พอลิเมอร์อินทรีย์ที่มีสมบัติทางแสงภายใต้สนามไฟฟ้า

นางสาวเกศินี วงศ์ถาวรพินิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-407-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17278185

Organic polymers with optical properties under electric field

Miss Kaesinee Wongthavornpinit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requriements
for the Degree of Master of Science
Programme of Biotechnology
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1996

ISBN 974-636-407-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พอลิเมอร์อินทรีย์ที่มีสมบัติทางแสงภายใต้สนามไฟฟ้า
โดย	นางสาวเกศินี วงศ์ถาวรพินิจ
สาขาวิชา	หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. เลอสรร ธนสุกาญจน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	-

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. เลอสรร ธนสุกาญจน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หรรษา ปุณณะพยัคฆ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

เกศินี วงศ์ถาวรพินิจ : พอลิเมอร์อินทรีย์ที่มีสมบัติทางแสงภายใต้สนามไฟฟ้า (ORGANIC POLYMERS WITH OPTICAL PROPERTIES UNDER ELECTRIC FIELD) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. เลอสรร ธนสุกาญจน์ ; 95 หน้า. ISBN 974-636-407-3

polyacrylamide gel ที่ cross - linked ทั้งแบบท่อนและเม็ด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.4 ถึง 8.0 μm) acrylamide acrylic acid copolymer Carbopol 940 gel และ polyacrylamide gel ที่มิได้ cross - linked รวมทั้ง พอลิเมอร์ ชีวภาพ ได้แก่ kappa - carrageenan sodium alginate และ gelatin ได้รับการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง เมื่อเปลี่ยนปัจจัยภายในได้แก่ ประจุไฟฟ้าในโครงสร้างของเจล และ ปัจจัยภายนอก ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงค่า dielectric constant ของตัวกลาง (D = 20.7 ถึง 68.6) การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด - ด่างของตัวกลาง (pH = 2.25 ถึง 6.25) และระดับความเข้มสนามไฟฟ้า (1.75 ถึง 13.5 v/cm) ที่ผ่านพอลิเมอร์นั้น พบว่า polyacrylamide gel มีลักษณะโปร่งใส ($A_{700} = 0$ และ $A_{400} = 0.03$) และสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามระดับความเข้มสนามไฟฟ้า ทำให้เกิดการรวมหรือ กระจายแสง ซึ่งเป็นสมบัติของเลนส์นูน และเลนส์เว้า ตามลำดับ โดยที่ทางยาวโฟกัสของพอลิเมอร์ เลนส์ เป็นฟังก์ชั่นของสนามไฟฟ้า (ทางยาวโฟกัส 58.8 เซนติเมตร ที่ 1.75 v/cm และ ทางยาวโฟกัส 13.6 เซนติเมตร ที่ 8.11 v/cm)

ภาควิชา - ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C626678 MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD: ORGANIC POLYMER / BIOPOLYMER / OPTICAL PROPERTIES / ELECTRIC FIELD / LENS

KAESINEE WONGTHAVORNPINIT : ORGANIC POLYMER WITH OPTICAL PROPERTIES UNDER ELECTRIC FIELD. THESIS ADVISOR : LERSON THANASUKARN, Ph . D. 95 pp.

ISBN 974-636-407-3

Some physical and optical properties of organic and biopolymer were studied by varying the internal factors (charges) and external factors [dielectric constant (20.7 - 68.6), pH (2.25 - 6.25), electric field (1.75 - 13.5 v/cm)] with the aim of developing a polymer lens whose focal length can be controlled by adjusting the electric field passing though the lens. Organic polymer were cross - linked polyacrylamide gel slab, cross - linked polyacrylamide gel microsphere (0.4 - 8.0 μm), acrylamide acrylic acid copolymer, Carbopol 940 gel and non cross - linked polyacrylamide gel. Biopolymer were kappa-carrageenan, sodium alginate and gelatin. Results showed that polyacrylamide gel was suitable for optical properties because it was transparent ($A_{700} = 0$ and $A_{400} = 0.03$) and its size and shape could easily be changed by varying the electric field though the gel. By focal length were function of electric field (58.8 cm at 1.75 v/cm and 13.6 cm at 8.11 v/cm)

