โดย
เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี (NMR)

จากการวิเคราะห์พอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์โดยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์
ด้วยความถี่คลื่นวิทยุ 500 เมกกะเฮิรตซ์ได้สเปกตรัมโปรตอน-1 และคาร์บอน-13เอ็นเอ็มอาร์
ดังแสดงในรูป 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตาราง 4.6 และ 4.7 แสดงความถี่การเกิดสัญญาณเรโซแนนซ์และลักษณะเฉพาะของสัญญาณ
บนสเปกตรัมโปรตอน-1 เอ็นเอ็มอาร์ พบว่าโครงสร้างจุลภาคของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)
สังเคราะห์มี 3 แบบ คือ แบบซินดิโอแทกติก แบบอะแทกติกและแบบไอโซแทกติก โดยโครง-
สร้างจุลภาคเหล่านี้ได้เคยศึกษาโดยเทคนิคเอ็นเอ็มอาร์มาก่อนหน้านี้แล้วโดยโชเดอร์
(Schroder) และคณะ(11) จากการเปรียบเทียบความเข้มของพีกที่แสดงลักษณะเฉพาะของ
โครงสร้างจุลภาคแต่ละแบบ พบว่าพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์มีโครงสร้างจุลภาคส่วน
ใหญ่เป็นแบบซินดิโอแทกติกคิดเป็นปริมาณประมาณ 59 % แบบอะแทกติกประมาณ 37 %
และแบบไอโซแทกติกประมาณ 4 %

1H-POF



JEOL
12-FEB-1994 15:28:56.39

DFILE : ALPHA
SFIL : MA-POF SOMBOON

COMNT : 1H-POF
EXMOD : SINGL
IRMOD : NON
POINT : 32768
FREQU : 10000.00 Hz
SCANS : 4
DUMNY : 4
ACQTM : 3.2768 sec
PD : 3.0000 sec
RGAIN : 10
PH1 : 5.75 usec

OBNUC : 1H
OBFRQ : 500.00 MHz
OBSET : 162410.00 Hz

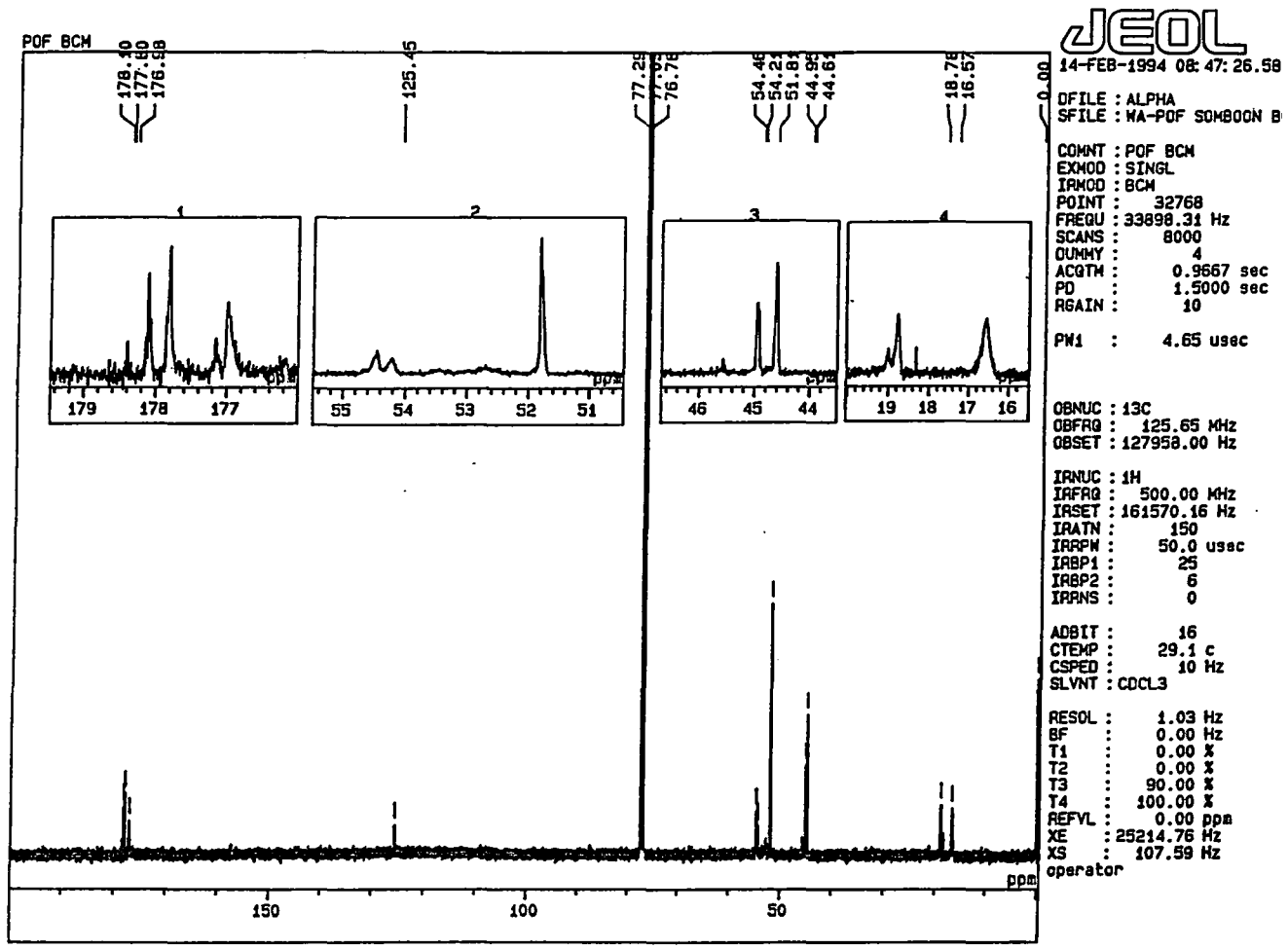
IRNUC : 1H
IRFRQ : 500.00 MHz
IRSET : 162410.00 Hz
IRATN : 120
IRRPW : 50.0 usec
IRBP1 : 25
IRBP2 : 6
IRRNS : 0

ADBIT : 16
CTEMP : 28.8 c
CSPED : 13 Hz
SLVNT : COCL3

RESOL : 0.31 Hz
BF : 0.01 Hz
T1 : 0.00 %
T2 : 0.00 %
T3 : 90.00 %
T4 : 100.00 %
REFVL : 0.00 ppm
XE : 4100.95 Hz
XS : 545.35 Hz
operator

รูป 4.5

สเปกตรัมโปรตอน-1 เอ็นเอ็มอาร์ของพอลิ(เมทิล เมทาคริลेट)สังเคราะห์



รูป 4.6

สเปกตรัมคาร์บอน-13 เอ็นเอ็มอาร์ของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์

ตาราง 4.6

แสดงความถี่ที่เกิดสัญญาณเรโซแนนซ์และลักษณะเฉพาะของสัญญาณเรโซแนนซ์บน
สเปกตรัมโปรตอน-เอ็นเอ็มอาร์

Chemical Shift (ppm)	ชนิดของโปรตอน	ความเข้มของพีค	หมายเหตุ
0.85	α -CH ₃	3.1699	-
1.02	α -CH ₃	2.00	-
1.21	α -CH ₃	0.2218	พีคเดี่ยว (singlet)
1.9	β -CH ₂	3.2927	4 พีค (quartet)
3.6	α -COOCH ₃	5.8893	พีคเดี่ยว ความเข้มสูง
0.0	-	-	พีคของ TMS
7.3	-	-	พีคของ CDCl ₃

ตาราง 4.7

แสดงพีคที่แสดงลักษณะเฉพาะของโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกัน

ความถี่ที่เกิด เรโซแนนซ์ (ppm)	โครงสร้างจุลภาค (Microstructure)	
0.85 1.9 3.6	ซินดิโอแทกติก	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{COOCH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \quad \quad \\ \sim\text{CH}_2 - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{C} \sim \\ \quad \quad \\ \text{COOCH}_3 \quad \text{CH}_3 \quad \text{COOCH}_3 \end{array} $
1.02 1.9 3.6	อะแทกติก	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{COOCH}_3 \quad \text{COOCH}_3 \\ \quad \quad \\ \sim\text{CH}_2 - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{C} \sim \\ \quad \quad \\ \text{COOCH}_3 \quad \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} $
1.2 1.9 3.6	ไอโซแทกติก	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \quad \quad \\ \sim\text{CH}_2 - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{C} \sim \\ \quad \quad \\ \text{COOCH}_3 \quad \text{COOCH}_3 \quad \text{COOCH}_3 \end{array} $

ตาราง 4.8

แสดงความถี่ที่เกิดสัญญาณเรโซแนนซ์และลักษณะเฉพาะของสัญญาณเรโซแนนซ์บน
สเปกตรัมคาร์บอน¹³-เอ็นเอ็มอาร์ของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์

