

## บทที่ 3

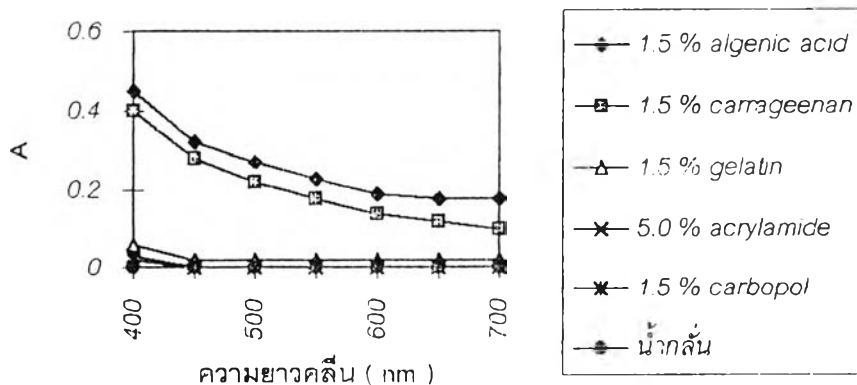
### ผลการทดลอง

#### 3.1 สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ต่างๆ ในสภาวะปกติ

ในการทดลองนี้เป็นการวัดสมบัติทางกายภาพ เช่น ความขุ่น ความใสของพอลิเมอร์ ชนิดต่างๆ (ข้อ 3.1.1-3.1.3) ที่น่าจะนำมาทำเป็นอุปกรณ์ทางแสงได้หรือไม่ และใช้ในการเปรียบเทียบระหว่าง พอลิเมอร์เริ่มต้นกับพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งจำนวนและขนาดของเม็ดพอลิเมอร์ที่เตรียมในสภาวะต่างๆ

##### 3.1.1 สมบัติทางกายภาพของ Carbopol และ polyacrylamide ที่มีได้ cross-linked

ในการทดลองนี้ได้ใช้ 1.5% Carbopol 940 gel จากข้อ 2.3.5.4 และ polyacrylamide gel ที่มีได้cross-link จากข้อ 2.3.5.3 พบว่า polyacrylamide gel ที่มีได้cross-link เตรียมที่ 1% 5% และ 10% พบว่าจะมีลักษณะใสและมีค่าความหนืด 1.373 281 และ 3011 cP ตามลำดับ ส่วน 1.5 % Carbopol 940 gel จะมีลักษณะใส มีค่าความหนืด 4122 cP และเนื้อ 1.5% Carbopol 940 gel จะมีลักษณะคล้าย เจลใส่ผสม คือจะไม่แข็งเป็นของแข็งแต่จะนุ่มและมีความยืดหยุ่นสูง และมีความโปร่งใสสูง ( มีค่า $A_{700} = 0$  และ  $A_{400} = 0.02$  ) (แผนภูมิที่ 1)



แผนภูมิที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการดูดกลืนแสง กับ ค่าความยาวคลื่นของพอลิเมอร์ต่างๆ

### 3.1.2 สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ ที่ cross-linked ชนิดท่อน

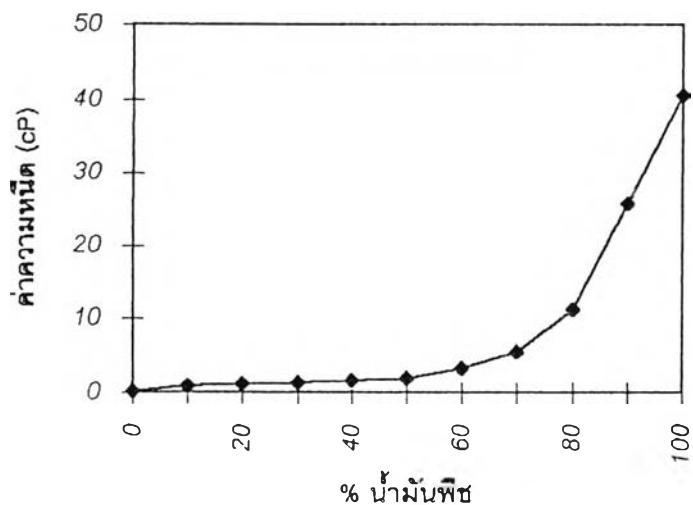
ในการทดลองนี้ได้ใช้ polyacrylamide gel ที่มี N,N'-methylene-bis-acrylamide เป็นตัว cross-link จากข้อ 2.3.5.1 พบว่า 5% polyacrylamide gel มีลักษณะความโปร่งใสสูง ( มีค่า  $A_{700} = 0$  และ  $A_{400} = 0.03$  ) นิ่ม และ ผิวหน้าของ polyacrylamide gel จะลื่น หรือเป็นเมือก

### 3.1.3 สมบัติทางกายภาพของ kappa-carrageenan sodium alginate และ gelatin

ในการทดลองนี้ได้ใช้ kappa-carrageenan จากข้อ 2.3.5.5 เตรียมที่ระดับความเข้มข้น 1.5% 2.0% 2.5% 3.0% 3.5% และ 4.0% พบว่า kappa-carrageenan ที่ระดับความเข้มข้น 1.5% จะมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น ( มีค่า  $A_{700} = 0.10$  และ  $A_{400} = 0.40$  ) และแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง ส่วน sodium alginate เตรียมที่ระดับความเข้มข้น 1.5% จะมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น ( มีค่า  $A_{700} = 0.18$  และ  $A_{400} = 0.45$  ) และไม่แข็งตัว ส่วน gelatin เตรียมที่ระดับความเข้มข้น 1.5% จะมีลักษณะเป็นสีเหลืองใส ( มีค่า  $A_{700} = 0.02$  และ  $A_{400} = 0.06$  ) และไม่แข็งตัว

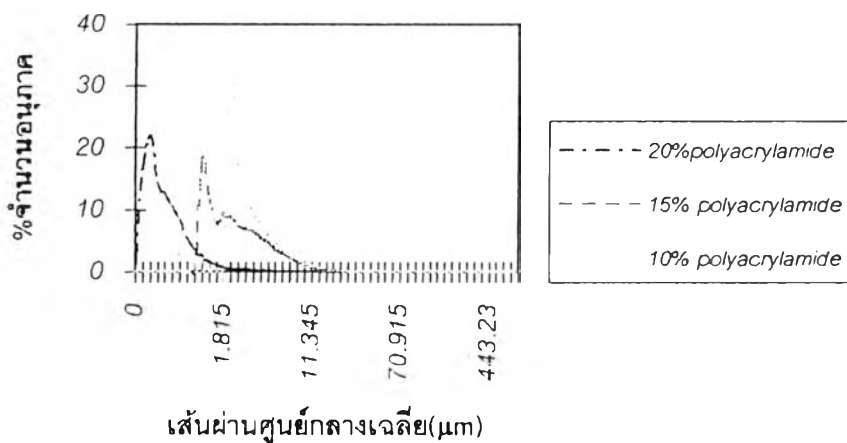
### 3.1.4 สมบัติทางกายภาพของ cross-linked polyacrylamide ชนิดเม็ด

ในการทดลองนี้ใช้ polyacrylamide gel ที่มี N,N'-methylene-bis-acrylamide เป็นตัว cross-link โดยพบว่า polyacrylamide gel ชนิดเม็ดจากข้อ 2.3.5.2 พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของ polyacrylamide gel 5% 10% 15% และ 20% เมื่อนำมาปั่นกับสารผสมน้ำมันพืชกับ n-butyl acetate และน้ำมันพืช ที่อัตราส่วนความหนืดต่างๆกัน (แผนภูมิที่ 2) และความเร็วรอบ 300 600 900 และ 1200 รอบ / นาที พบว่า 20% polyacrylamide gel ที่ปั่นด้วยความเร็ว 1200 รอบ / นาที ในน้ำมันพืชจะมีขนาดเล็กมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นอื่น เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่อง mastersizer optical measurement unit (แผนภูมิที่ 2) โดยที่ระดับความเข้มข้น 20% polyacrylamide gel จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ  $0.390 \mu\text{m}$  จำนวน 21.61% ที่ระดับความเข้มข้น 15% polyacrylamide gel จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ  $1.150 \mu\text{m}$  จำนวน 18.18% และที่ระดับความเข้มข้น 10% polyacrylamide gel จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ  $2.115 \mu\text{m}$  จำนวน 30.82%



แผนภูมิที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความหนืด(viscosity)กับ ค่าความเข้มข้นของสารผสมน้ำมันพืช - n-butyl acetate

วัด ค่าความหนืด(viscosity) ด้วยเครื่อง viscometer จาก HAAKE โคโซโซ หัววัดแบบ NV ซึ่ง ค่าความหนืด(viscosity) มีค่าเท่ากับ shear stress / share rate จะมีหน่วยเป็น cP โดยการคำนวณของเครื่อง viscometer



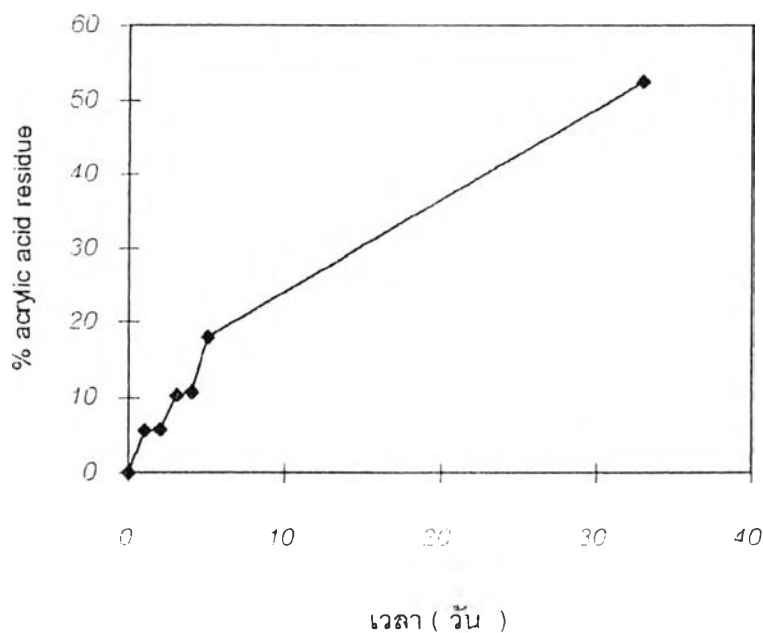
แผนภูมิที่ 3 กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวน และ ปริมาตรของเม็ด polyacrylamide gel ตามขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง

ค่าการกระจายตัวที่ได้คำนวณจากการนำ %volume /  $4/3\pi r^3$  = จำนวนอนุภาคของแต่ละอนุภาค และนำจำนวนอนุภาคของแต่ละอนุภาค / จำนวนอนุภาคทั้งหมด x 100 จะให้เป็นอนุภาคของแต่ละอนุภาคในตัวอย่างนั้น วัด %volume โคโซโซเครื่อง mastersizer optical measurement unit

### 3.2 การเปลี่ยน acrylamide residue ไปเป็น acrylic acid residue ใน polyacrylamide gel

acrylamide residue ใน polyacrylamide gel ได้รับการเปลี่ยนไปเป็น acrylic acid residue เพื่อให้เจลพองตัวเมื่อเริ่มการทดลอง จะได้ศึกษาความแตกต่างเชิงปริมาณของการบวมตัว - ขุบตัวได้ง่าย การสร้างประจุในเนื้อเจล ทำโดยใช้ basic hydrolysis เปลี่ยน acrylamide residue ไปเป็น acrylic acid residue ( $\text{COOH} \leftrightarrow \text{COO}^-$ ) ผลพลอยได้คือ ทำให้พอลิเมอร์เกิดความไวต่อ pH ด้วย

การสร้าง acrylic acid residue ของ polyacrylamide gel ตามข้อ 2.3.8 มีผลให้ ร้อยละของ ไนโตรเจนในโครงสร้างลดลงตามระยะเวลาที่แช่ polyacrylamide gel ใน 0.4% TEMED pH 12.0 คิดเป็นร้อยละของ acrylamide residue ที่ถูกเปลี่ยนเป็น acrylic acid residue ดังนี้ (แผนภูมิที่ 4)



แผนภูมิที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของ amide group ที่ถูกเปลี่ยนเป็น carboxyl group กับเวลาที่แช่ polyacrylamide gel ไว้ ใน 0.4% TEMED

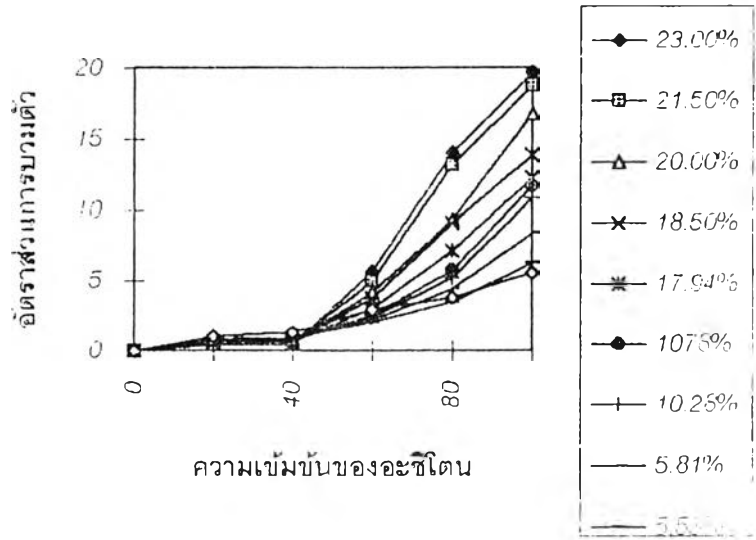
ทำโดยนำ polyacrylamide gel ที่แช่ 0.4% TEMED pH 12.0 ในระยะเวลาต่างๆกัน มาวัด% ไนโตรเจนที่เปลี่ยนแปรไป ซึ่งคำนวณได้จาก % ไนโตรเจนของ acrylamide ที่เปลี่ยนแปลงไปภายในโครงสร้าง