ภาควิชา - ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Lerson Thanasukarn

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. เลอสรร ธนสุกาญจน์ เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นที่ปรึกษา ให้โอกาสในการเรียนรู้ คำแนะนำ ความเข้าใจ และกำลังใจ อันมีค่ายิ่งต่อข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ข้าพเจ้าได้ศึกษาอยู่ ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเทียร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หรรษา ปุณณะพยัคฆ์ ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการสอบ และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์

กราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกๆ ท่านในภาควิชาชีวเคมี ที่ได้ให้ความกรุณาชี้แนะ และให้คำปรึกษา

ขอบคุณบุคลากรทุกท่านในศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ ในการทำการวิจัยครั้งนี้

ขอบคุณพรรคพวก เพื่อนพ้อง และพี่ ๆ น้อง ๆ ทั้งหลายในภาควิชาชีวเคมี และเทคโนโลยีชีวภาพ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและความร่วมมือในด้านต่าง ๆ

ขอบคุณคุณสุวดี ขอไพบูลย์ คุณดุสิตา สุขจิว คุณปิยรัตน์ นาคโรจน์ คุณคุมากรณ์ อาภรณ์พัฒนพงษ์ และ คุณพรชัย ฉันทะธัมมะ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สละเวลา และให้ความร่วมมือในการพิมพ์วิทยานิพนธ์

ขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) สำหรับความอนุเคราะห์ด้านทุนวิจัย

และสุดท้ายนี้ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และพี่ ที่ได้ให้ความรัก ความเข้าใจ และเสียสละในหลาย ๆ ด้านแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญรูป.....ฌ
สารบัญแผนภูมิ.....ฐ
สารบัญตาราง.....ฒ
บทที่
1. บทนำ
1.1 พอลิเมอร์.....1
1.2 ตัวอย่างพอลิเมอร์.....4
1.3 ปัจจัยในการเปลี่ยนรูปทรง หรือ ปริมาตรของพอลิเมอร์.....10
1.4 การวิจัยในอดีตเกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปทรงหรือปริมาตรของพอลิเมอร์.....12
1.5 แสง.....13
1.6 โครงการวิจัย.....18
2. เคมีภัณฑ์ , เครื่องมือ และวิธีการทดลอง
2.1 เคมีภัณฑ์.....20
2.2 เครื่องมือ.....21
2.3 วิธีการทดลอง.....23
3. ผลการทดลอง
3.1 สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ต่าง ๆ ในสภาวะปกติ.....40
3.2 การเปลี่ยน acrylamide residue ไปเป็น acrylic acid residue ใน polyacrylamide gel.....43
3.3 สมบัติของพอลิเมอร์ต่าง ๆ เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าไดอิเลคตริคคอนสแตนท์ ต่างๆ กัน.....44
3.4 สมบัติของพอลิเมอร์แช่ในตัวกลางที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง ต่าง ๆ.....48
3.5 การวัดค่ากระแสไฟฟ้า (electric current).....50
3.6 ผลของสนามไฟฟ้าต่อการบวมตัว - ยุบตัวของพอลิเมอร์.....51

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.7 ผลของสนามไฟฟ้าต่อการเบนตัวของพอลิเมอร์.....58

3.8 สมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ที่มีการเบนตัว.....65

3.9 สมบัติทางแสงของแผ่น polyacrylamide gel ที่ทำหน้าที่เป็นเลนส์.....73

3.10 ลักษณะของเม็ด polyacrylamide gel 73

4. วิจารณ์ผลการทดลอง 82

4.1 พอลิเมอร์ที่เหมาะสมจะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ทางแสง..... 82

4.2 การเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าไดอิเลคตริคคอนสแตนท์ ต่างๆ กัน 83