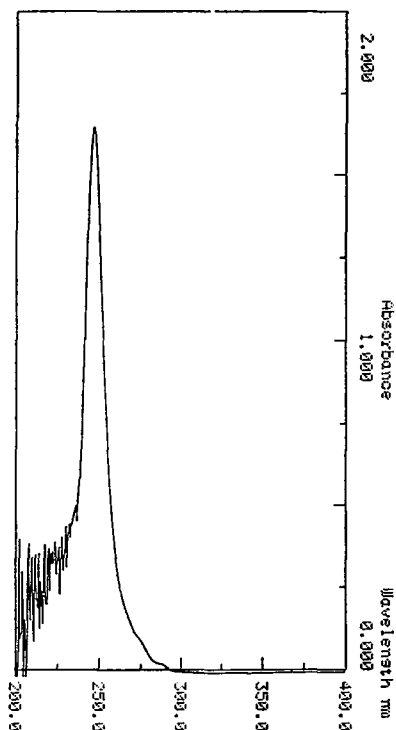
ความถี่ที่เกิดเรโซแนนซ์ (ppm)	ชนิดของคาร์บอน	หมายเหตุ
16.75, 18.78	α -CH ₃	พีกคู่ (doublet)
44.61, 44.95	-C-	-
51.81	-OCH ₃	-
54.21, 54.46	-CH ₂ -	-
76.78, 77.03, 77.29	-	พีกของ CDCl ₃
125.45	>C=C<	พีกเดี่ยว (singlet)
176.98, 177.80, 178.10	C=O	สามพีก (triplet)

จากตาราง 4.8 สัญญาณเรโซแนนซ์ที่ 125.45 ppm เกิดจากคาร์บอนอะตอมของ $>C=C<$ ของ เมธิล เมธาคริเลตที่หลงเหลืออยู่ปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยสังเกตจากความเข้มของ พีคน้อยมาก แสดงให้ทราบว่าปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบบัลคในหลอดแก้วเปลี่ยนแปลง มอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ประมาณ 100 %

4.4 การตรวจวัดสมบัติเชิงแสงของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์

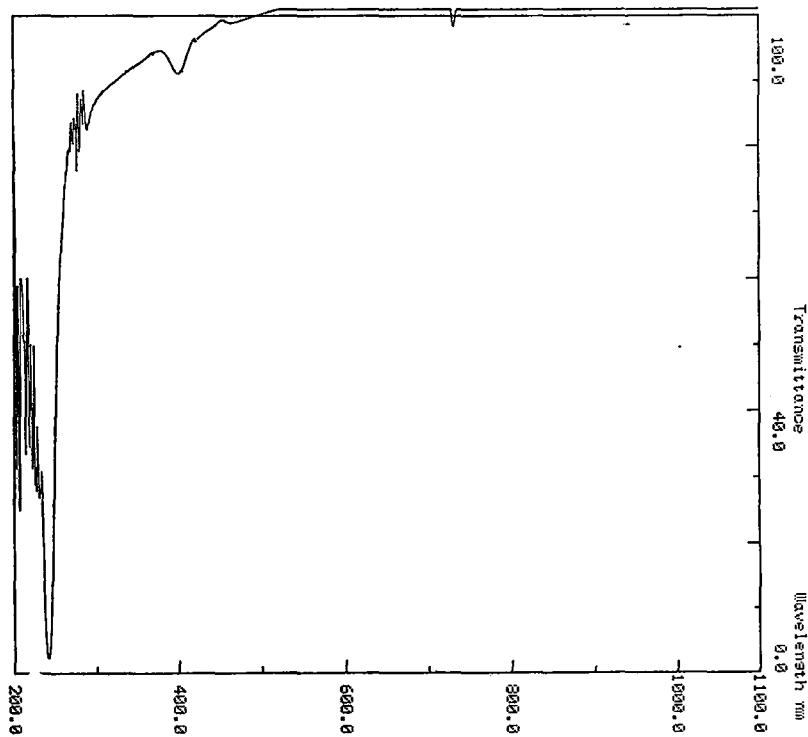
4.4.1 การตรวจวัดความสามารถส่งผ่านแสงโดยเทคนิคยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรสโคปี

จากการวิเคราะห์พอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ได้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตและสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์ดังแสดงในรูป 4.7 และรูป 4.8 ตามลำดับ พบว่าพอลิเมอร์สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต การดูดกลืนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 242 nm. และสามารถส่งผ่านแสงวิซิเบิลได้ร้อยละ



รูป 4.7

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์



รูป 4.8

สเปกตรัมการส่งผ่านแสงอินฟราเรดของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์

4.4.2 การตรวจวัดค่าดัชนีหักเหของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์

จากการตรวจวัดค่าดัชนีหักเหของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์โดยวิธีวัดมุมปริศเตอร์ ได้ค่ามุมปริศเตอร์ต่างๆกันและเมื่อแทนค่าในสมการ (10) แล้วหาค่าเฉลี่ย พบว่า พอลิเมอร์นี้มีค่าดัชนีหักเหเฉลี่ยเท่ากับ 1.38 ดังแสดงในตาราง 4.9 ซึ่งคลาดเคลื่อนไปจาก ดัชนีหักเหอ้างอิงของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)เพียงเล็กน้อยทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากความไม่แน่นอนในการวัดค่ามุมปริศเตอร์

ตาราง 4.9

แสดงค่ามุมบรีวสเตอร์และค่าดัชนีหักเหของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์

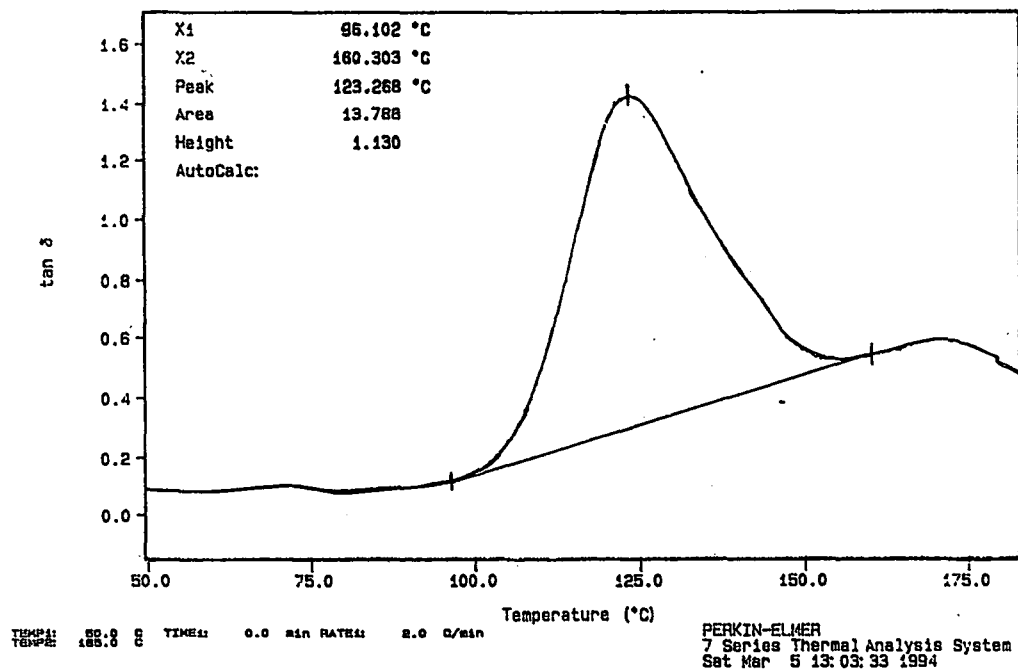
ครั้งที่	มุมบรีวสเตอร์ (องศา)	ค่าดัชนีหักเห
1	55	1.43
2	54	1.38
3	54	1.38
4	53	1.33
5	54	1.38
6	55	1.43
7	53	1.33
8	53	1.33
9	54	1.38
10	55	1.43
ค่าดัชนีหักเหเฉลี่ย		1.38

4.5 การตรวจวัดสมบัติเชิงความร้อนของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์

4.5.1 การตรวจวัดอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (Tg) โดยเทคนิคไดนามิกเมคานิคอลเทอร์มอลแอนนาไลซิส (DMTA)

จากการตรวจวัดอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (Tg) โดยให้ความร้อนแก่พอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)-สังเคราะห์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกันในช่วงอุณหภูมิ 30 - 200 °C ด้วยเครื่อง DMTA ตัวอย่างเทอร์โมแกรมแสดงในรูป 4.9 และเทอร์โมแกรมทั้งหมดแสดงในภาคผนวก พบว่าพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่างๆมีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วอยู่ในช่วง 123 ถึง 133 °C ซึ่งใกล้เคียงกับพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)เชิงการค้าที่มีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วเท่ากับ 128 °C ดังแสดงในตาราง 4.10

Curve 1: DMA Temp/Time Scan in Parallel Plate
File info: pmm1 Thu Mar 3 12:30:49 1994
Frequency: 1.00 Hz Dynamic Stress: 1.45e+04Pa
PKMA 1 Static Stress: 1.60e+04Pa



รูป 4.9

เทอร์โมแกรมจากการตรวจวัดอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)สังเคราะห์
น้ำหนักโมเลกุล 100,000

ตาราง 4.10

แสดงอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลต่างๆ

น้ำหนักโมเลกุลของ พอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์	อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (°ซ)
100,000	123.3
300,000	130.9
700,000	133.6
300,000 (เ칭การค้ำ)	128.5