### 3.3 สมบัติของพอลิเมอร์ต่างๆ เมื่อแช่ในตัวอย่างที่มีค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนต์ต่างๆกัน

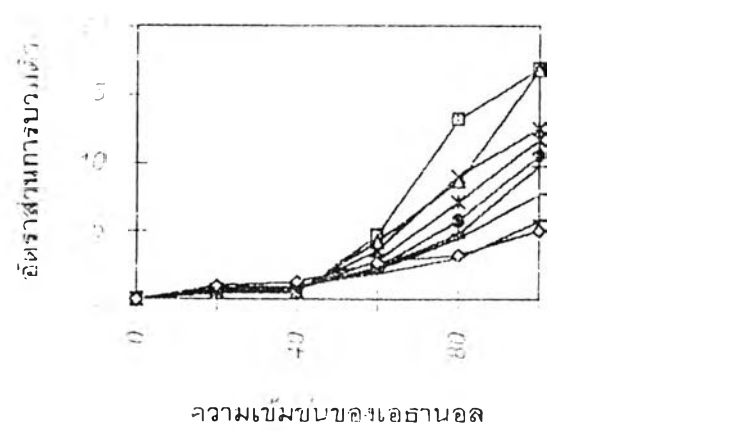
การทดลองกลุ่มนี้เป็นการศึกษาพื้นฐานการควบคุมการบวม - ยุบตัวของพอลิเมอร์ (Tanaka, 1978) โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงปัจจัยภายนอก ได้แก่ การนำไปแช่ในตัวอย่างที่มีค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนต์ต่างๆกัน

#### 3.3.1 สมบัติของท่อน polyacrylamide gel เมื่อแช่ในตัวอย่างที่มีค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนต์ ต่างๆกัน

เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวทำละลาย ออร์แกนิก - น้ำ พบว่า ท่อน polyacrylamide gel จากข้อ 2.3.5.1 ที่มีการ cross - linked และมี acrylic acid residue 0% พบว่า polyacrylamide gel แบบท่อนหน้าตัดกลม จะเกิดการยุบตัวตั้งแต่เล็กน้อย เมื่อนำมาเปลี่ยนค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนต์ที่ระดับความเข้มข้นของตัวทำละลาย ออร์แกนิก - น้ำ 20% จนถึงยุบตัวมากที่ระดับความเข้มข้นของตัวทำละลาย ออร์แกนิก - น้ำ 100% แต่ polyacrylamide gel แบบท่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก acrylamide residue บางส่วนไปเป็น acrylic acid residue ตั้งแต่ 5.53 - 23.0% เป็นเวลา 1 วัน ถึง 9 วัน พบว่า polyacrylamide gel แบบท่อนหน้าตัดกลม เมื่อนำมาเปลี่ยนค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนต์ที่ระดับความเข้มข้นของตัวทำละลาย ออร์แกนิก - น้ำ 20% และ 40% พบว่า polyacrylamide gel แบบท่อนจะเกิดการบวมตัว แต่เมื่อนำมาเปลี่ยนค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนต์ที่ระดับความเข้มข้นของตัวทำละลาย ออร์แกนิก 60% 80% และ 100% พบว่า polyacrylamide gel ทั้งสองชนิดจะเกิดการยุบตัวมาก-น้อย ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของตัวทำละลายออร์แกนิก - น้ำ ที่เพิ่มขึ้น ( แผนภูมิที่ 5)



( ก )



( ข )

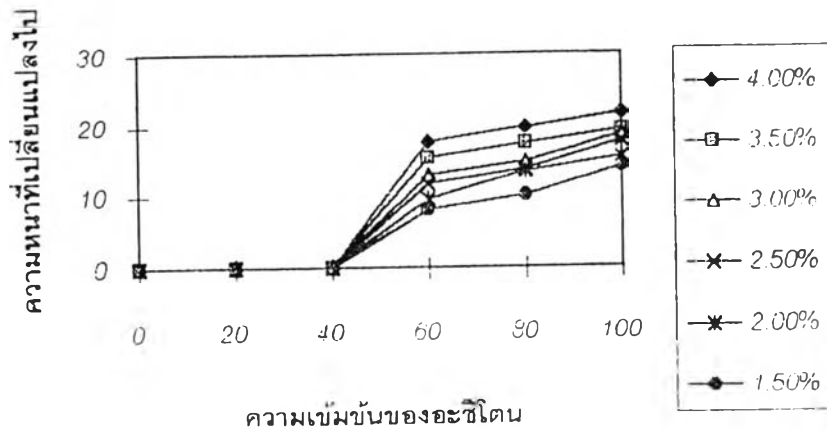
แผนภูมิที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง อัตราส่วนการบวมตัว\* (swelling ratio) ของ cross - linked polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue ต่างๆ กับ ค่าความเข้มข้น ของสารผสมตัวทำละลายอินทรีย์ กับ น้ำ

ในกรณีที่ ( ก ) ตัวทำละลายอินทรีย์ เป็น อะซิโตน ( ข ) ตัวทำละลายอินทรีย์ เป็น เอธานอล  
ทดลอง โดย นำ polyacrylamide gel ที่ มี acrylic acid residue ต่างๆ แช่ใน ตัวทำละลาย ออร์แกนิก - น้ำ (อะซิโตน - น้ำ และ เอธานอล - น้ำ) เป็นเวลา ๑ ชั่วโมง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเจลเริ่มต้น และสุดท้าย ที่เปลี่ยนแปลงไป นำไปคำนวณหาอัตราส่วนการบวมตัว เห็นกราฟแต่ละเส้น เป็นค่า acrylic acid residue ของ polyacrylamide gel

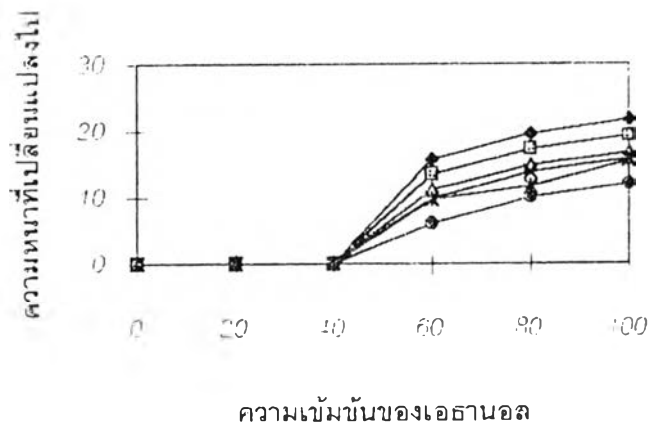
\* อัตราส่วนการบวมตัว ( swelling ratio ) มีค่าเท่ากับ  $\rho^* / \rho$  มีค่าเท่ากับ  $(d / d^*)^3$  โดย d และ d\* คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเจลเริ่มต้น และสุดท้ายตามลำดับ ถ้า  $(d / d^*)^3 > 1.0$  แสดงว่า เจลบวมตัว  $(d / d^*)^3 < 1.0$  แสดงว่า เจลบวมตัว

### 3.3.2 สมบัติของของแผ่น kappa-carrageenanเมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนต์ ต่างๆกัน

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวทำละลาย ออร์แกนิก - น้ำพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของ kappa-carrageenan 1.5% 2.0% 2.5% 3.0% 3.5% และ 4.0% เมื่อนำมาเปลี่ยนค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนต์ที่ระดับความเข้มข้นของตัวทำละลาย ออร์แกนิก - น้ำ 20% และ 40% พบว่า kappa-carrageenan 1.5% 2.0% 2.5% 3.0% 3.5% และ 4.0% ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ แต่เมื่อนำมาเปลี่ยนค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนต์ที่ระดับความเข้มข้นของตัวทำละลาย ออร์แกนิก - น้ำ 60% 80% และ 100% พบว่า kappa-carrageenan 1.5% 2.0% 2.5% 3.0% 3.5% และ 4.0% จะมีการขูดตัวเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ kappa-carrageenan และตัวทำละลาย ออร์แกนิก - น้ำ ที่เพิ่มมากขึ้น (แผนภูมิที่ 6)



( ก )



( ข )

แผนภูมิที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง ความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปของ kappa - carrageenan กับค่าความเข้มข้นของตัวทำละลาย ออร์แกนิก - น้ำ ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ในกรณี ( ก ) ตัวทำละลายอินทรีย์ เป็น อะซิโตน ( ข ) ตัวทำละลายอินทรีย์ เป็น เอธานอล

ทดลองโดย นำ kappa - carrageenan ที่ระดับความเข้มข้น 4.0 3.5 3.0 2.5 2.0 และ 1.5 % แช่ในตัวทำละลาย ออร์แกนิก - น้ำ (อะซิโตน - น้ำ และ เอธานอล - น้ำ) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัด ความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไป มีค่าเท่ากับ ความหนืดเริ่มต้น / ความหนืดสุดท้าย เส้นกราฟแต่ละเส้น เป็นค่าความเข้มข้น 4.0 3.5 3.0 2.5 2.0 และ 1.5 % ของ kappa - carrageenan ตามลำดับ



### 3.3.3 สมบัติของ polyacrylamide gel ที่มีได้ cross - linked และ 1.5% Carbopol เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนท์ ต่างๆกัน

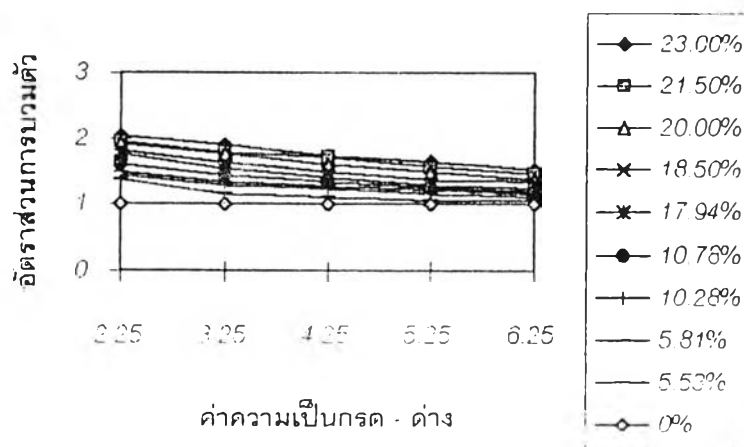
พบว่า 1% 5% และ 10% polyacrylamide ที่มีได้ cross - linked จากข้อ 2.3.5.3 และ 1.5% Carbopol จากข้อ 2.3.5.4 ไม่สามารถวัดอัตราส่วนการบวมตัว ( swelling ratio ) และการดูดตัวออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้เพียง แต่สังเกตลักษณะภายนอกที่เปลี่ยนแปลงไปคือ เมื่อนำมาเปลี่ยนค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนท์ที่ระดับความเข้มข้นของตัวทำละลาย ออร์แกนิก - น้ำ 60% 80% และ 100% พบว่า เนื้อของ 1 %, 5% และ 10% polyacrylamide ที่มีได้ cross - linked และ 1.5% Carbopol จะมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย ในบริเวณที่ติดกับ dialysis tubing

### 3.4 สมบัติของพอลิเมอร์ต่างๆ เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆกัน

การทดลองกลุ่มนี้เป็นการศึกษาพื้นฐานการควบคุมการบวม - ยุบตัวของพอลิเมอร์ (Tanaka, 1978) โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงปัจจัยภายนอก "ได้แก่ การนำไปแช่ในตัวกลางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆกัน

#### 3.4.1 สมบัติของท่อน polyacrylamide gel เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆกัน

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็น กรด-ด่างที่ระดับ 2.25 3.25 4.25 5.25 และ 6.25 พบว่าเมื่อนำท่อน polyacrylamide gel แบบท่อนหน้าตัดกลมและมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตร และมี acrylic acid residue 21.5% มาแช่เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายบัฟเฟอร์เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.25 3.25 4.25 5.25 และ 6.25 พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ polyacrylamide gel แบบท่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก acrylamide residue บางส่วนไปเป็น acrylic acid residue ตั้งแต่ 5.53 - 23.0% เป็นเวลา 1 วัน ถึง 9 วัน พบว่า polyacrylamide gel แบบท่อนหน้าตัดกลม เมื่อนำมาแช่ เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายบัฟเฟอร์ เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ทั้ง 5 ค่า polyacrylamide gel แบบท่อนหน้าตัดกลม จะเกิดการดูดตัว ( แผนภูมิที่ 7 ) โดยที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.25 จะดูดตัวมากที่สุด และที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.25 จะดูดตัวน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่าความเป็นกรด-ด่างทั้ง 5 ค่า