4.3 การเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง ต่างๆ กัน 85

4.4 การเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ในสนามไฟฟ้า.....86

4.5 การทดสอบสมบัติการรวมหรือกระจายแสงของท่อนพอลิเมอร์ในสนามไฟฟ้า.....88

4.6 การทดลองสร้างพอลิเมอร์ที่ควบคุมทางยาวโฟกัสได้.....89

4.7 การทดลองทำเม็ด polyacrylamide gel.....89

5. สรุปผลการทดลอง.....91

รายการอ้างอิง.....92

ประวัติผู้เขียน.....95

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1. การจำแนกวัตถุพอลิเมอร์และการใช้งาน 3
2. โครงสร้างทางเคมีของ carbopol 4
3. โครงสร้างทางเคมี ของ carrageenan 9
4. โครงสร้างทางเคมี ของ algenic acid 9
5. ความคลาดเชิงรังสีและความคลาดเชิงหน้าคลื่น 15
6. ระนาบแทนเยนเชียล และระนาบซากิตต้า 16
7. ความคลาดทรงกลม 17
8. ภาชนะบรรจุท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้น หรือแผ่น kappa-carrageenan 33
9. ภาชนะบรรจุท่อน polyacrylamide gel ขนาดยาว หรือ แผ่น kappa-carrageenan 35
10. ภาพถ่ายของ mastersizer optical measurement unit 38
11. ภาพถ่ายของ viscometer.....38
12. ภาพถ่ายของ SD5 Stimulator Grass Instruments 39
13. ภาพถ่ายของ CHNS / Oanalyser 39
14. ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายแสงผ่านภาชนะพลาสติก 66
15. ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายแสงผ่านภาชนะพลาสติกใสที่มีท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้นที่ตรึงปลายข้างหนึ่ง 66
16. ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายแสงทางด้านขั้วบวกไปยังขั้วลบผ่านภาชนะพลาสติกใสที่มีท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้นที่ตรึงปลายข้างหนึ่งและมีการเบนตัว 67
17. ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายแสงทางด้านขั้วลบไปยังขั้วบวกผ่านภาชนะพลาสติกใสที่มีท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้นที่ตรึงปลายข้างหนึ่งและมีการเบนตัว 68
18. ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายแสงทางด้านขั้วบวกไปยังขั้วลบผ่านภาชนะพลาสติกใสที่มีท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้นที่ตรึงตรงกลางและมีการเบนตัว 69
19. ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายแสงทางด้านขั้วลบไปยังขั้วบวกผ่านภาชนะพลาสติกใสที่มีท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้นที่ตรึงตรงกลางและมีการเบนตัว 71
20. ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายทางด้านขั้วบวกไปยังขั้วลบผ่านภาชนะพลาสติกในที่มีท่อน polyacrylamide gel ขนาดยาวที่ตรึงปลายไว้ทั้ง 2 ด้านและมีการเบนตัว 72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

21. ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายทางด้านขั้วลบไปยังขั้วบวกผ่านภาชนะพลาสติกในที่มีท่อน polyacrylamide gel ขนาดยาวที่ตรึงปลายไว้ทั้ง 2 ด้านและมีการเบนตัว 73
22. ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ในน้ำมันขนาดกำลังขยาย 200 เท่า 74
23. ภาพ stage micrometer ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า 74
24. ภาพถ่ายจริงของเม็ด polyacrylamide gel ในน้ำขนาดกำลังขยาย 100 เท่า 75
25. ภาพ stage micrometer ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า 75
26. ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53%ในสารผสมอะซิโตน-น้ำ 20% เป็นเวลา 1 นาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า 76
27. ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53%ในสารผสมอะซิโตน-น้ำ 40% เป็นเวลา 1 นาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า 77
28. ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53%ในสารผสมอะซิโตน-น้ำ 60% เป็นเวลา 1 นาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า.....77
29. ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53%ในสารผสมอะซิโตน-น้ำ 80% เป็นเวลา 1 นาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า.....78
30. ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53%ในสารผสมอะซิโตน-น้ำ 100% เป็นเวลา 1 นาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า 78
31. ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53% ในสารละลาย บัฟเฟอร์ที่มีค่าpH 2.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมงนาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า 79
32. ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53% ในสารละลาย บัฟเฟอร์ที่มีค่าpH 3.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมงนาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า 80
33. ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53% ในสารละลาย บัฟเฟอร์ที่มีค่าpH 4.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมงนาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า 80
34. ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53% ในสารละลาย บัฟเฟอร์ที่มีค่าpH 5.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมงนาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า 81
35. ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53% ในสารละลาย บัฟเฟอร์ที่มีค่าpH 6.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมงนาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า 81