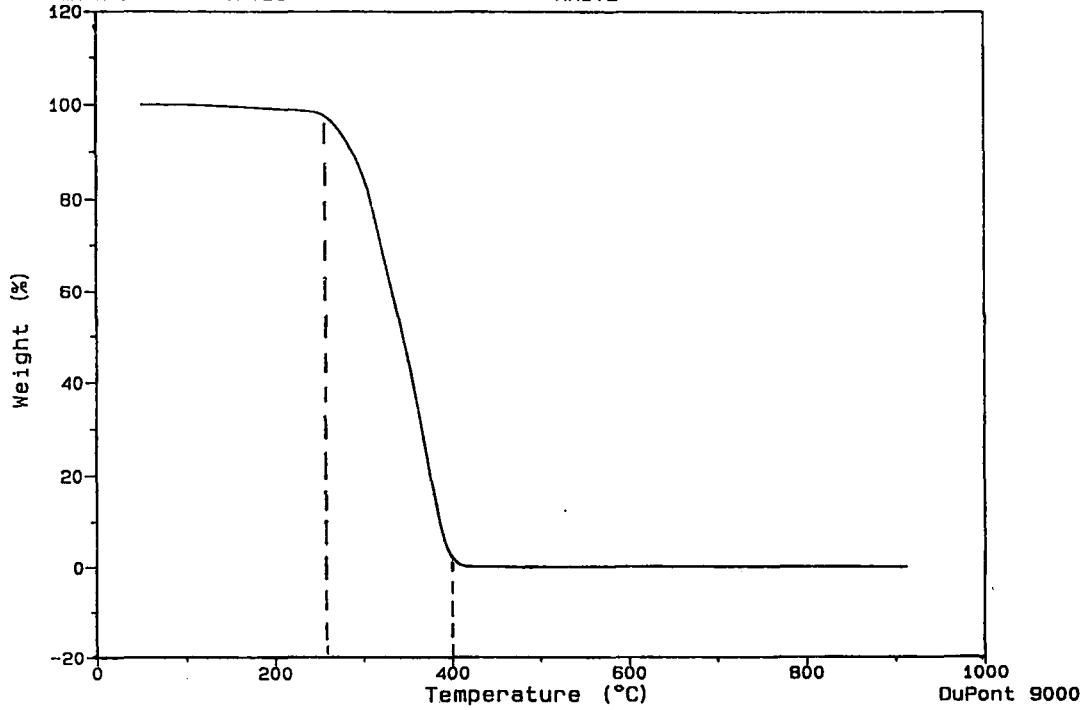
**4.5.2 การตรวจวัดอุณหภูมิสลายโครงสร้างเคมีของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์
โดยเทคนิคเทอร์มอลกราวิเมตริกแอนนาไลซิส (TGA)**

จากการวิเคราะห์พอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์ด้วยเครื่องเทอร์มอลกราวิเมตริกแอนนาไลเซอร์โดยให้ความร้อนแก่พอลิเมอร์สังเคราะห์ในช่วงอุณหภูมิ 50 - 800 °ซ เทอร์โมแกรมแสดงในรูป 4.10 พบว่าเมื่อพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์ได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 250 °ซ น้ำหนักจะเริ่มลดลงเนื่องจากการสลายพันธะเคมีและเมื่อถึงอุณหภูมิประมาณ 400 °ซ การสูญเสียน้ำหนักของพอลิเมอร์เกิดขึ้นร้อยละเซนต์เนื่องจากพอลิเมอร์เกิดการสลายโครงสร้างเคมีทั้งหมดอย่างสมบูรณ์

Sample: PMMA ๓
Size: 20.8390 mg Kcell: 1.0000
Method: BULK
Comment: FIBER OPTIC

TGA

Run: 1
Operator: K SOMBOON
KMIL



รูป 4.10

เทอร์โมแกรมจากการตรวจวัดอุณหภูมิสลายโครงสร้างเคมีของ

พอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

การเตรียมพอลิเมอร์สำหรับใช้ในการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์นำแสงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของพอลิเมอร์เป็นสำคัญ เนื่องจากความบริสุทธิ์มีอิทธิพลต่อความสามารถในการส่งผ่านสัญญาณแสง หากภายในเนื้อพอลิเมอร์มีอนุภาคมลทินหรือช่องว่างแทรกอยู่ อนุภาคและช่องว่างเหล่านี้สามารถดูดซับแสงและทำให้เกิดการกระเจิงของแสงได้ทำให้เส้นใยพอลิเมอร์นำแสงมีประสิทธิภาพในการส่งผ่านแสงลดต่ำลง จากการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ด้วยวิธีการที่เหมาะสม พบว่าวิธีการเตรียมพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)ที่เหมาะสมสำหรับระดับห้องปฏิบัติการ อนุกรม 80 °ซ ได้แก่ วิธีการพอลิเมอไรซ์มอนอเมอร์เมทิล เมทาคริเลตบริสุทธิ์แบบบัลด์ในหลอดแก้ว โดยใช้ 2,2'-เอโซบิสไอโซบิวไทโรโนไตรัลบริสุทธิ์เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาและคาร์บอนเตตระคลอไรด์เป็นสารย้ายโซซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์สูงประมาณร้อยละ 90 พอลิเมอร์ที่เตรียมได้มีความใสสูง ไม่มีช่องว่างหรือฟองอากาศในเนื้อพอลิเมอร์ และมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 300,000 ขึ้นไป เมื่อตรวจสอบโครงสร้างเคมีพบว่า พอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์มีโครงสร้างจุลภาคเป็นแบบซินดิโอแทกติกประมาณ 59 % แบบอะแทกติกประมาณ 37 % และแบบไอโซแทกติกประมาณ 4 % เมื่อตรวจสอบสมบัติเชิงแสงพบว่า พอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์สามารถส่งผ่านแสงวิซิเบิลได้ 100 % และสามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ โดยการดูดกลืนสูงสุดเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 242 นาโนเมตร ค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับ 1.38 สมบัติเชิงความร้อนของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์มีดังนี้ อนุกรมสถานะคล้ายแก้วอยู่ในช่วง 123 - 133 °ซ การสลายโครงสร้างเคมีเนื่องจากความร้อนเริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 250 °ซ และสลายโครงสร้างเคมีทั้งหมดอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ 400 °ซ

ข้อเสนอแนะ

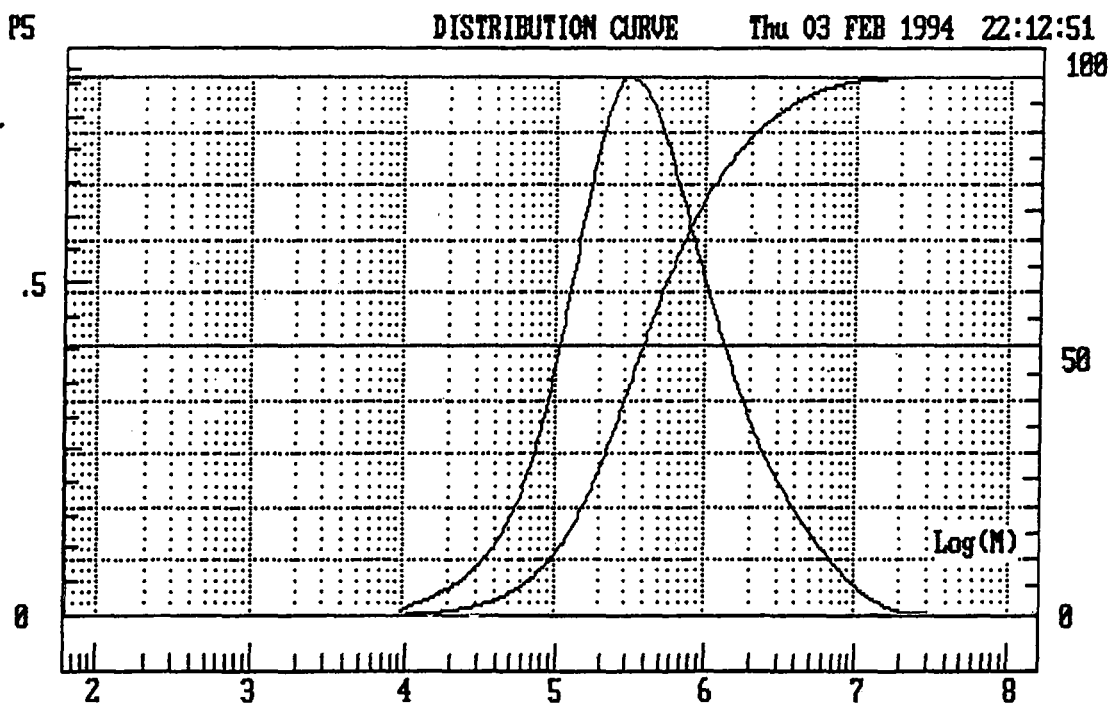
1. ควรศึกษาวิธีการเตรียมพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)น้ำหนักโมเลกุล 100,000 - 200,000 โดยไม่ให้เกิดฟองอากาศและได้พอลิเมอร์ใส เนื่องจากหากนำพอลิเมอร์ที่เนื้อในมีฟองอากาศจำนวนมากไปทำการอัดรีดเป็นเส้นใยนำแสง อาจมีฟองอากาศบางส่วนหลงเหลืออยู่ในเส้นใยนำแสง ฟองอากาศเหล่านี้เป็นสาเหตุของการกระเจิงของแสง ทำให้เส้นใยที่ได้มีการสูญเสียสัญญาณแสงสูง
2. ควรศึกษาวิธีการเตรียมพอลิ(เมธิล เมธาคริเลต)ให้มีโครงสร้างจุลภาคแบบอะแทกติกเท่านั้น เนื่องจากโครงสร้างเคมีที่ไม่เป็นระเบียบทำให้มีความเป็นอสัณฐานสูง จึงสามารถส่งผ่านแสงได้ดีกว่าโครงสร้างจุลภาคแบบอื่นๆ
3. ควรศึกษาวิธีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ เช่น พอลิสไตรีนและพอลิคาร์บอนเนต เพื่อใช้เป็นพอลิเมอร์เรซินสำหรับเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านี้มีความเป็นอสัณฐานสูง จึงสามารถส่งผ่านแสงได้ดี
5. ควรศึกษาการปรับปรุงสมบัติการนำแสง สมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพของพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นแกนเส้นใยพอลิเมอร์นำแสง อาทิเช่น การเติมสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือเพิ่มความยืดหยุ่นโค้งงอแต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการนำแสงซึ่งอาจลดลงเนื่องจากการเติมสารเหล่านี้ได้