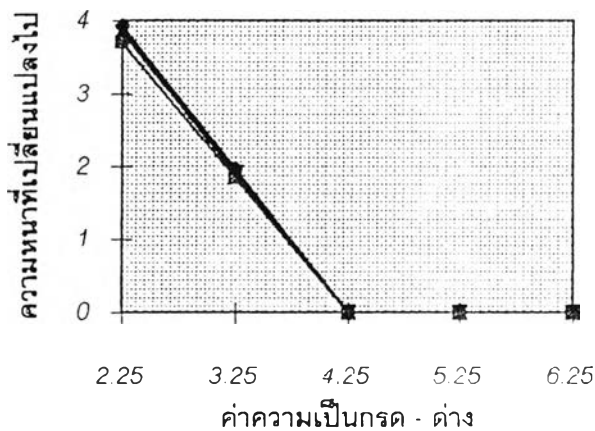


แผนภูมิที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างอัตราส่วนการบวมตัว (swelling ratio) กับ ค่าความเป็นกรด-ต่างที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ polyacrylamide gel

ทดลองโดย นำ polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue ต่างๆ แซ่ในสารละลายบัฟเฟอร์ ที่มีค่าความเป็นกรด-ต่างที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเจลเริ่มต้น และสุดท้ายที่เปลี่ยนแปลงไป นำไปคำนวณหาอัตราส่วนการบวมตัว เห็นกราฟแต่ละเส้น เป็นค่า acrylic acid residue ของ polyacrylamide gel

### 3.4.2 สมบัติของ kappa - carrageenan เมื่อแซ่ในตัวอย่างที่มีค่าความเป็นกรด-ต่างต่างๆกัน

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ต่างของสารละลายบัฟเฟอร์ ที่ระดับ 2.25 3.25 4.25 5.25 และ 6.25 ของ kappa-carrageenan ที่ระดับความเข้มข้น 1.5% 2.0% 2.5% 3.0% 3.5% และ 4.0% พบว่า ที่ค่าความเป็นกรด-ต่างที่ระดับ 2.25 และ 3.25 kappa-carrageenan ทั้ง 5 ระดับความเข้มข้น จะเกิดการขุดตัว โดย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ต่างของสารละลายบัฟเฟอร์ ที่ค่าความเป็นกรด-ต่าง 2.25 จะขุดตัวมากกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ต่าง 3.25 แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ต่างของสารละลายบัฟเฟอร์ ที่ค่าความเป็นกรด-ต่าง 4.25 5.25 และ 6.25 จะไม่มีการบวม หรือ ขุดตัว ( แผนภูมิที่ 8 )



แผนภูมิที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย กับ ความหนาที่เปลี่ยนแปลงไป ของ kappa - carrageenan

ทดลองโดย นำ kappa - carrageenan ที่ระดับความเข้มข้น 4.0 3.5 3.0 2.5 2.0 และ 1.5 % เซ็นในสารละลายบัฟเฟอร์ ที่มีค่า ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัด ความหนาที่เปลี่ยนแปลงไป มีค่าเท่ากับ ความหนาเริ่ม ต้น /ความหนาสุดท้าย เส้นกราฟเส้นละเส้น เป็นค่าความเข้มข้น 4.0 3.5 3.0 2.5 2.0 และ 1.5 % ของ kappa - carrageenan ตามลำดับ

### 3.4.3 สมบัติของ polyacrylamide ที่มีได้ cross - linked และ 1.5% Carbopol เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆกัน

พบว่า 1% 5% และ 10% polyacrylamide ที่มีได้ cross - linked จากข้อ 2.3.5.3 และ 1.5% Carbopol จากข้อ 2.3.5.4 ไม่สามารถวัดอัตราส่วนการบวมตัว ( swelling ratio ) และการยุบตัวออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้

## 3.5 การวัดค่ากระแสไฟฟ้า (electric current)

การนำพอลิเมอร์ไปใช้เป็นอุปกรณ์ทางแสงนั้น ต้องผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในตัวกลาง สิ่งที่ต้องระวังคือ ความร้อนที่จะเกิดขึ้น จะเพิ่มอุณหภูมิของพอลิเมอร์ซึ่งอาจทำให้สมบัติของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไป จึงต้องมีการคำนวณค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยการวัดค่ากระแสไฟฟ้าซึ่งจะบอกถึงพลังงานที่ผ่านเข้าไปในระบบนี้ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

### 3.5.1 การวัดค่ากระแสไฟฟ้า (electric current) ที่ระดับความต่างศักย์ต่างๆในระบบ

พบว่าถ้าตัวต้านทาน คือ ท่อน polyacrylamide gel ที่แช่อยู่ในน้ำกลั่นที่ระดับความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts มีค่ากระแสเท่ากับ 0.18 0.34 0.56 0.93 และ 1.16 mA ตามลำดับ แต่ถ้าวัดตัวต้านทาน คือ ท่อน polyacrylamide gel ที่แช่อยู่ใน 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ ที่ระดับความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts มีค่ากระแสเท่ากับ 0.08 0.18 0.27 0.38 และ 0.54 mA ตามลำดับ

### 3.5.2 การคำนวณค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า

จากการคำนวณค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ในข้อ 2.3.11จะมีค่าดัง ตารางที่ 1

ตัวต้านทาน	ความต่างศักย์ (volts)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ( $^{\circ}K/hr$ )
น้ำกลั่น	5	0.11
	10	0.41
	15	1.02
	20	2.26
	25	3.25
50% สารผสมอะซิโตน - น้ำ	5	0.05
	10	0.22
	15	0.49
	20	0.92
	25	1.62

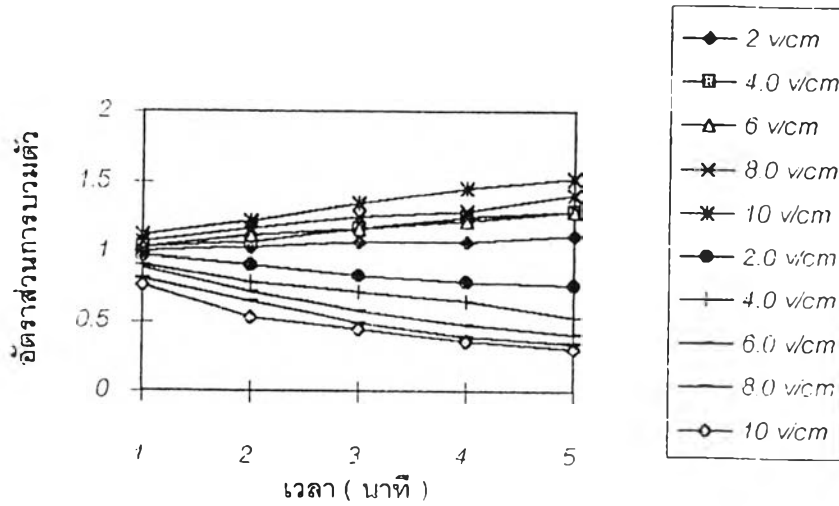
ตารางที่ 1 การคำนวณค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ที่ระดับความต่างศักย์ต่างๆ

### 3.6 ผลของสนามไฟฟ้าต่อการบวม-ยุบตัวของพอลิเมอร์

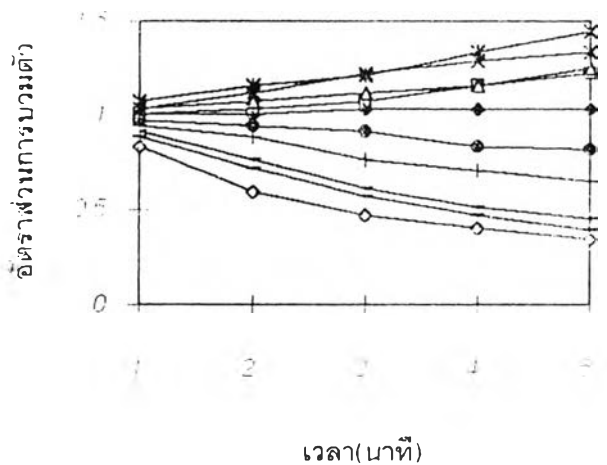
สนามไฟฟ้าเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการบวม-ยุบตัวของพอลิเมอร์ (Tanaka, 1982) ในการสร้างอุปกรณ์ทางแสงสนามไฟฟ้า อาจจะเป็นตัวแปรที่ผู้ใช้เปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง และ ค่าไดอิเล็กตริก กอนสแตนต์ของตัวกลาง

### 3.6.1 ผลของสนามไฟฟ้าต่อสมบัติของท่อน polyacrylamide gel ที่มีหน้าตัดกลมเมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

พบว่า ท่อน polyacrylamide gel ที่แช่อยู่ในน้ำกลั่น หรือ 50 % สารผสม อะซิโตน-น้ำ เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านน้ำกลั่น ที่ความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ท่อน polyacrylamide gel ที่มี electrode ขั้วลบจะมีการขยุ้มตัว ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยลง แต่ทางด้าน electrode ขั้วบวกจะมีการบวมตัว ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางมากขึ้น (แผนภูมิที่ 9 ) จึงมีผลทำให้ความยาวรวมของท่อน polyacrylamide gel เพิ่มขึ้น (แผนภูมิที่ 10 ) หรือ 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำที่ความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ท่อน polyacrylamide gel ที่มี electrode ขั้วลบจะมีการขยุ้มตัว แต่ทางด้าน electrode ขั้วบวกจะมีการบวมตัว ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางมากขึ้น (แผนภูมิที่ 9 ) จึงมีผลทำให้ความยาวรวมของท่อน (แผนภูมิที่ 10 ) เช่นเดียวกับที่แช่ในน้ำกลั่น โดย ท่อน polyacrylamide gel ที่ 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ จะบวมตัวทางด้านขั้วบวก และขยุ้มตัวทางด้านขั้วลบน้อยกว่าที่แช่ในน้ำกลั่น



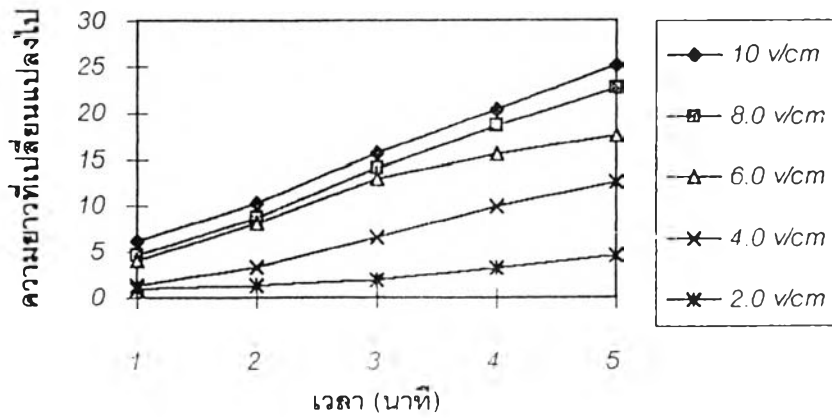
( ก )



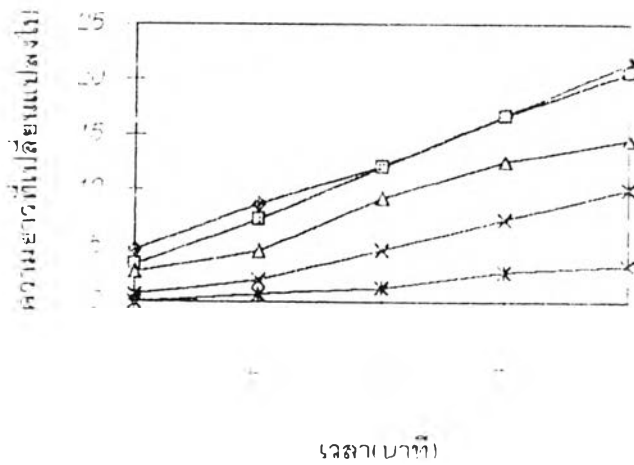
( ข )

แผนภูมิที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนการบวมตัว ( swelling ratio) กับ เวลาที่ใช้ในการชุบตัว ของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5% โดยให้ความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ

ในกรณีที่ ( ก ) ที่แช่ในน้ำกลั่น ( ข ) ที่แช่ใน 50 % สารผสมอะซิโตน - น้ำทดลองโดย นำ polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % ค้างมาวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเจลเริ่มต้นและนำไปใส่ในราา gel ที่มี น้ำกลั่น หรือ 50 % สารผสมอะซิโตน - น้ำให้ความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับเป็นเวลา 1 2 3 4 และ 5 นาที วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเจลสุดท้ายทางคั่น electrode ขั้วลบและบวก ที่เปลี่ยนแปลงไป นำไปคำนวณหาค่าอัตราส่วนการบวมตัว เส้นกราฟเส้น 5 เส้นด้านบน แสดงถึงค่าอัตราส่วนการบวมตัวของ electrode ขั้วลบ และตัว เส้นกราฟเส้น 5 เส้นด้านล่าง แสดงถึงค่าอัตราส่วนการบวมตัวของ electrode ขั้วบวก ที่ระดับที่ค่าสนามไฟฟ้า 2 4 6 8 และ 10v/cm ของ polyacrylamide gel (สนามไฟฟ้า = ความต่างศักย์ / ระยะห่างระหว่างขั้ว electrode ทั้งสอง)