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ หน้า

1. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับ ค่าความขาวคลื่นของพอลิเมอร์ต่าง ๆ 40
2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความหนืด (viscosity) กับ ค่าความเข้มข้นของสารละลายผสมน้ำมันพืช-n-butylacetate 42
3. กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวน และ ปริมาตรของเม็ด polyacrylamide ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42
4. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของ amide group ที่ถูกเปลี่ยนเป็น carboxy group กับ เวลาที่แช่ polyacrylamide gel ไว้ใน 0.4 % TEMED 43
5. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วน การบวมตัว (swelling ratio) ของ cross-linked polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue ต่าง ๆ กับ ค่าความเข้มข้นของสารผสมตัวทำละลายอินทรีย์ กับ น้ำ 45
6. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ความหนาที่เปลี่ยนแปลงไป กับค่าความเข้มข้นของตัวทำละลาย ออร์แกนิก-น้ำ ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ 47
7. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการบวมตัว (swelling ratio) กับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ polyacrylamide gel 49
8. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย กับ ร้อยละของความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปของ kappa-carrageenan 50
9. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนการบวมตัว (swelling ratio) กับเวลาที่ใช้ในการขุบตัว ของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % 53
10. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความขาวที่เปลี่ยนแปลงไป กับ เวลาที่ใช้ในการขุบตัว ของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % 54
11. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาที่ใช้ในการขุบตัวของแผ่น kappa-carrageenan ขั้วบวกและลบ ที่แช่ในน้ำกลั่น 56
12. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความขาวที่เปลี่ยนแปลงไป กับเวลาที่ใช้ในการขุบตัว ของแผ่น kappa-carrageenan ที่ระดับสนามไฟฟ้า 8 v/cm 57
13. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่เปลี่ยนไปกับ เวลาที่ใช้ในการเบนตัว ของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic residue 21.5 % โดย ขั้วบวกและลบห่างจากกท่อน polyacrylamide gel 0.5เซนติเมตร 59

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่ หน้า

14. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่เปลี่ยนไป กับ เวลาที่ใช้ในการเบนตัว ของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % โดยขั้วบวกและลบห่างจากท่อน polyacrylamide gel 1.0 เซนติเมตร 60

15. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาที่ใช้ในการเบนตัว ของท่อน polyacrylamide get ที่มี acrylic acid residue 21.5 % แช่ในน้ำกลั่นโดยมีระยะห่าง ระหว่างท่อน polyacrylamide gel กับขั้วบวก-ลบ 0.5 เซนติเมตรและ 1.0 เซนติเมตร 61

16. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่เปลี่ยนไปกับ เวลาที่ใช้ในการเบนตัวของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % แช่ในสารผสมอะซิโตน-น้ำโดย มีระยะห่างระหว่างท่อน polyacrylamide gel กับขั้วบวก - ลบ 0.5 เซนติเมตร และ 1.0 เซนติเมตร 62

17. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่เปลี่ยนไปใน 6 นาที กับ ค่าสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการ เบนตัวของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % แช่ในน้ำ.....62

18. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่เปลี่ยนไปใน 6 นาที กับ ค่าสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการ เบนตัวของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % แช่ใน สารผสมอะซิโตน-น้ำ.....63

19. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทางยาวโฟกัส กับ ค่าสนามไฟฟ้าที่ใช้การเบนตัว ของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % แช่ในน้ำกลั่น เมื่อลำแสงห่างจากแกนมุขสำคัญ 0.4 และ 1.2 cm.....70

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. การคำนวณค่าคุณหภูมิที่เปลี่ยนไปที่ระดับความต่างศักดาต่าง ๆ.....51