ภาคผนวก

CNRS URA 278 * UNIVERSITE P.& M. CURIE - PARIS VI * E.S.P.C.I.

Version 3.00a - MULTIDETECTOR GPC SOFTWARE - revised 03/17/93 J.Lesec

P5	RESULTS	Thu 03 FEB 1994 22:12:12
Polystyrene # 1	RUN # 22 Inj # 5	CODE : INJ 92
DATE : Thu 03 FEB 1994	TIME : 19:23:44	Manual integration
Calibration # 1.004	Number of points: 291	Axial dispersion: NO
MOLECULAR WEIGHTS	UNIVERSAL	
Peak mol. wt Mp :	319400	
Number aver. Mn :	202600	
Viscos. aver. Mv :	627800	
Weight averag. Mw :	921000	
Z average Mz :	3875000	
Polydispersity :	4.55	
[n] (ml/g) :	32.97	
Log(K) (M-H) :	-1.522	
Alpha (M-H) :	.524	
REFRACTOMETER C/c : 1	Peak elution : 14.836	Baseline : .10017
Area constant : 2.437	Conc. (g/ml) : .01	dn/dc : 0
VISCOMETER Mn : 178000	Peak elution : 14.334	Baseline : .91194
[n]area (ml/g) : 33.05	[n]peak(ml/g) : 32.4	[n]exp (ml/g) : 32.97



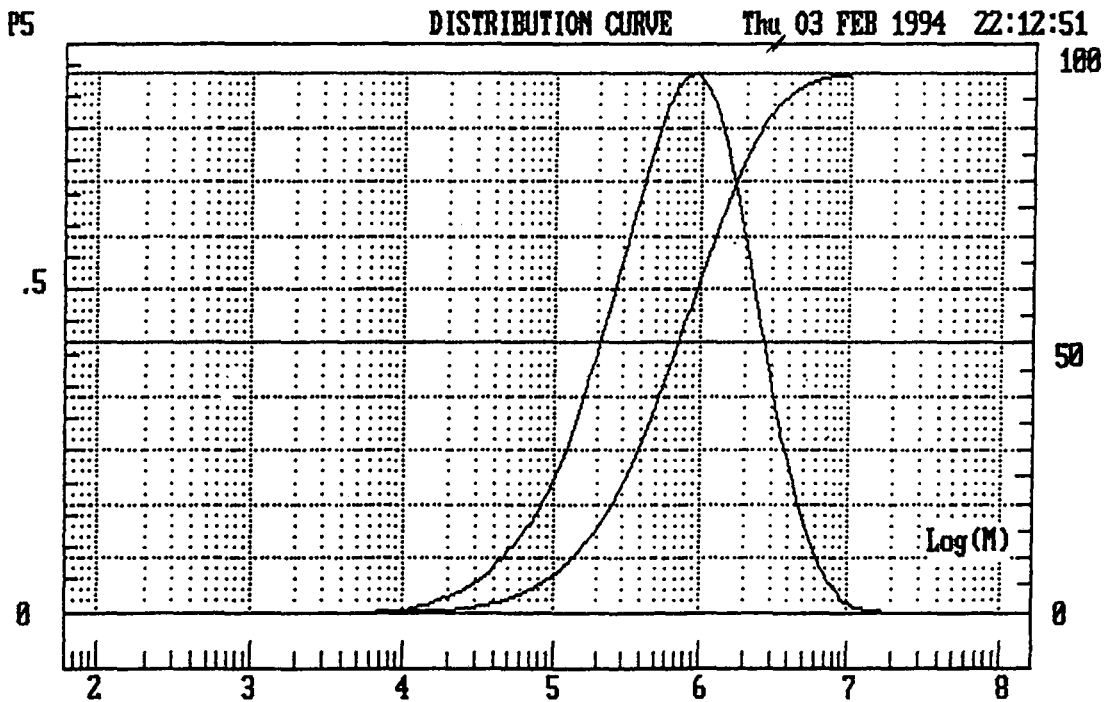
GPC Chromatogram

จากการตรวจวัดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามจำนวน (M_n) ที่แท้จริง
ของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล 200,000

CNRS URA 278 * UNIVERSITE P. & M. CURIE - PARIS VI * E.S.P.C.I.

Version 3.00a - MULTIDETECTOR GPC SOFTWARE - revised 03/17/93 J.Lesec

P5	RESULTS	Thu 03 FEB 1994 22:12:12
Polystyrene # 1	RUN # 22 Inj # 5	CODE : INJ 92
DATE : Thu 03 FEB 1994	TIME : 19:23:44	Manual integration
Calibration # 1.004	Number of points: 291	Axial dispersion: NO
MOLECULAR WEIGHTS	UNIVERSAL	
Peak mol. wt Mp :	881300	
Number aver. Mn :	294900	
Viscos. aver. Mv :	782500	
Weight averag. Mw :	1113000	
Z average Mz :	2556000	
Polydispersity :	3.77	
[n] (ml/g) :	4.509	
Log(K) (M-H) :	-1.306	
Alpha (M-H) :	.333	
REFRACTOMETER C/c : 1	Peak elution : 15.134	Baseline : .10097
Area constant : .832	Conc. (g/ml) : .01312	dn/dc : 0
VISCOMETER Mn : 136500	Peak elution : 14.899	Baseline : .93577
[n]area (ml/g): 4.608	[n]peak(ml/g): 5.26	[n]exp (ml/g): 4.509



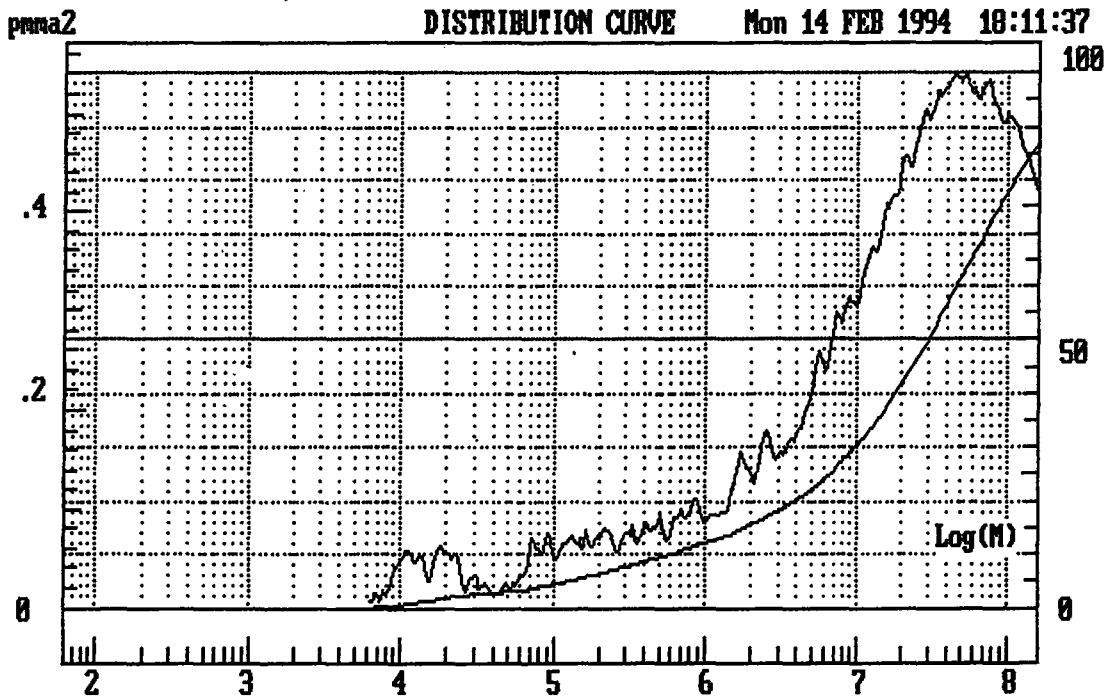
GPC Chromatogram

จากการตรวจวัดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามจำนวน (M_n) ที่แท้จริง
ของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล 300,000

CNRS URA 278 * UNIVERSITE P.& M. CURIE - PARIS VI * E.S.P.C.I.