( ก )



( ข )

แผนภูมิที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปกับ เวลาที่ใช้ในทางขั้วของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % โดยให้ ความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ

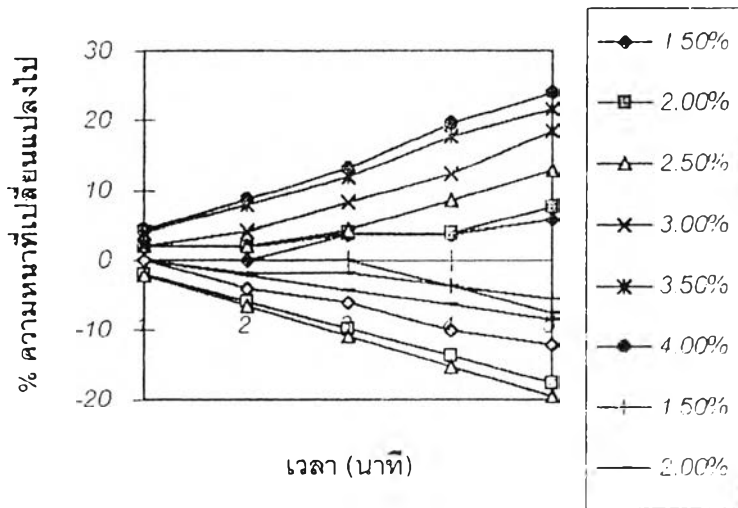
ในกรณีที่ ( ก ) ที่ใช้ในน้ำกลั่น ( ข ) ที่ใช้ใน อะซิโตน - น้ำ

ทดลอง โขง น้ำ polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % ต่างๆ มาวัดความยาวของเจลเริ่มต้น และนำไปในวาง gel ที่มี น้ำกลั่น หรือ 50 % สารแอมอะซิโตน - น้ำ ให้ที่ระดับสนามไฟฟ้า 2 4 6 8 และ 10v/cm ตามลำดับเป็นเวลา 1 2 3 4 และ 5 นาที วัดความยาวของเจลที่เปลี่ยนแปลงไป นำไปคำนวณหาค่า ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป โดยคำนวณจากความยาวของเจลที่เปลี่ยนแปลงไป / ความยาวของเจลเริ่มต้น เส้นกราฟเส้น 5 เส้น คือความยาวรวมของ polyacrylamide gel ที่เปลี่ยนแปลงไปเพิ่มขึ้น (สนามไฟฟ้า = ความต่างศักย์ / ระยะห่างระหว่างขั้ว electrode ทั้งสอง)

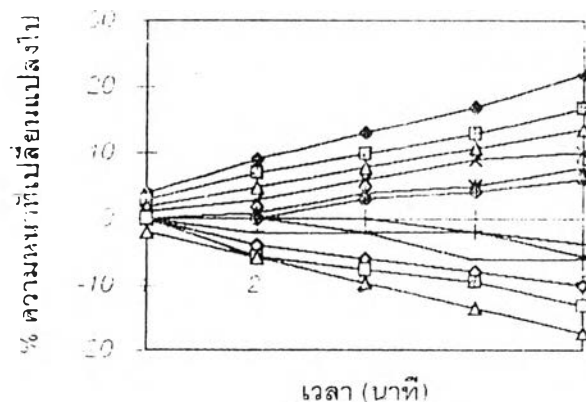
### 3.6.2 ผลของสนามไฟฟ้าต่อสมบัติของแผ่น kappa - carrageenan เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

พบว่า เมื่อปล่อยความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ลงใน แผ่น kappa - carrageenan ที่แช่อยู่ในน้ำกลั่น พบว่า ปลาย แผ่น kappa - carrageenan ที่ electrode ขั้วลบ จะมีการขุดตัว ทำให้ความหนาแน่นของแผ่นลดลงเล็กน้อย (แผนภูมิที่ 11 ก) แต่ทางด้าน electrode ขั้วบวกจะมีผลให้ปลาย kappa - carrageenan บวมตัว ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (แผนภูมิที่ 11 ก) เช่นเดียวกับ ที่ 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ จะบวมตัวทางด้านขั้วบวก และขุดตัวทางด้านขั้วลบแต่น้อยกว่าที่แช่ในน้ำกลั่น (แผนภูมิที่ 11 ข) จึงมีผลทำให้ความยาวรวมของ แผ่น kappa - carrageenan ที่แช่ในน้ำกลั่น (แผนภูมิที่ 12 ก) และที่แช่ใน 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ (แผนภูมิที่ 12 ข)





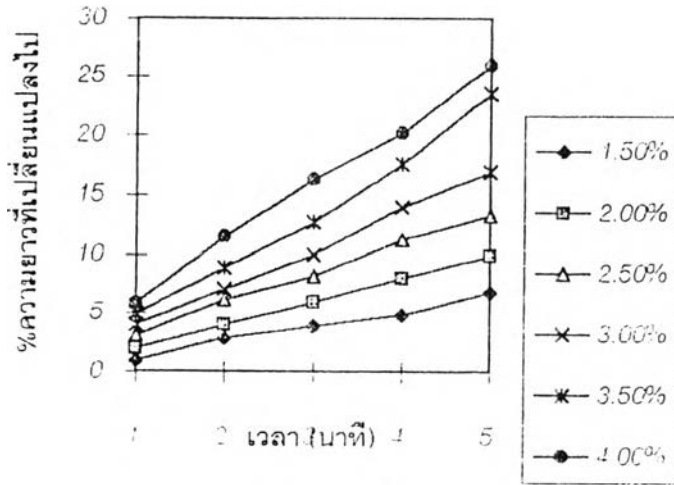
( ก )



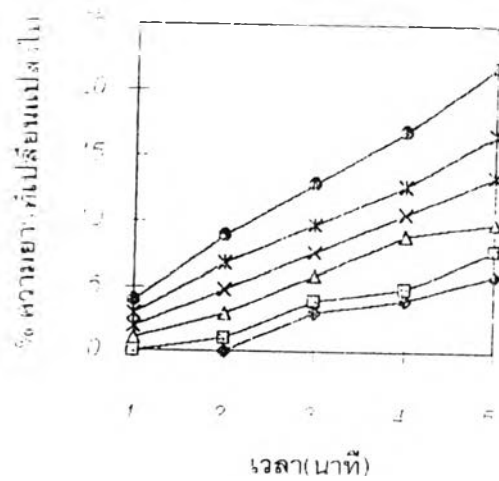
( ข )

แผนภูมิที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปกับ เวลาที่ใช้ในการชุบ  
 ตัว ของแผ่น kappa - carrageenan ขั้วบวกและ ลบ โดยให้ที่ระดับที่ค่าสนามไฟฟ้า  
 8 v/cm

ในกรณี ( ก ) ที่แช่ในน้ำกลั่น ( ข ) ที่แช่ใน 50. % สารผสม อะซิโตน - น้ำ  
 ทดลอง โดย นำ แผ่น kappa - carrageenan มาแช่ในน้ำกลั่น หรือที่แช่ใน 50. % สารผสม อะซิโตน - น้ำที่ระดับ  
 ความเข้มข้น 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 และ 4.0 % มาวัดความหนาที่เริ่มต้น และนำไปในราง gel ที่มี น้ำกลั่น  
 หรือ 50 % สารผสมอะซิโตน - น้ำให้ที่ระดับสนามไฟฟ้า 8 v/cm เป็นเวลา 1 2 3 4 และ 5 นาที วัดความ  
 หนาที่เปลี่ยนแปลงไป นำไปคำนวณหาค่า ความหนาที่เปลี่ยนแปลงไป โดยคำนวณจากความหนาที่เปลี่ยนแปลง  
 ไป / ความหนาของเจลเริ่มต้น เส้นกราฟเส้น 5 เส้นด้านบน แสดงถึงความหนาที่เปลี่ยนแปลงไป ของ electrode  
 ขั้วลบ และบวก เส้นกราฟเส้น 5 เส้นด้านล่าง แสดงถึงค่าอัตราส่วนการบวมตัวของ electrode ขั้วบวก (สนาม  
 ไฟฟ้า = ความต่างศักย์ / ระยะห่างระหว่างขั้ว electrode ทั้งสอง)



( ก )



( ข )

แผนภูมิที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง ความ ยาวที่เปลี่ยนแปลงไป กับเวลาที่ใช้ในการอบ

ตัว ของแผ่น kappa - carrageenan ที่ระดับสนามไฟฟ้า 8 v/cm

ในกรณีที่ ( ก ) ที่แช่ในน้ำกลั่น ( ข ) ที่แช่ใน อะซิโตน - น้ำ

ทดลอง โขง นำ แผ่น kappa - carrageenan มาแช่ในน้ำกลั่น หรือที่แช่ใน 50. % สารผสม อะซิโตน - น้ำ ที่ระดับ ความเข้มข้น 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 และ 4.0 % มาวัดความยาวที่เริ่มต้น และนำไปในร่าง gel ที่มี น้ำกลั่น หรือ 50 % สารผสมอะซิโตน - น้ำ ที่ระดับสนามไฟฟ้า 8 v/cm เป็นเวลา 1 2 3 4 และ 5 นาที วัดความยาวที่ เปลี่ยนแปลงไป นำไปคำนวณหาค่า ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป โดยคำนวณจากความยาวที่เปลี่ยนไป / ความยาวของเจลเริ่มต้น แกะกราฟแต่ละเส้น ทหาถึงความเข้มข้นของ kappa - carrageenan ที่ระดับ 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 และ 4.0 % ตามลำดับ

### 3.6.3 ผลของสนามไฟฟ้าต่อสมบัติของท่อน polyacrylamide gel เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

ท่อน polyacrylamide gel ที่แช่อยู่ในน้ำกลั่นหรือ 50 % สารผสม อะซิโตน-น้ำ เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้า (AC) ผ่านน้ำกลั่น หรือ 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำที่ระดับกระแสไฟฟ้า 25 volts พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

### 3.6.4 ผลของสนามไฟฟ้าต่อสมบัติของแผ่น kappa - carrageenan เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

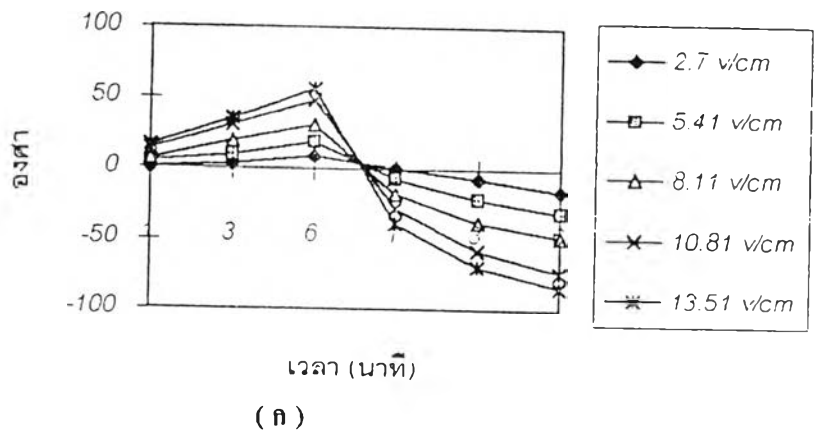
แผ่น kappa-carrageenan ที่แช่อยู่ในน้ำกลั่นหรือ 50 % สารผสม อะซิโตน-น้ำ เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้า (AC) ผ่านน้ำกลั่น หรือ 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำที่ระดับกระแสไฟฟ้า 25 volts พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

## 3.7 ผลของสนามไฟฟ้าต่อสมบัติการเบนตัวของพอลิเมอร์

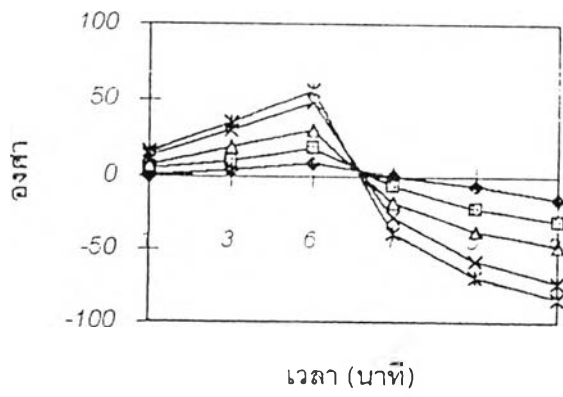
การทดลองนี้เป็นการศึกษาการเบนตัวของพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนค่าสนามไฟฟ้าในตัวกลาง โดยที่การเบนตัวของพอลิเมอร์ดังกล่าวจะได้รับการประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ทางแสงต่อไปในหัวข้อ 3.9

### 3.7.1 ผลของสนามไฟฟ้าต่อสมบัติการเบนตัวของของ polyacrylamide gel ชนิดท่อนขนาดสั้น เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

แบบที่ 1 พบว่า polyacrylamide gel ชนิดท่อนที่มีหน้าตัดกลมขนาดสั้น ที่แช่อยู่ในน้ำกลั่นหรือ 50 % สารผสม อะซิโตน-น้ำ (แผนภูมิที่ 13) เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านน้ำกลั่น หรือ 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ ที่แช่ polyacrylamide gel อยู่ ท่อน polyacrylamide gel จะเบนตัวไปทางด้านซ้ายลบนทางด้านซ้ายบน ท่อน polyacrylamide gel จะบวมตัวโดยพบว่า polyacrylamide gel ที่แช่ใน 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำจะเบนตัวน้อยกว่าท่อน polyacrylamide gel ที่แช่ในน้ำกลั่น



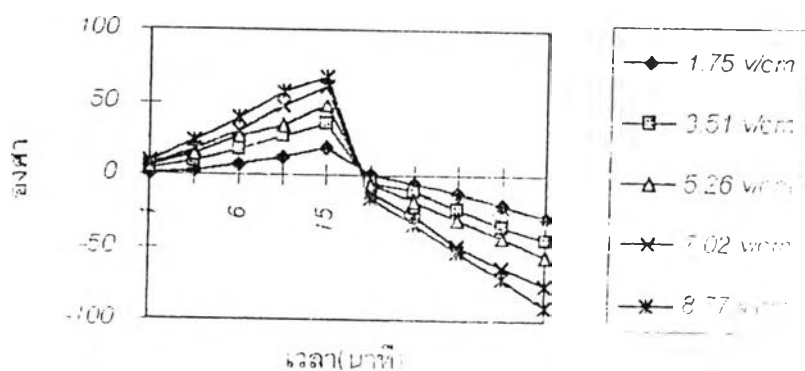
( ก )



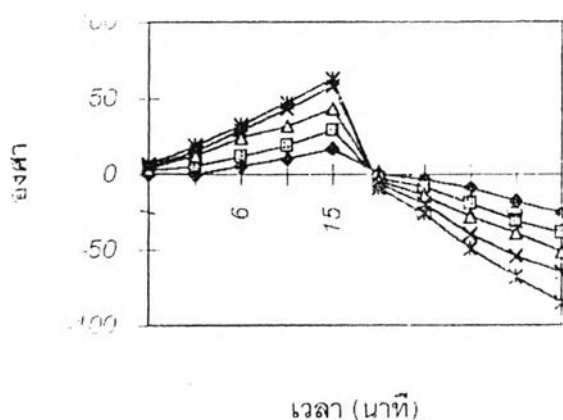
( ข )

แผนภูมิที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่เปลี่ยนไป กับ เวลาที่ใช้ในการเบนตัว ของ ท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5% โดย ขั้วบวก และลบ ห่างจากท่อน polyacrylamide gel 0.5 เซนติเมตรโดยให้สนามไฟฟ้า 2.7 5.41 8.11 10.81 และ 13.51 v/cm ตามลำดับ  
 ในกรณี ( ก ) ที่ใช้น้ำกลั่น ( ข ) ที่ใช้ใน อะซิโตน - น้ำ  
 ทดลองโดย นำ polyacrylamide gel ชนิดท่อน ที่มี acrylic acid residue 21.5 % มาวางในภาชนะพลาสติกใตที่มี น้ำ กลั่น หรือ 50 % สารผสมอะซิโตน - น้ำให้โคจรให้สนามไฟฟ้า 2.7 5.41 8.11 10.81 และ 13.51 v/cm ตาม ลำดับ เป็นเวลา 1 2 3 4 และ 5 นาที วัดองศาที่เปลี่ยนแปลงไป

แบบที่ 2 ทำการทดลองเช่นเดียวกับแบบที่ 1 แต่เปลี่ยนระยะห่างระหว่างท่อน polyacrylamide gel กับขั้วบวกและขั้วลบด้านละ 0.5 เซนติเมตร ไปเป็นด้านละ 1.0 เซนติเมตรพบว่าท่อน polyacrylamide gel ที่แช่ในโคซมิคเจลและขั้วลบ 50 % สารผสมอะซิโตน-น้ำจะเบนตัวน้อยกว่าท่อน polyacrylamide gel ที่แช่ในน้ำกลั่น(แผนภูมิที่ 14)



( ก )



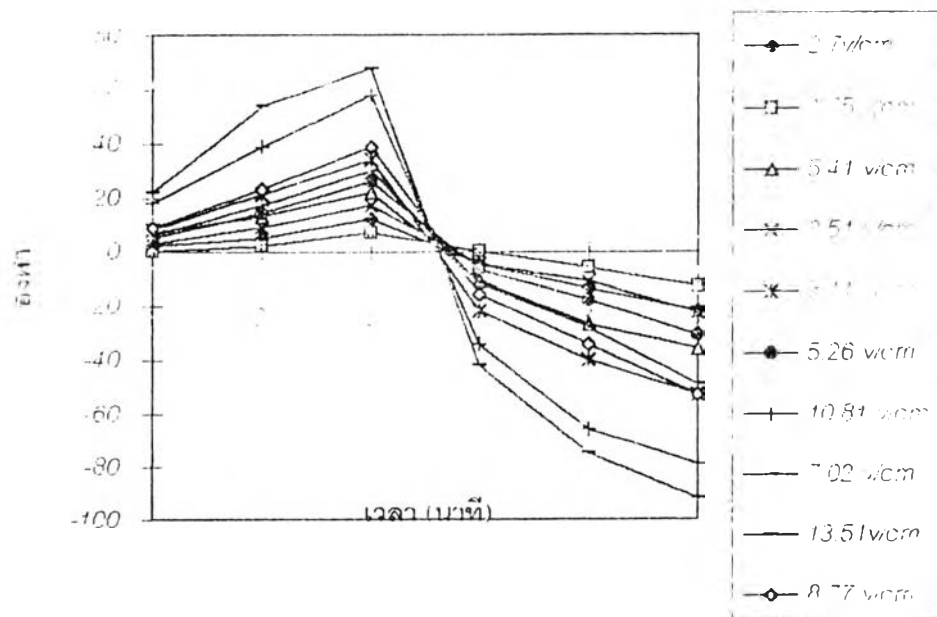
( ข )

แผนภูมิที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่ เปลี่ยนไป กับ เวลาที่ใช้ในการเบนตัว ของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5% โดย ขั้วบวก และลบห่างจาก ท่อน polyacrylamide gel 1.0 เซนติเมตรโดยให้สนามไฟฟ้า 1.75 3.51 5.26 7.02 และ 8.77 v/cm ตามลำดับ

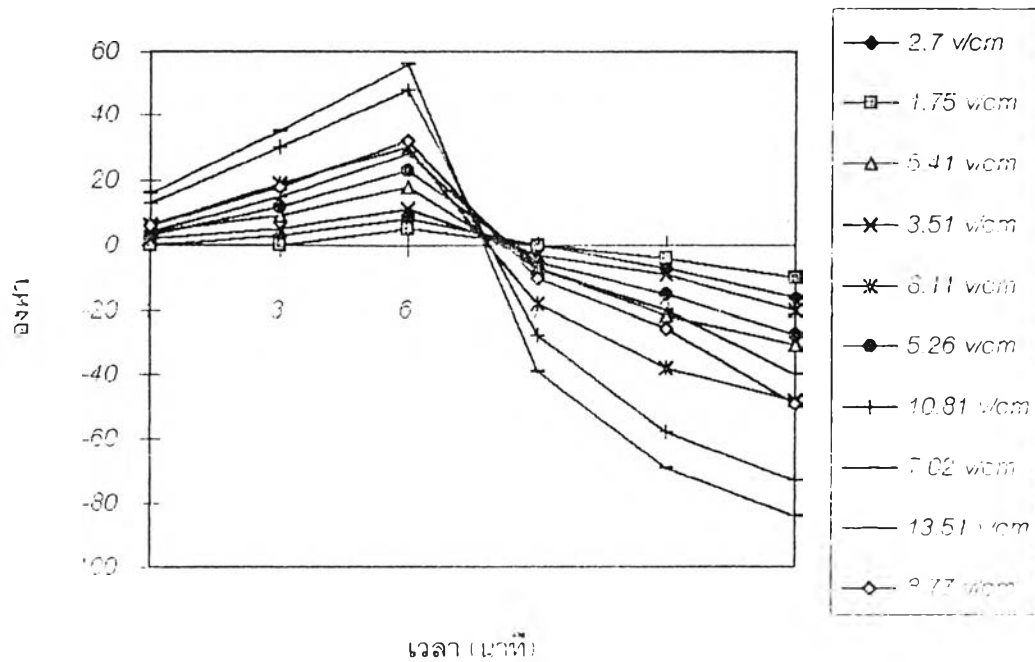
ในกรณี ( ก ) ที่แช่ในน้ำกลั่น ( ข ) ที่แช่ใน อะซิโตน - น้ำ

ทดลองโดย นำ polyacrylamide gel ชนิดท่อน ที่มี acrylic acid residue 21.5 % มาวางในภาชนะพลาสติกใสที่มี น้ำกลั่น หรือ 50 % สารผสมอะซิโตน - น้ำให้โดยให้สนามไฟฟ้า 1.75 3.51 5.26 7.02 และ 8.77 v/cm ตาม ลำดับ เป็นเวลา 1 2 3 4 และ 5 นาที วัดองศาที่เปลี่ยนแปลงไป

แบบที่ 3 เปรียบเทียบท่อน polyacrylamide gel แฉะในน้ำกลั่น หรือ 50 % สารผสม อะซิโตน-น้ำ และมีระยะห่างระหว่างท่อน polyacrylamide gel กับขั้วบวก และขั้วลบระหว่าง 0.5 เซนติเมตร กับ 1.0 เซนติเมตร พบว่า polyacrylamide gel ที่มีระยะห่างระหว่างท่อน polyacrylamide gel กับขั้วบวกและขั้วลบ 0.5 เซนติเมตร จะมีการเบนตัวของท่อน polyacrylamide gel มากกว่าที่มีระยะห่างระหว่าง ขั้วบวก และขั้วลบ 1.0 เซนติเมตร ทั้งในน้ำกลั่น (แผนภูมิที่ 15) และในสารผสมอะซิโตน-น้ำ (แผนภูมิที่ 16) เมื่อเปรียบเทียบ ที่ระดับค่าสนามไฟฟ้าต่างๆ กับองศาที่เบนตัว ใน 6 นาที พบว่าองศาที่เบนตัวจะเป็นปฏิภาคตรงกับค่าสนามไฟฟ้า หรือ ความต่างศักย์ (voltage) ทั้งที่แฉะในน้ำ (แผนภูมิที่ 17) และ แฉะในสารผสมอะซิโตน-น้ำ (แผนภูมิที่ 18)

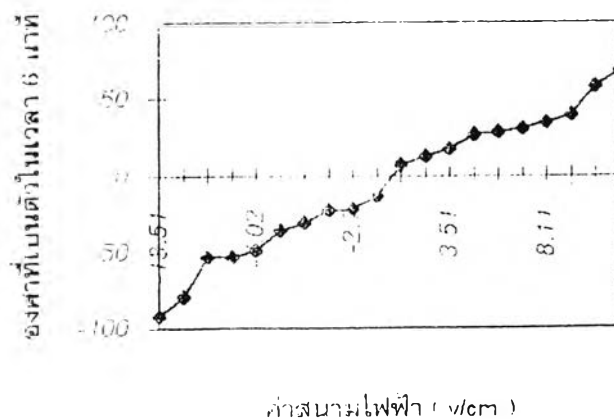


แผนภูมิที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่เปลี่ยนไปกับ เวลาที่ใช้ในการเบนตัว ของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % แฉะในน้ำกลั่น โดย มีระยะห่างระหว่างท่อน polyacrylamide gel กับขั้วบวก - ลบ 0.5 เซนติเมตรและ 1.0 เซนติเมตร โดยค่า 2.7 5.41 8.11 10.81 และ 13.51 v/cm คือ ท่อน polyacrylamide gel กับขั้วบวกและขั้วลบ 0.5 เซนติเมตร ที่ระดับความต่างศักย์ค่า 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ ส่วนค่า 1.75 3.51 5.26 7.02 และ 8.77 v/cm คือ ท่อน polyacrylamide gel กับขั้วบวกและขั้วลบ 1.0 เซนติเมตร ที่ระดับความต่างศักย์ค่า 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ

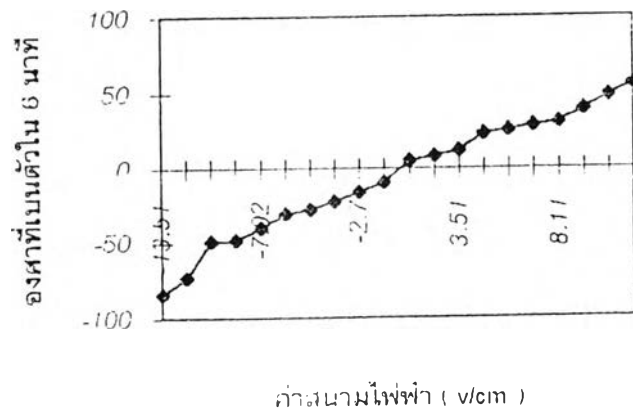


แผนภูมิที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่เปลี่ยนไปกับ เวลาที่ใช้ในการเบนตัว ของก้อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % แชนในสารผสมอะซิโตน-น้ำ โดย มีระยะห่างระหว่างก้อน polyacrylamide gel กับขั้วบวก - ลบ 0.5 เซนติเมตร และ 1.0 เซนติเมตร