Version 3.00a - MULTIDETECTOR GPC SOFTWARE - revised 03/17/93 J.Lesec

pmma2	RESULTS	Mon 14 FEB 1994 18:11:01
Polystyrene # 1	RUN # 27 Inj # 2	CODE : INJ 126
DATE : Mon 14 FEB 1994	TIME : 13:07:04	Manual integration
Calibration # 1.004	Number of points: 459	Axial dispersion: NO
MOLECULAR WEIGHTS	UNIVERSAL	
Peak mol. wt Mp :	4.839E+7	
Number aver. Mn :	395300	
Viscos. aver. Mv :	3.721E+7	
Weight averag. Mw :	6.727E+7	
Z average Mz :	1.975E+8	
Polydispersity :	170	
[n] (ml/g) :	10.48	
Log(K) (M-H) :	-2.028	
Alpha (M-H) :	.403	
REFRACTOMETER C/c : 1	Peak elution : 12.614	Baseline : .10609
Area constant : .2428	Conc. (g/ml) : .0101	dn/dc : 0
VISCOMETER Mn : 126000	Peak elution : 12.039	Baseline : .91527
[n]area (ml/g) : 10.97	[n]peak(ml/g) : 16.07	[n]exp (ml/g) : 10.48



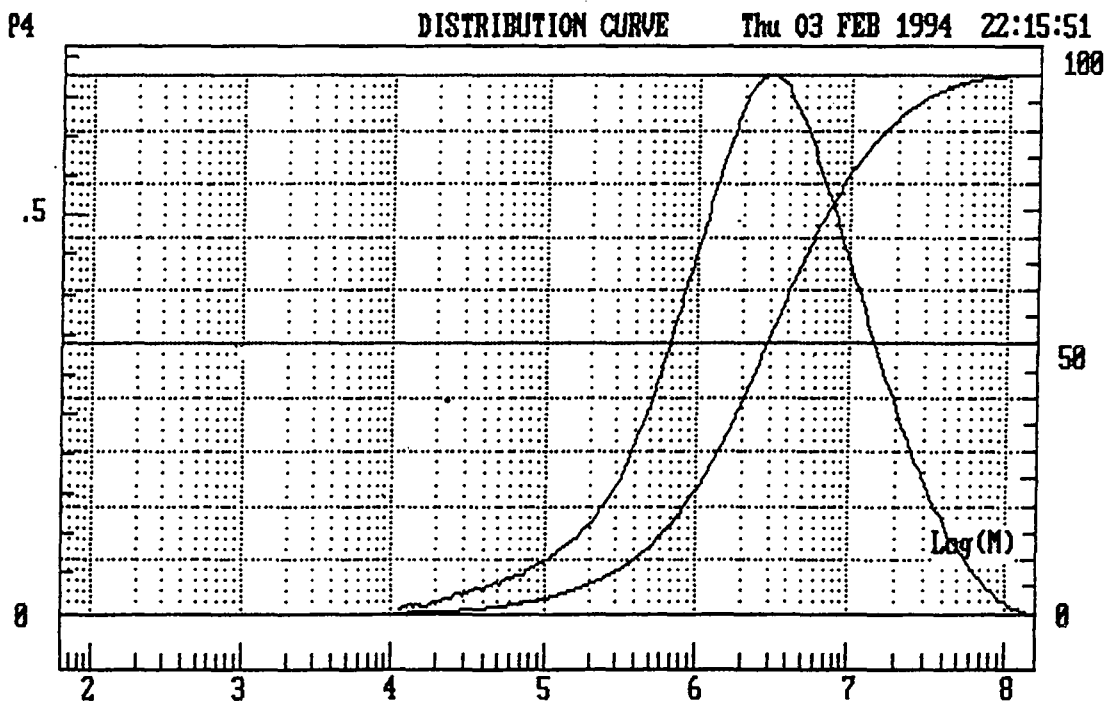
GPC Chromatogram

จากการตรวจวัดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามจำนวน (M_n) ที่แท้จริง
 ของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล 400,000

CNRS URA 278 * UNIVERSITE P. & M. CURIE - PARIS VI * E.S.P.C.I.

Version 3.00a - MULTIDETECTOR GPC SOFTWARE - revised 03/17/93 J.Lesec

P4	RESULTS	Thu 03 FEB 1994 22:15:02
Polystyrene # 1	RUN # 22 Inj # 4	CODE : INJ 91
DATE : Thu 03 FEB 1994	TIME : 19:00:01	Manual integration
Calibration # 1.004	Number of points: 382	Axial dispersion: NO
MOLECULAR WEIGHTS	UNIVERSAL	
Peak mol. wt Mp :	2954000	
Number aver. Mn :	673500	
Viscos. aver. Mv :	4116000	
Weight averag. Mw :	6593000	
Z average Mz :	2.446E+7	
Polydispersity :	9.79	
[n] (ml/g) :	25.65	
Log(K) (M-H) :	-1.549	
Alpha (M-H) :	.447	
REFRACTOMETER C/c : 1	Peak elution : 13.719	Baseline : .10286
Area constant : .9355	Conc. (g/ml) : .01172	dn/dc : 0
VISCOMETER Mn : 401300	Peak elution : 13.124	Baseline : .93623
[n]area (ml/g) : 26.03	[n]peak(ml/g) : 31.65	[n]exp (ml/g) : 25.65



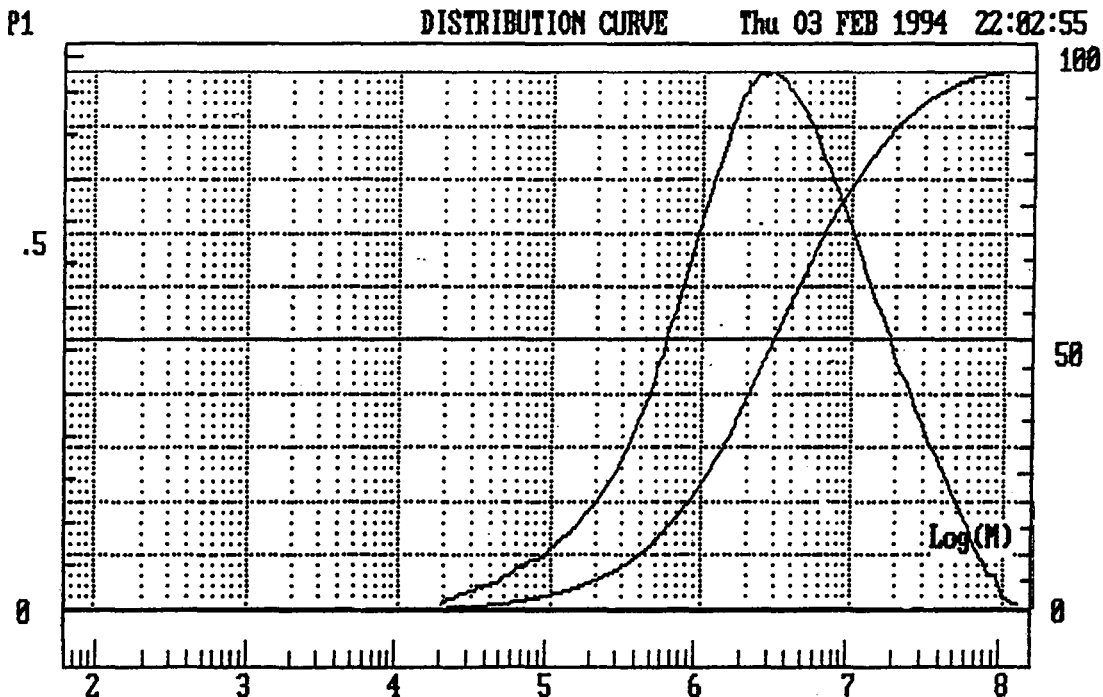
GPC Chromatogram

จากการตรวจวัดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามจำนวน (M_n) ที่แท้จริง
ของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล 700,000

CNRS URA 278 * UNIVERSITE P.& M. CURIE - PARIS VI * E.S.P.C.I.