โดยค่า 2.7 5.41 8.11 10.81 และ 13.51 v/cm คือ ก้อน polyacrylamide gel กับขั้วบวกและขั้วลบ 0.5 เซนติเมตร ที่ระดับความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ ส่วนค่า 1.75 3.51 5.26 7.02 และ 8.77 v/cm คือ ก้อน polyacrylamide gel กับขั้วบวกและขั้วลบ 1.0 เซนติเมตร ที่ระดับความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ



แผนภูมิที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่เปลี่ยนไปใน 6 นาที กับ ค่าสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการเบนตัว ของก้อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % แชนในน้ำ



แผนภูมิที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาที่เปลี่ยนไปใน 6 นาที กับ ค่าสนามไฟฟ้าที่ใช้ การเบนตัว ของท่อน polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 21.5 % แชนใน 50 % สารผสม อะซิโตน - น้ำ

### 3.7.2 ค่าเฉลี่ยการเบนตัวไป - กลับ ของ ท่อน polyacrylamide gel

แบบที่ 1 ท่อน polyacrylamide gel ที่แช่ใน 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ โดยขั้วบวก และ ขั้วลบห่างจาก ท่อน polyacrylamide gel 0.5 เซนติเมตร จะมี ค่าเฉลี่ยการเบนตัวไปเท่ากับ 1.45 3.35 5.53 9.48 และ 12.33 องศา / นาที ที่ระดับความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ ส่วน ท่อน polyacrylamide gel ที่แช่ใน 50% น้ำกลั่น โดยขั้วบวก และ ขั้วลบห่างจาก ท่อน polyacrylamide gel 0.5 เซนติเมตร จะมีค่าเฉลี่ยการเบนตัวไปเท่ากับ 1.97 4.75 6.54 12.0 และ 17.11 องศา / นาที ที่ระดับความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ

แบบที่ 2 ท่อน polyacrylamide gel ที่แช่ใน 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ โดยขั้วบวก และ ขั้วลบห่างจาก ท่อน polyacrylamide gel 1.0 เซนติเมตร จะมีค่าเฉลี่ยการเบนตัวไปเท่ากับ 1.0 1.82 3.36 4.37 และ 5.25 องศา / นาที ที่ระดับความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ ส่วนท่อน polyacrylamide gel ที่แช่ใน 50% น้ำกลั่น โดยขั้วบวก และ ขั้วลบห่างจาก ท่อน polyacrylamide gel 1.0 เซนติเมตรจะมีค่าเฉลี่ยการเบนตัวไปเท่ากับ 1.13 2.64 4.12 5.09 และ 6.68 องศา / นาที ที่ระดับความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ

แบบที่ 3 ท่อน polyacrylamide gel ที่แช่ใน 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ โดยขั้วบวก และ ขั้วลบห่างจาก ท่อน polyacrylamide gel 0.5 เซนติเมตรจะมี ค่าเฉลี่ยการเบนตัวกลับเท่ากับ 2.48



5.95 11.32 17.05 และ 25.33 องศา/นาที่ ที่ระดับความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ ส่วน ท่อน polyacrylamide gel ที่แช่ในน้ำกลั่น โดยขั้วบวก และ ขั้วลบห่างจาก ท่อน polyacrylamide gel 0.5 เซนติเมตรจะมีค่าเฉลี่ยการเบนตัวกลับเท่ากับ 3.9 7.73 12.84 19.72 และ 27.44 องศา/นาที่ ที่ระดับความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ

แบบที่ 4 ท่อน polyacrylamide gel ที่แช่ใน 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ โดยขั้วบวก และ ขั้วลบห่างจาก ท่อน polyacrylamide gel 1.0 เซนติเมตร จะมี ค่าเฉลี่ยการเบนตัวกลับเท่ากับ 1.6 2.89 4.39 6.01 และ 7.86 องศา/นาที่ ที่ระดับความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ ส่วนท่อน polyacrylamide gel ที่แช่ใน 50% น้ำกลั่น โดยขั้วบวก และ ขั้วลบห่างจาก ท่อน polyacrylamide gel 0.5 เซนติเมตรจะมีค่าเฉลี่ยการเบนตัวกลับเท่ากับ 1.94 3.58 5.24 8.16 และ 9.85 องศา/นาที่ ที่ระดับความต่างศักย์ 5 10 15 20 และ 25 volts ตามลำดับ

### 3.7.3 ผลของสนามไฟฟ้าต่อสมบัติการเบนตัวของ kappa-carrageenan ขนาดท่อนสั้น เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

พบว่า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านน้ำกลั่นหรือ 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ ผลที่ได้คือ ไม่มีการเบนตัวของแผ่น kappa-carrageenan

### 3.7.4 ผลของสนามไฟฟ้าต่อสมบัติการเบนตัวของ polyacrylamide gel ชนิดท่อนสั้น เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสสลับ(AC)

พบว่า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านน้ำกลั่น หรือ 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ ผลที่ได้คือ ไม่มีการเบนตัวของ polyacrylamide gel

### 3.7.5 ผลของสนามไฟฟ้าต่อสมบัติการเบนตัวของแผ่น kappa-carrageenan ขนาดท่อนสั้น เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสสลับ(AC)

พบว่า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านน้ำกลั่นหรือ 50% สารละลายผสมอะซิโตน-น้ำ ผลที่ได้คือ ไม่มีการเบนตัวของแผ่น kappa-carrageenan

### 3.7.6 ผลของสนามไฟฟ้าต่อสมบัติการเบนตัวของ polyacrylamide gel ชนิดท่อนยาว เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรง(DC)

พบว่าที่ระดับกระแสไฟฟ้าต่างกันรูปร่างของท่อน polyacrylamide gel มีได้ต่างกันคือ บริเวณที่ใกล้ขั้วบวก ท่อน polyacrylamide gel ตรงบริเวณนั้นจะบวมตัว ส่วนขั้วลบจะโค้งงอ ซึ่งเป็นทั้ง 2 ตำแหน่ง คือทั้งด้านขอบบนและขอบล่างที่มีการขั้วทั้ง 2 ส่วนบริเวณตรงกลางของท่อน polyacrylamide gel จะโค้งเว้าไปทางด้านขั้วลบ แต่เวลาที่ใช้จะต่างกัน คือ ถ้าระดับกระแสไฟฟ้าต่ำ จะใช้เวลามาก ในการเบนตัว แต่ ถ้าระดับกระแสไฟฟ้าสูง จะใช้เวลาน้อย

### 3.7.7 ผลของสนามไฟฟ้า ต่อสมบัติการเบนตัวของแผ่น kappa-carrageenan ขนาดท่อนยาว เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรง(DC)

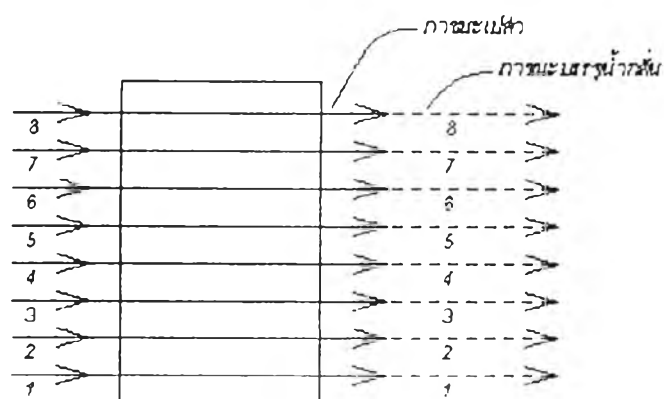
นำท่อน kappa-carrageenan ขนาดท่อนยาว ความเข้มข้น 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 และ 4.0 % พบว่า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านน้ำกลั่นหรือ 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ ผลที่ได้คือ ไม่มีการเบนตัวของท่อน kappa-carrageenan

## 3.8 สมบัติทางแสงของ polymer ที่เบนตัว

หลังจากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการบวม - ยุบตัวของพอลิเมอร์ ในตัวกลางที่เป็นน้ำ และตัวทำละลายออร์แกนิกผสมกัน ผู้วิจัยได้เลือกสนามไฟฟ้ามาเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมการเบนตัวของพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นการควบคุมการรวมและการกระจายแสง โดยอาศัยการโค้งงอของพอลิเมอร์ที่ขึ้นกับสนามไฟฟ้า

### 3.8.1 สมบัติทางแสงของภาชนะพลาสติกใส

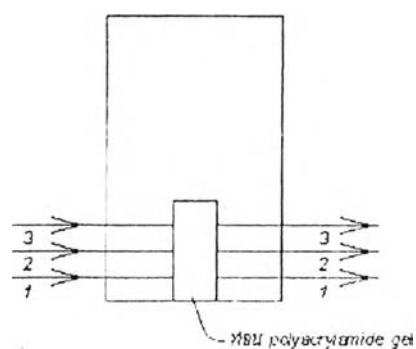
พบว่า ลำแสงเลเซอร์ที่ฉายผ่านภาชนะพลาสติกใสจะมีลักษณะ ของลำแสงเป็นเส้นตรง ไม่มีการเบี่ยงเบนของลำแสงไปจากทิศทางของลำแสงในแนวเดิม(รูปที่ 14 )



รูปที่ 14 ทิศทางของ ลำแสง เมื่อฉายแสงผ่านลักษณะพลาสติก

### 3.8.2 สมบัติทางแสงของท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้นในลักษณะพลาสติกใส

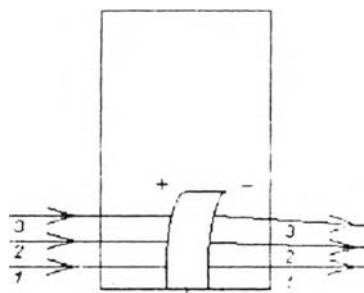
พบว่า ลำแสงเลเซอร์ที่ฉายผ่านลักษณะพลาสติกใสที่มีท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้น จะมีทิศทางของลำแสงเบี่ยงเบนไปจากทิศทางในแนวเดิมเล็กน้อยประมาณ 2 องศา (รูปที่ 15)



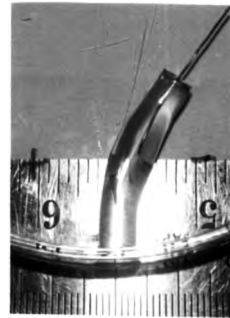
รูปที่ 15 ทิศทางของ ลำแสง เมื่อฉายแสงผ่านลักษณะพลาสติกใสที่มีท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้น ที่ตรง ปลายข้างหนึ่ง

### 3.8.3 สมบัติทางแสงของท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้นที่มีการโค้งงอ ข้างหนึ่ง ในภาชนะพลาสติกใส

พบว่า ลำแสงเลเซอร์ที่ฉายผ่านภาชนะพลาสติกใสทางด้านซ้ายวกผ่านไปข้างลบ ทิศทางลำแสงเส้น 2 และ 3 ที่ได้ออกมาจะมีลักษณะเบนเข้าหาจุดโฟกัส (รูปที่ 16) โดยมีทางยาวโฟกัส 33.5 เซนติเมตร



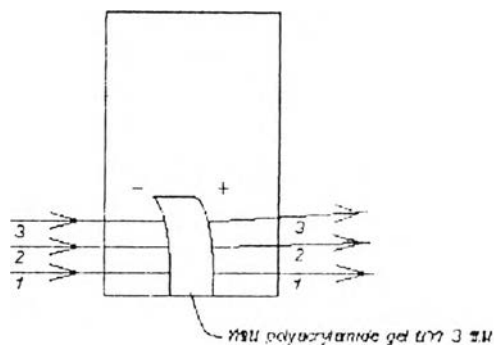
ท่อน polyacrylamide gel ยาว 3 ซม.  
เส้นผ่า 108 ไมครอน



#### รูปที่ 16 ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายแสงจากด้านซ้ายวกไปยังข้างลบท่อน polyacrylamide ที่โค้ง ปลายข้างหนึ่ง

ทดลองโดยนำท่อน polyacrylamide gel หน้าตัดกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตรยาว 3 เซนติเมตร มาตรึงปลายข้างหนึ่งไว้ กับภาชนะพลาสติกใสที่มีน้ำกลั่น ให้สนามไฟฟ้า 13.5 v/cm เป็นเวลา 1 นาที จะมีการเบนตัว 18 องศา

แต่ถ้าฉายแสงผ่านภาชนะพลาสติกใสทางด้านซ้ายลบบนไปซ้ายลบบน ทิศทางลำแสงเส้น 2 และ 3 ที่ได้ออกมาจะมีลักษณะเบนออกจากจุดโฟกัส (รูปที่ 17) โดยมีทางยาวโฟกัส - 34.5 เซนติเมตร

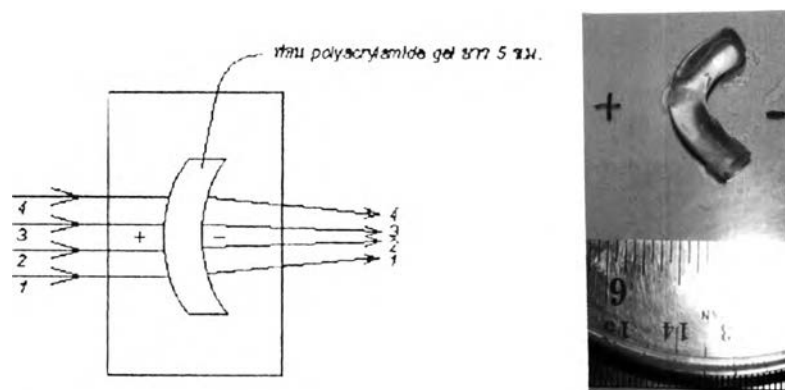


รูปที่ 17 ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายแสงจากด้านซ้ายลบบนไปยังซ้ายลบบนผ่านท่อน polyacrylamide gel ที่ตรงปลายข้างหนึ่ง

ทดลองโดยนำท่อน polyacrylamide gel หน้าตัดกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตรมาวาง ปลายข้างหนึ่งไว้ กับภาชนะพลาสติกใสที่มีน้ำกลั่น ให้สนามไฟฟ้า 13.5 v/cm เป็นเวลา 1 นาที จะมีการเบนตัว 16 องศา

### 3.8.3 สมบัติทางแสงของท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้นที่ตรงตรงกลางในภาชนะพลาสติกใส

พบว่า ลำแสงเลเซอร์ที่ฉายผ่านภาชนะพลาสติกใสทางด้านซ้ายลบบนไปซ้ายลบบน ลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.4 เซนติเมตร จะมีทางยาวโฟกัส 15.7 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสอยู่บนแกนमुखสำคัญ ส่วนลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 1.2 เซนติเมตร จะมีทางยาวโฟกัส 22.2 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสอยู่ห่างแกนमुखสำคัญ 0.2 เซนติเมตร (รูปที่ 18)



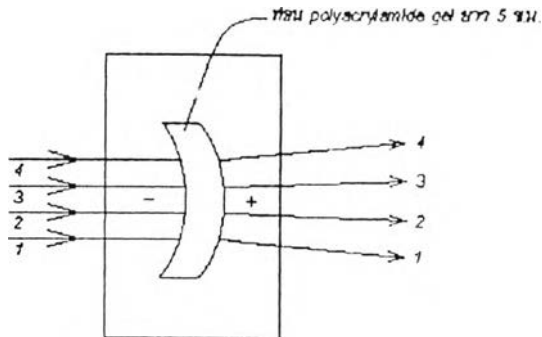
รูปที่ 18 ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายแสงทางด้านซ้ายบวกไปยังขั้วลบผ่านท่อน polyacrylamide gel ที่ตรงตรงกลาง

ทดลองโดยนำท่อน polyacrylamide gel หน้าตัดกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตรมาตรงตรงกลางไว้ กับภาชนะพลาสติกใสที่มีน้ำกลั่น ให้สนามไฟฟ้า 13.5 v/cm เป็นเวลา 1 นาที จะมีการเบนตัว 14 องศา

นอกจากนี้ได้ทำการทดลองเพิ่มเติมโดย การเปลี่ยนสนามไฟฟ้า และ ทางขาวโฟกัส เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสนามไฟฟ้า กับทางขาวโฟกัสของพอลิเมอร์

พบว่า ถ้าสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.75 v/cm ( เบนไป 3 องศา) ลำแสงเลเซอร์ที่ฉายผ่านภาชนะพลาสติกใสทางด้านซ้ายบวกไปยังขั้วลบ โดยลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.4 เซนติเมตร จะมีทางขาวโฟกัส 58.8 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.1 เซนติเมตร ลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 1.2 เซนติเมตร จะมีทางขาวโฟกัส 86.5 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสอยู่บนแกนमुखสำคัญ ถ้าสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 2.7 v/cm ( เบนไป 6 องศา) ลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.4 เซนติเมตร จะมีทางขาวโฟกัส 44.7 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสอยู่บนแกนमुखสำคัญ ลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 1.2 เซนติเมตร จะมีทางขาวโฟกัส 62.2 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.2 เซนติเมตร ถ้าสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 5.26 v/cm ( เบนไป 12 องศา) ลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.4 เซนติเมตร จะมีทางขาวโฟกัส 16.0 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.1 เซนติเมตร ลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 1.2 เซนติเมตร จะมีทางขาวโฟกัส 22.2 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสอยู่บนแกนमुखสำคัญ และถ้าสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 8.11 v/cm ( เบนไป 21 องศา) ลำแสงที่ห่างจากแกน





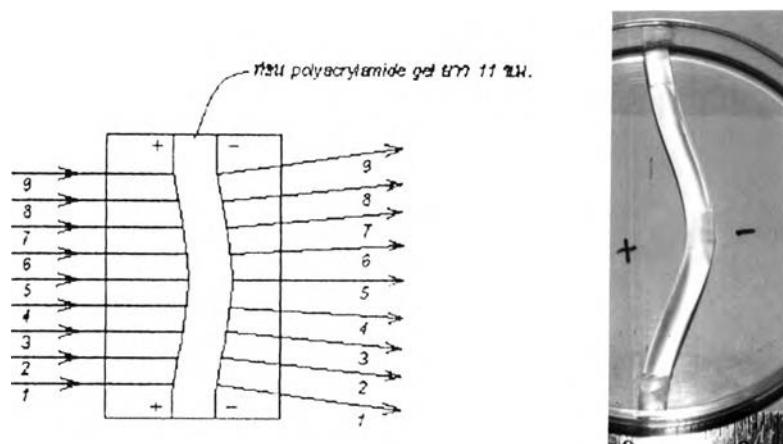
รูปที่ 19 ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายแสงจากด้านซ้ายออกไปยังขั้วบวกผ่านท่อน polyacrylamide gel ที่ตั้งตรงกลาง

ทดลองโดยนำท่อน polyacrylamide gel หน้าที่คกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตรมาตั้งตรงกลางไว้ กับภาชนะพลาสติกใสที่มีน้ำกลั่น ให้สนามไฟฟ้า 13.5 v/cm เป็นเวลา 1 นาที จะมีการเบนตัว 15 องศา

### 3.8.4 สมบัติทางแสงของท่อน polyacrylamide gel ขนาดยาวที่มีการเบนตัวในภาชนะพลาสติกใส

พบว่า ลำแสงเลเซอร์ที่ฉายผ่านภาชนะพลาสติกใสทางด้านซ้ายออกไปยังขั้วลบ ลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.8 เซนติเมตร จะมีทางยาวโฟกัส -13.7 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.1 เซนติเมตร ลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 1.6 เซนติเมตร จะมีทางยาวโฟกัส -22.7 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.2 เซนติเมตร ลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 2.4 เซนติเมตร จะมีทางยาวโฟกัส -31.5 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสอยู่บนแกนमुखสำคัญ 0.2 เซนติเมตร และลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 3.2 เซนติเมตรจะมีทางยาวโฟกัส-43.2 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.3 เซนติเมตร (รูปที่ 20)

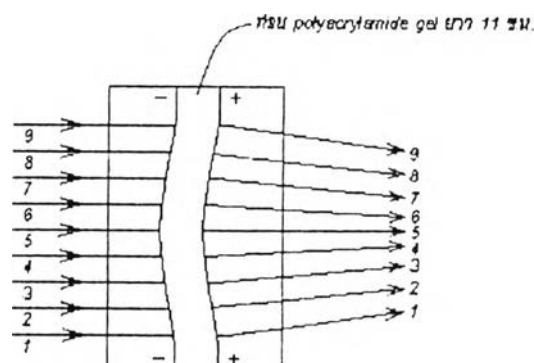




รูปที่ 20 ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายแสงจากด้านซ้ายขวากไปยังซ้ายขวากผ่านท่อน polyacrylamide gel ที่เตรียมไว้ทั้ง 2 ด้าน

ทดลองโดยนำท่อน polyacrylamide gel หน้าตัดกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตร ยาว 11 เซนติเมตรมาวางตรงปลายไว้ทั้ง 2 ด้าน กับภาชนะพลาสติกใสที่มีน้ำกลั่น ให้สนามไฟฟ้า 13.5 v/cm เป็นเวลา 5 นาที จะมีการเบนตัว 30 องศา

แต่ถ้าฉายลำแสงเลเซอร์ผ่านภาชนะพลาสติกใสทางด้านซ้ายขวากไปยังซ้ายขวาก ลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.8 เซนติเมตร จะมีทางยาวโฟกัส 13.2 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.2 เซนติเมตร ลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 1.6 เซนติเมตร จะมีทางยาวโฟกัส 22.7 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.6 เซนติเมตร ลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 2.4 เซนติเมตร จะมีทางยาวโฟกัส 31.0 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.2 เซนติเมตรและลำแสงที่ห่างจากแกนमुखสำคัญ 3.2 เซนติเมตร จะมีทางยาวโฟกัส 42.5 เซนติเมตร โดยมีจุดโฟกัสห่างจากแกนमुखสำคัญ 0.3 เซนติเมตร (รูปที่ 21)



### รูปที่ 21 ทิศทางของลำแสง เมื่อฉายแสงจากด้านขั้วลบไปยังขั้วบวกผ่านก่อน

#### polyacrylamide gel ที่ตรึงปลายไว้ทั้ง 2 ด้าน

ทดลองโดยนำท่อน polyacrylamide gel หน้าที่ดกกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตร ยาว 11 เซนติเมตรมาตรึงตรงปลายไว้ทั้ง 2 ด้าน กับภาชนะพลาสติกใสที่มีน้ำกลั่น ให้สนามไฟฟ้า 13.5 v/cm เป็นเวลา 5 นาที จะมีการเบนตัว 32 องศา

### 3.9 สมบัติทิศทางแสงของแผ่น polyacrylamide gel ที่ทำหน้าที่เป็นเลนส์

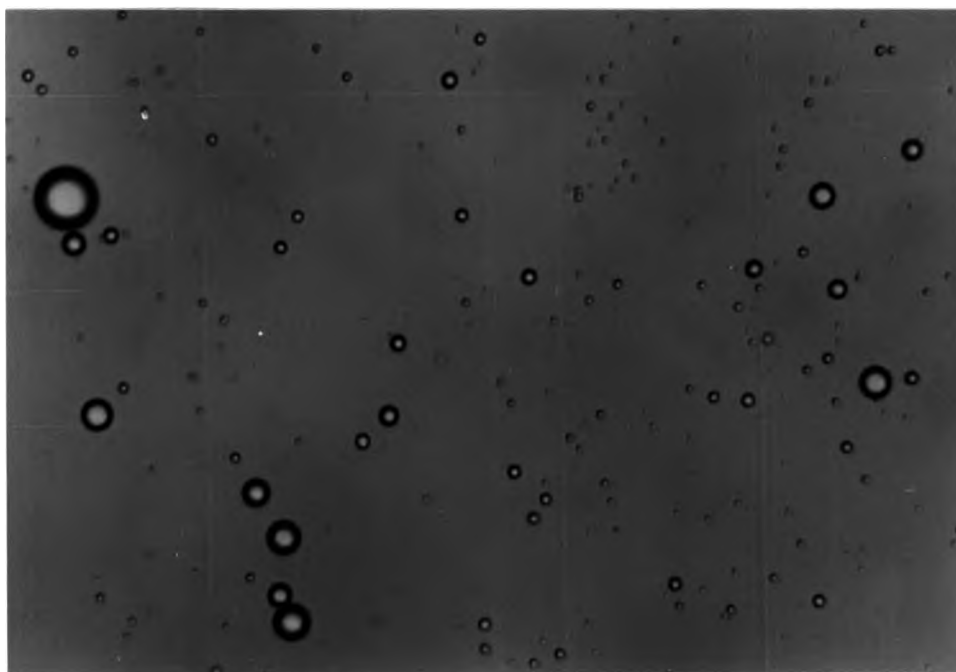
หลังจากทดลอง การควบคุมการเบนตัวในดักกลางที่เป็นน้ำ และ ตัวทำละลายออร์แกนิกผสมกัน ซึ่งเป็นการควบคุมการรวมและการกระจายแสง โดยอาศัยการโค้งงอของพอลิเมอร์ที่ขึ้นกับสนามไฟฟ้า ผู้วิจัยได้นำความรู้ดังกล่าวประยุกต์สร้างเลนส์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางแสง

ในการทดลองนี้ แผ่น polyacrylamide gel จะโค้งงอไปทาง electrode ขั้วลบและเมื่อฉายแสงผ่านภาชนะพลาสติกใสทรงกลมจากทางด้าน electrode ขั้วบวก ลำแสงที่ผ่านออกมาจะบานออกแต่ถ้าฉายแสงจากทางด้าน electrode ขั้วลบ ลำแสงที่ผ่านออกมาจะหุบเข้าหาจุดโฟกัส