Version 3.00a - MULTIDETECTOR GPC SOFTWARE - revised 03/17/93 J.Lesec

P1	RESULTS	Thu 03 FEB 1994 22:02:15
Polystyrene # 1	RUN # 22 Inj # 1	CODE : INJ 88
DATE : Thu 03 FEB 1994	TIME : 17:48:52	Manual integration
Calibration # 1.004	Number of points: 450	Axial dispersion: NO
MOLECULAR WEIGHTS UNIVERSAL		
Peak mol. wt Mp :	2798000	
Number aver. Mn :	776100	
Viscos. aver. Mv :	4298000	
Weight averag. Mw :	7567000	
Z average Mz :	2.775E+7	
Polydispersity :	9.75	
[n] (ml/g) :	45.66	
Log(K) (M-H) :	-.9048	
Alpha (M-H) :	.387	
REFRACTOMETER C/c : 1	Peak elution : 13.46	Baseline : .096645
Area constant : 1.139	Conc. (g/ml) : .01	dn/dc : 0
VISCOMETER Mn : 919200	Peak elution : 12.814	Baseline : .93776
[n]area (ml/g) : 45.87	[n]peak(ml/g) : 54.98	[n]exp (ml/g) : 45.66



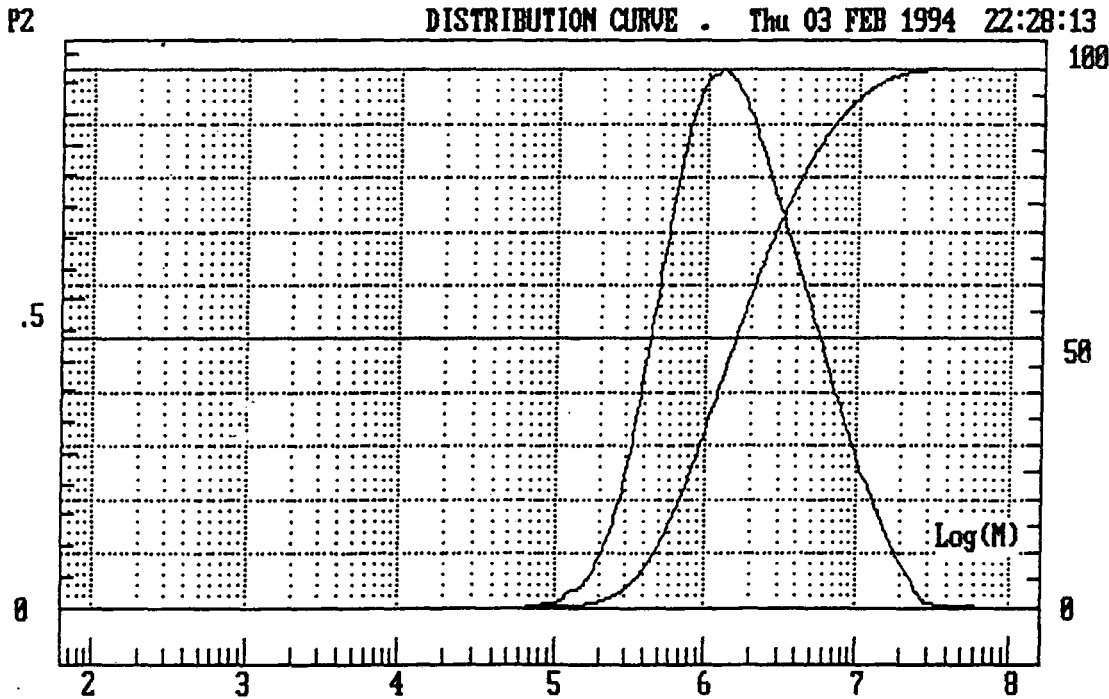
GPC Chromatogram

จากการตรวจวัดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามจำนวน (M_n) ที่แท้จริง
ของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล 800,000

CNRS URA 278 * UNIVERSITE P.& M. CURIE - PARIS VI * E.S.P.C.I.

Version 3.00a - MULTIDETECTOR GPC SOFTWARE - revised 03/17/93 J.Lesec

P2	RESULTS	Thu 03 FEB 1994 22:27:42
Polystyrene # 1	RUN # 22 Inj # 2	CODE : INJ 89
DATE : Thu 03 FEB 1994	TIME : 18:12:35	Manual integration
Calibration # 1.004	Number of points: 307	Axial dispersion: NO
MOLECULAR WEIGHTS	UNIVERSAL	
Peak mol. wt Mp :	1256000	
Number aver. Mn :	1026000	
Viscos. aver. Mv :	2322000	
Weight averag. Mw :	2879000	
Z average Mz :	7570000	
Polydispersity :	2.81	
[n] (ml/g) :	45.11	
Log(K) (M-H) :	-2.198	
Alpha (M-H) :	.605	
REFRACTOMETER C/c : 1	Peak elution : 13.982	Baseline : .065861
Area constant : .9757	Conc. (g/ml) : .01252	dn/dc : 0
VISCOMETER Mn : 660000	Peak elution : 13.465	Baseline : .93548
[n]area (ml/g): 44.85	[n]peak(ml/g): 45.52	[n]exp (ml/g): 45.11



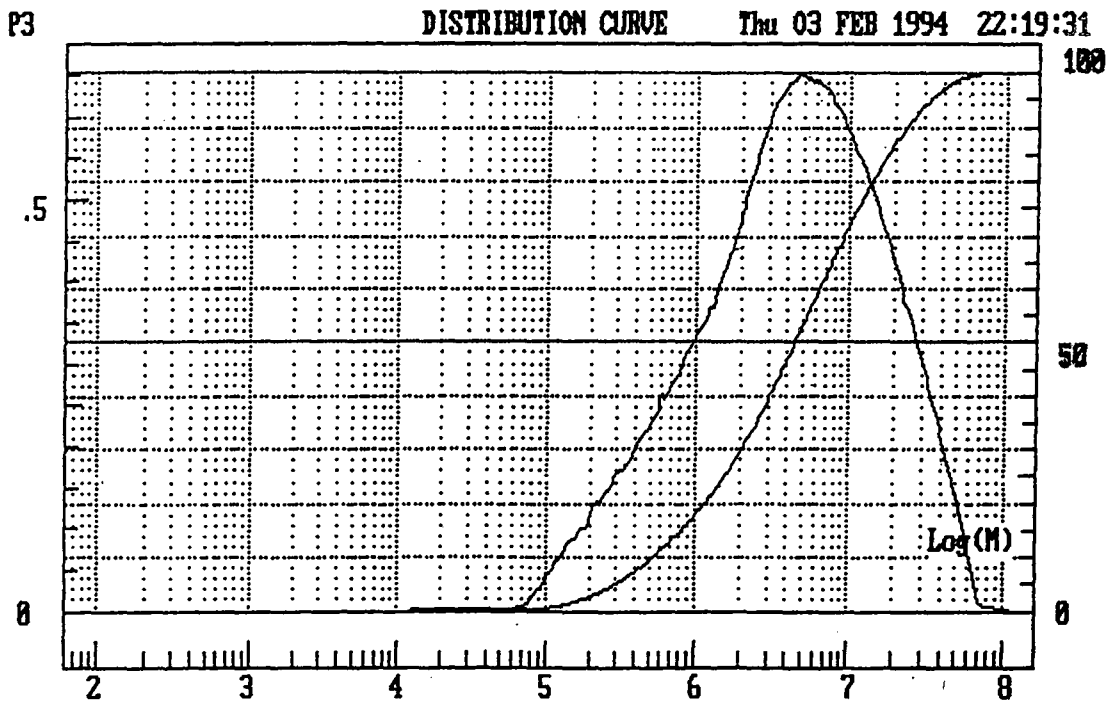
GPC Chromatogram

จากการตรวจวัดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามจำนวน (M_n) ที่แท้จริง
ของพอลิ(เมธิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล 1,000,000

CNRS URA 278 * UNIVERSITE P.& M. CURIE - PARIS VI * E.S.P.C.I.

Version 3.00a - MULTIDETECTOR GPC SOFTWARE - revised 03/17/93 J.Lesec

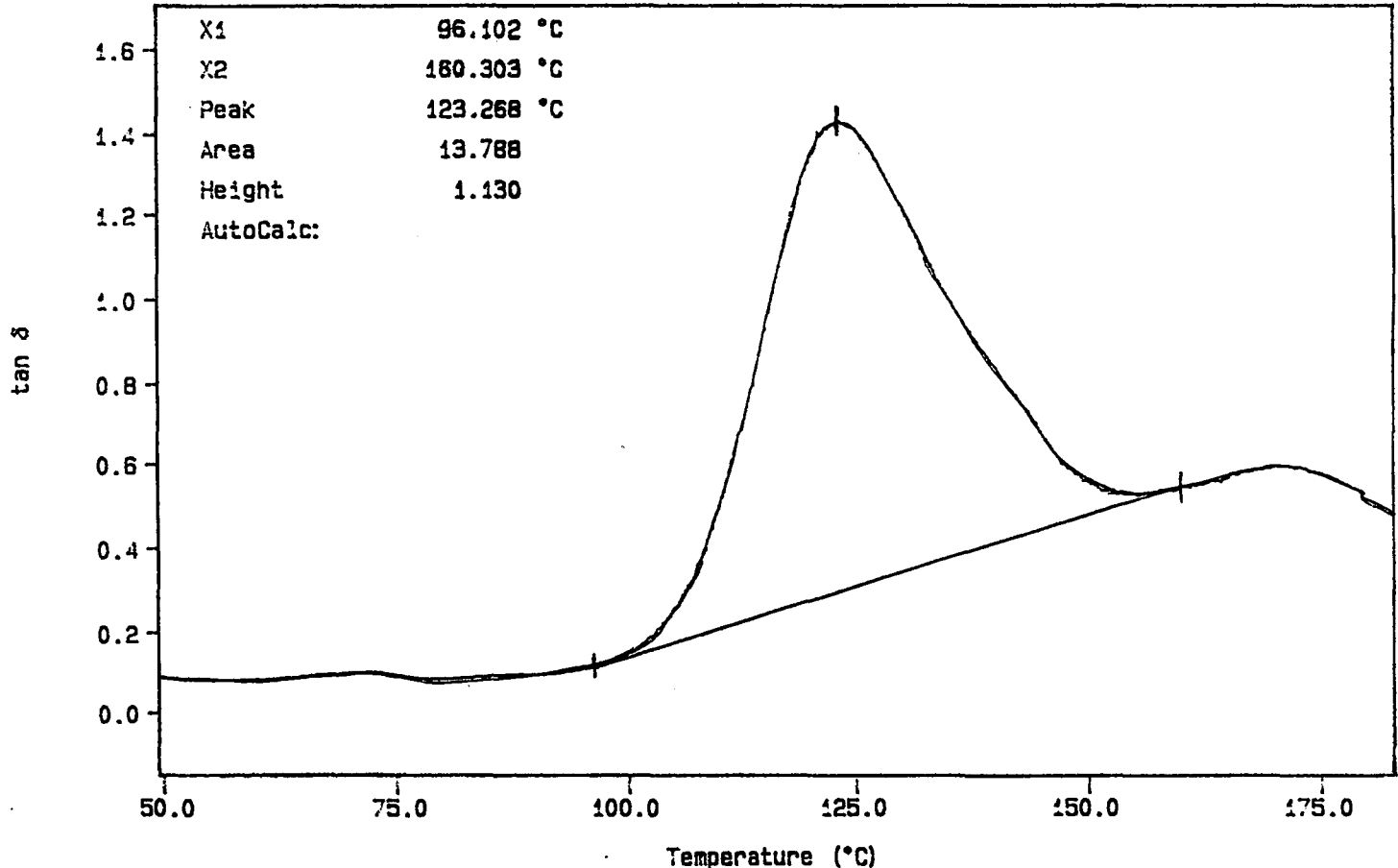
P3	RESULTS	Thu 03 FEB 1994 22:19:15
Polystyrene # 1	RUN # 22 Inj # 3	CODE : INJ 90
DATE : Thu 03 FEB 1994	TIME : 18:36:18	Manual integration
Calibration # 1.004	Number of points: 394	Axial dispersion: NO
MOLECULAR WEIGHTS	UNIVERSAL	
Peak mol. wt Mp :	4826000	
Number aver. Mn :	1317000	
Viscos. aver. Mv :	6353000	
Weight averag. Mw :	8654000	
Z average Mz :	2.267E+7	
Polydispersity :	6.57	
[η] (ml/g) :	52.97	
Log(K) (M-H) :	-2.032	
Alpha (M-H) :	.552	
REFRACTOMETER C/c : 1	Peak elution : 13.098	Baseline : .34436
Area constant : .9786	Conc. (g/ml) : .01001	dn/dc : 0
VISCOMETER Mn : 116700	Peak elution : 12.489	Baseline : .93682
[η]area (ml/g) : 53.22	[η]peak(ml/g) : 69.44	[η]exp (ml/g) : 52.97



GPC Chromatogram

จากการตรวจวัดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามจำนวน (M_n) ที่แท้จริง
ของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล 1,200,000

Curve 1: DMA Temp/Time Scan in Parallel Plate
 File info: pmm1 Thu Mar 3 12:30:49 1994
 Frequency: 1.00 Hz Dynamic Stress: 1.45e+04Pa
 PMMA 1 Static Stress: 1.60e+04Pa



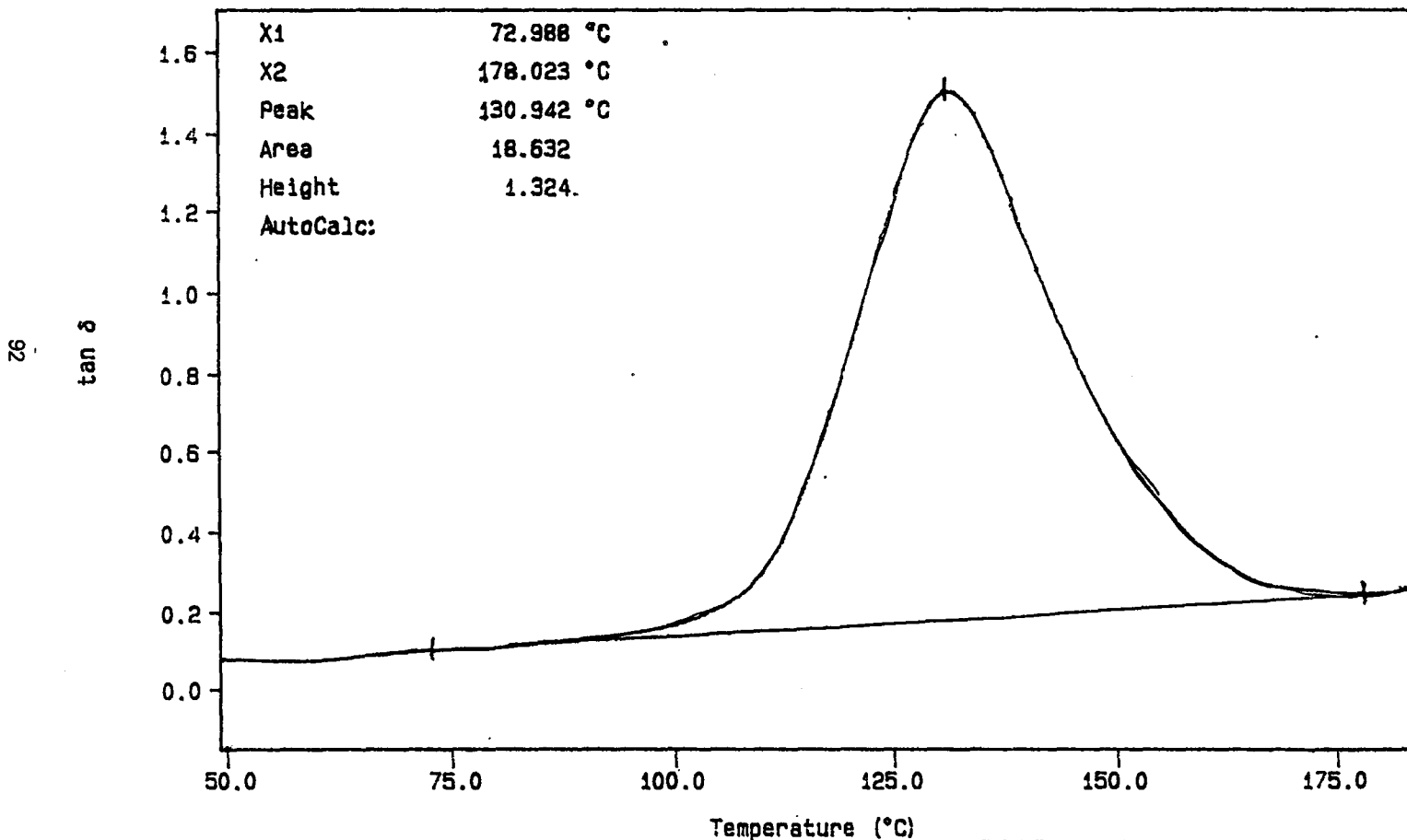
DMTA Thermogram
 เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว
 ของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์
 น้ำหนักโมเลกุล 100,000

91

TEMP1: 80.0 C TIME1: 0.0 min RATE1: 2.0 C/min
 TEMP2: 180.0 C

PERKIN-ELMER
 7 Series Thermal Analysis System
 Sat Mar 5 13:03:33 1994

Curve 1: DMA Temp/Time Scan in Parallel Plate
 File info: pmma3 Wed Mar 2 14:33:57 1994
 Frequency: 1.00 Hz Dynamic Stress: 1.45e+04Pa
 PMMA 3 Static Stress: 1.60e+04Pa

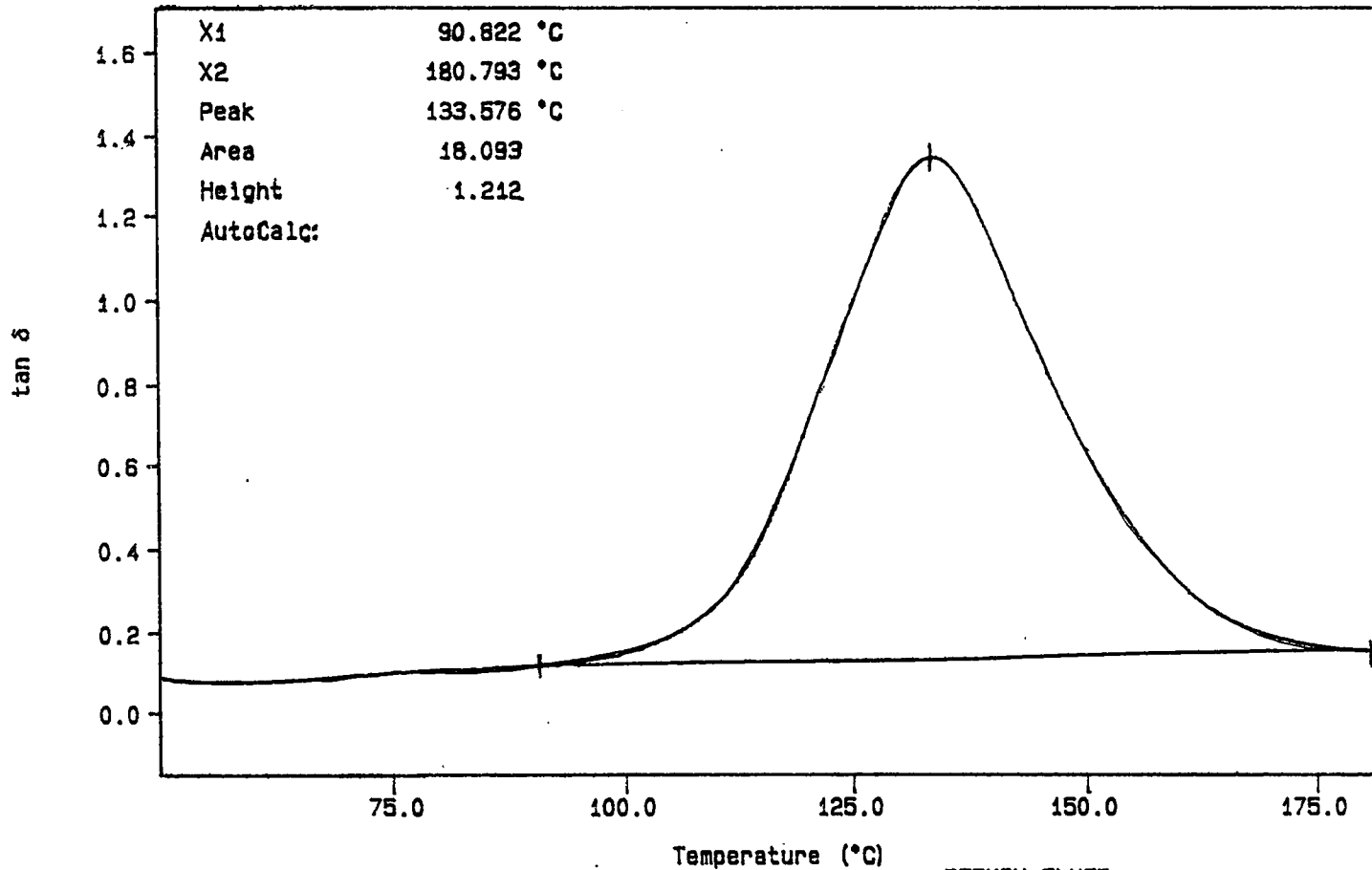


DMTA Thermogram
 เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว
 ของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์
 น้ำหนักโมเลกุล 300,000

TEMP: 50.0 C TIME: 0.0 min RATE: 2.0 C/min
 TEMPR: 188.0 C

PERKIN-ELMER
 7 Series Thermal Analysis System
 Sat Mar 5 13:08:53 1994

Curve 1: DMA Temp/Time Scan in Parallel Plate
 File info: pmma Wed Mar 2 16:20:29 1994
 Frequency: 1.00 Hz Dynamic Stress: 1.45e+04Pa
 PMMA Static Stress: 1.60e+04Pa

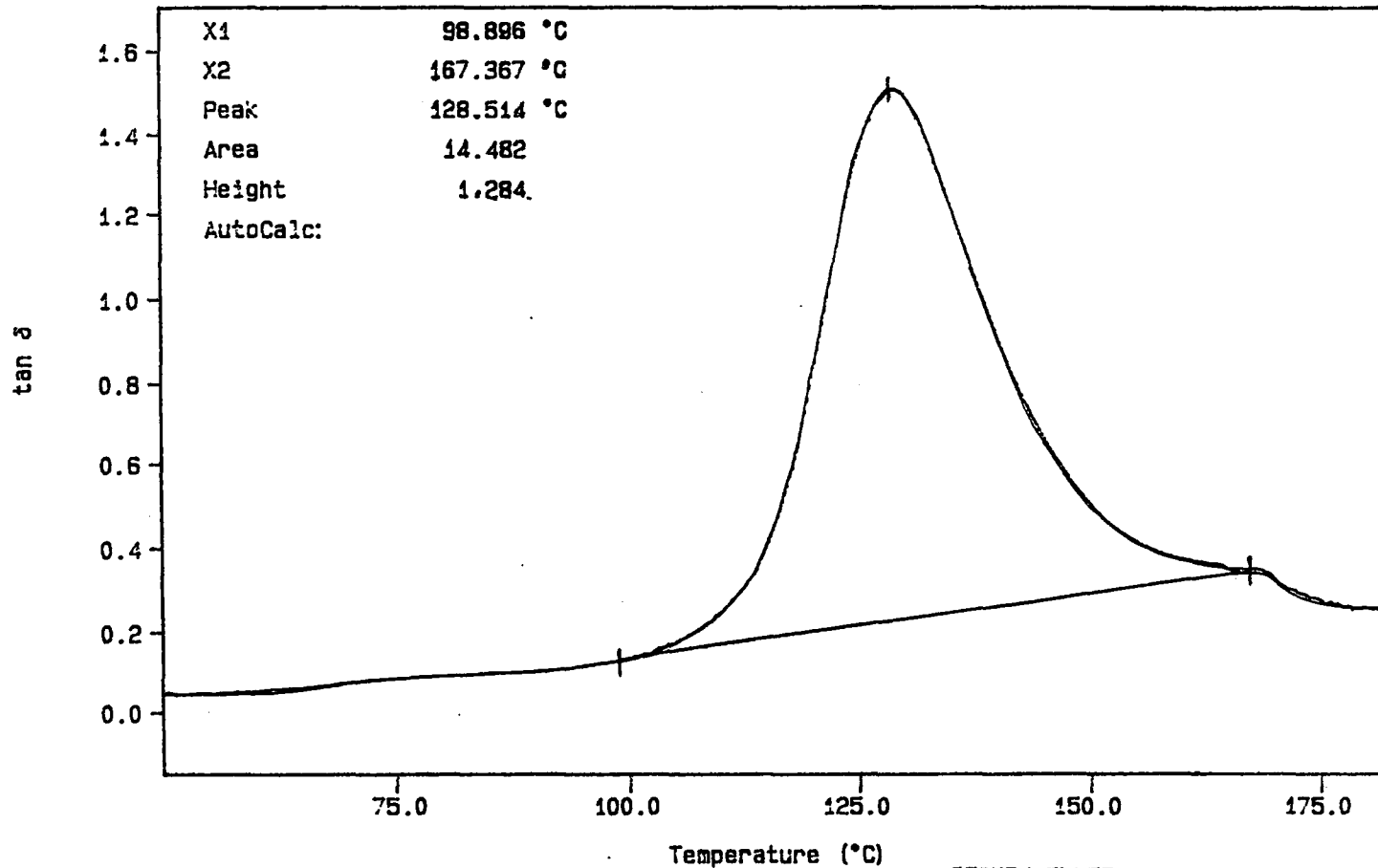


DMTA Thermogram
 เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว
 ของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)สังเคราะห์
 น้ำหนักโมเลกุล 700,000

TEMP1: 80.0 C TIME1: 0.0 min RATE1: 2.0 C/min
 TEMPE 188.0 C

PERKIN-ELMER
 7 Series Thermal Analysis System
 Sat Mar 5 12:57:43 1994

Curve 1: DMA Temp/Time Scan in Parallel Plate
 File info: compama Thu Mar 3 14:34:46 1994
 Frequency: 1.00 Hz Dynamic Stress: 1.45e+04Pa
 COMMERCIAL PMMA Static Stress: 1.60e+04Pa



DMTA Thermogram
 เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว
 ของพอลิ(เมทิล เมทาคริเลต)เชิงการค้า

94

TEMP1: 50.0 C TIME1: 0.0 min RATE1: 2.0 C/min PERKIN-ELMER
 TEMP2: 188.0 C 7 Series Thermal Analysis System
 Sat Mar 5 12:57:43 1994

บรรณานุกรม

1. Ernst Bonek, Bernhard Furch ,and Heinrich Otruba, **Optical Fiber Production**, United Nation Industrial Development Organization, p. 3 - 9 , 1985
2. Jeff Hecht, **Understanding Fiber Optics**, SAM Publishing, 1993.
3. อภินันท์ มัณยานนท์, การสื่อสารเส้นใยแสง, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 2532.
4. Ashpole R.S., Hall S.R., and Luker P.A., **Polymer Optical Fibres-A Case Study**,GEC Journal of Research, 8(1), p. 32 - 41, 1990.
5. Irvin I. Rubin, **Handbook of Plastic Materials and Technology**, John Wiley & Son, New York, 1990.
6. ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, เคมีโพลิเมอร์พื้นฐาน, โอเดียนสโตร์ม กรุงเทพมหานคร, 2527.
7. Emslie, C., **Review, Polymer Optical Fibres**, Journal of Materials Science, 23, p. 2281 - 2293, 1988.
8. Hall, N., **Polymer Spin into Optical Communications**, New Scientist, 2 June,1988.
9. F.W. Billmeyer, Jr., **Textbook of Polymer Science**, 2nd ed., Wiley-Interscience, New York, 1971.
10. J. Brandrup and E.H. Immergut, editors, **Polymer Handbook**, Interscience Publishers, New York, 1966.
11. Elisabeth Schroder, Gert Muller and Karl-Friedrich Arndt, **Polymer Characterization**, Hanser Publishers, New York, 1989.