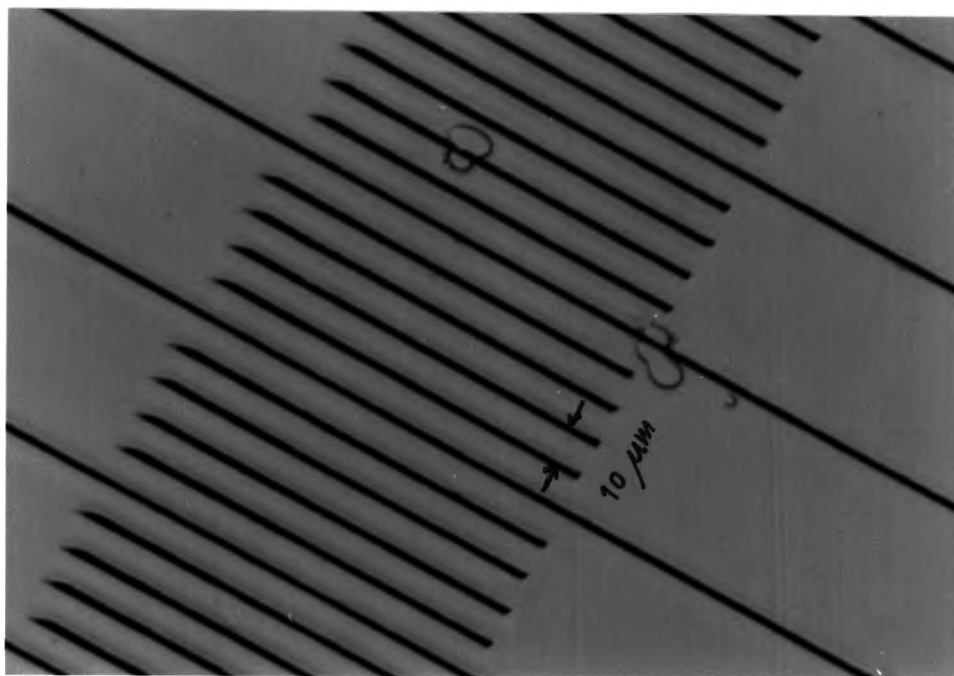
### 3.10 ลักษณะของเม็ด polyacrylamide gel

การทดลองนี้ เป็นการศึกษาเพิ่มเติมจากที่มีผู้ทำการทดลองโดยใช้ polyacrylamide gel ชนิดท่อนเท่านั้น โดยที่การสร้าง polyacrylamide gel ในลักษณะที่เป็นเม็ดจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้แก่พอลิเมอร์

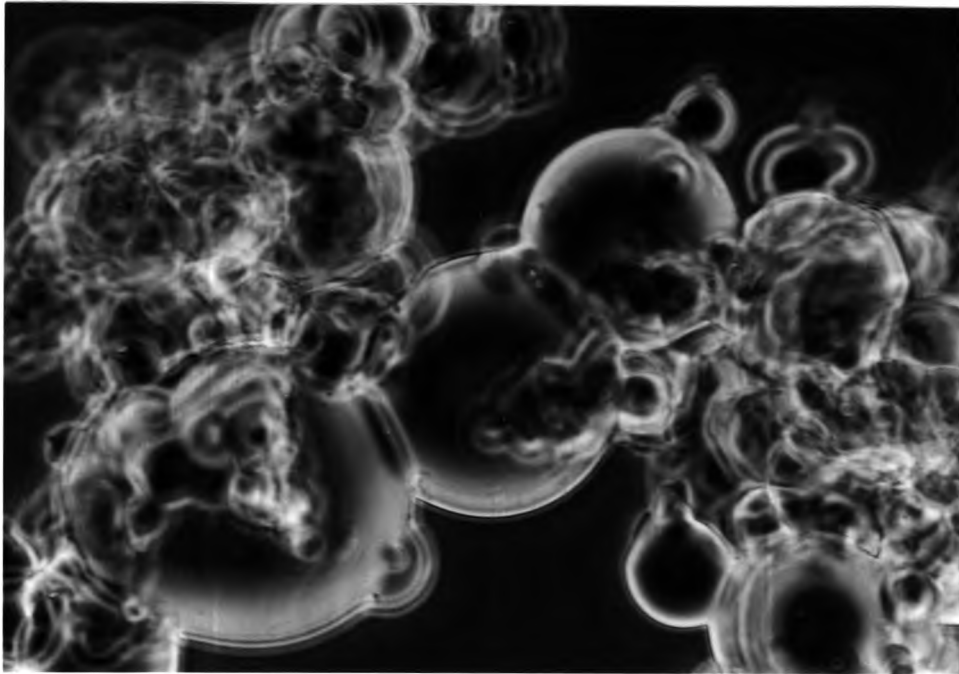
จากทดลอง เม็ด polyacrylamide gel เมื่ออยู่ในน้ำมันพืช จะมีลักษณะเป็นเม็ดค่อนข้างกลม มีการรวมกันของเม็ด polyacrylamide gel น้อย (รูปที่ 22) และเมื่อนำมาล้างน้ำพบว่า เม็ด polyacrylamide gel จะมีลักษณะซ้อนกัน (รูปที่ 24)



รูปที่ 22 ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ในน้ำมันพืชขนาดกำลังขยาย 200 เท่า ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)



รูปที่ 23 ภาพ scale ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)



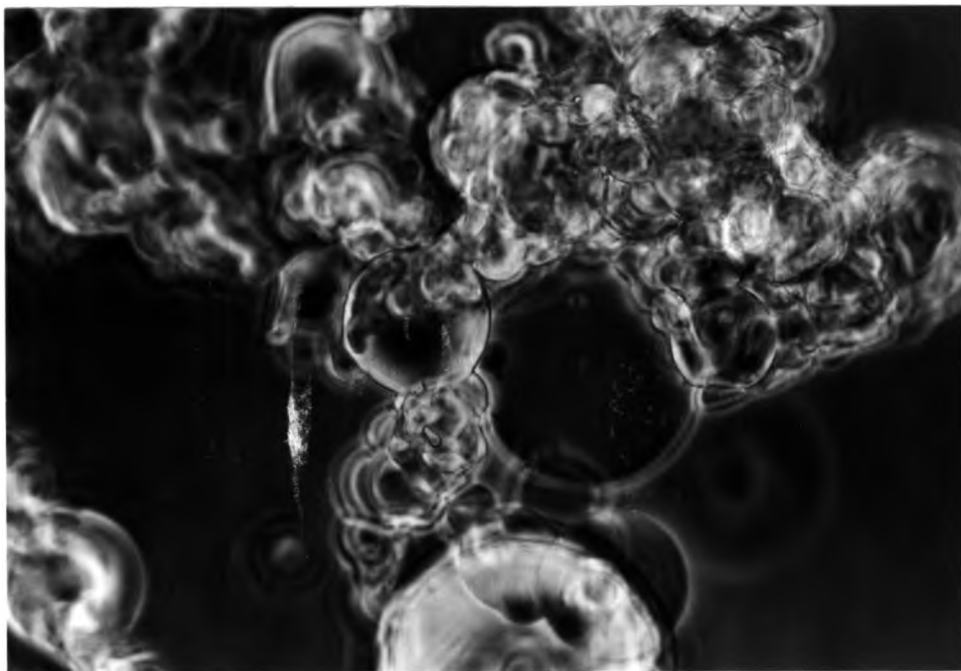
รูปที่ 24 ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ในน้ำ ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)



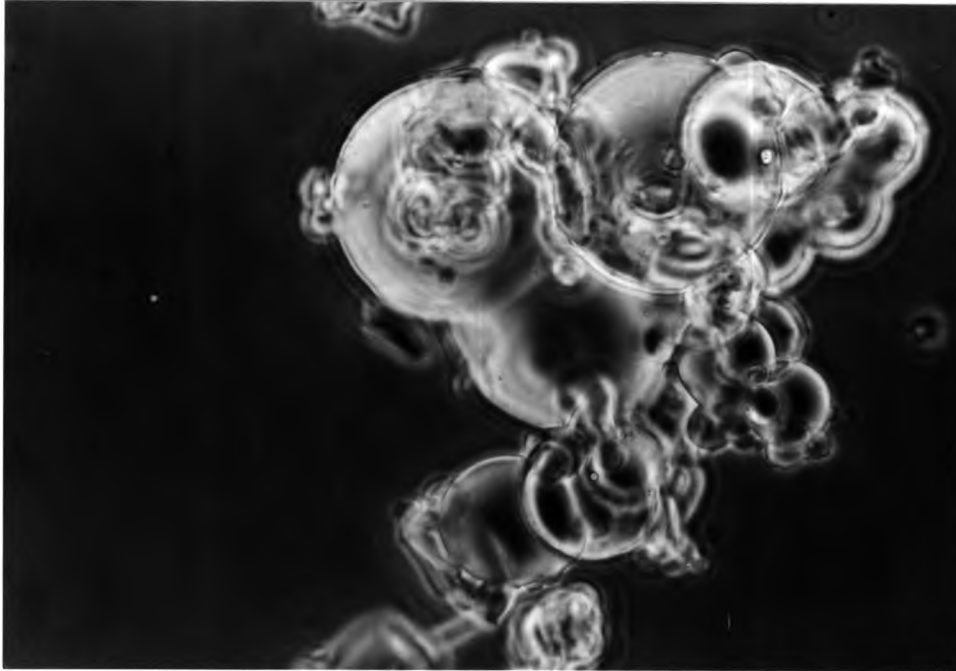
รูปที่ 25 ภาพ scale ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)

### 3.10.1 สมบัติของเม็ด cross-linked polyacrylamide gel เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนต์ ต่างๆ กัน

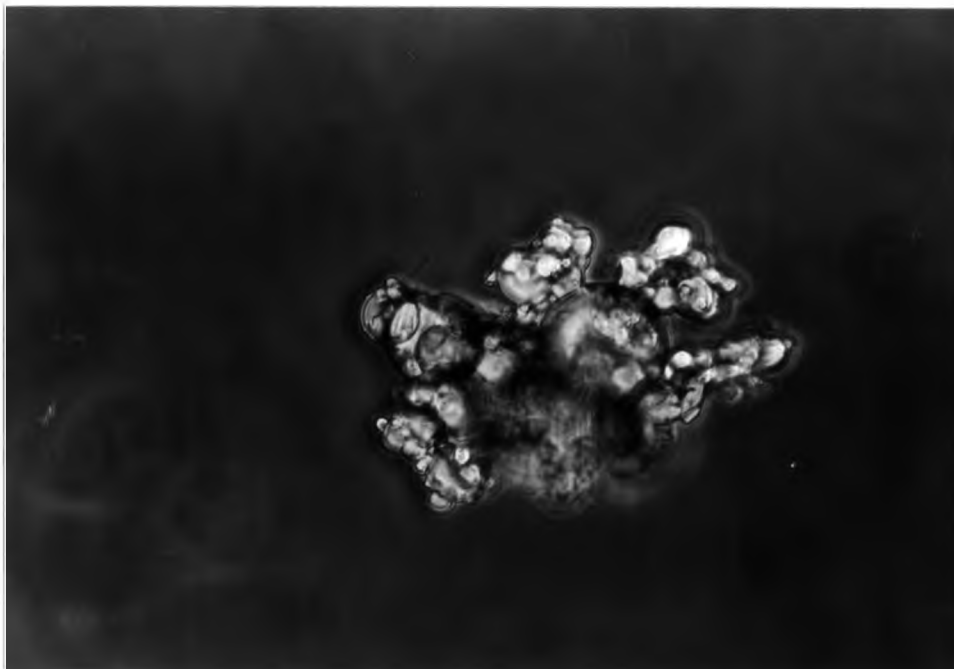
เมื่อนำเม็ด polyacrylamide gel จากข้อ 2.3.5.2 มาแช่ในตัวทำละลายออร์แกนิก-น้ำ พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 20 และ 40 % เม็ด polyacrylamide gel จะเกิดการบวมตัวและ 60 80 และ 100 % จะเกิดการบวมตัว



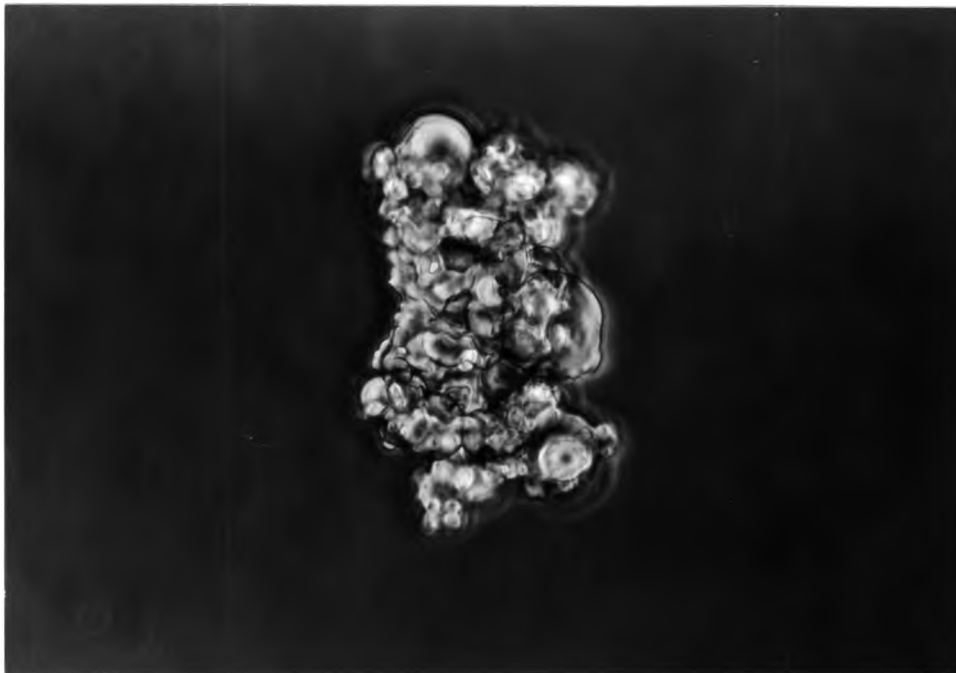
รูปที่ 26 ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53 % ในสารผสมอะซิโตนน้ำ 20% เป็นเวลา 1 นาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)



รูปที่ 27 ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53 % ในสารผสม  
อะซิโตนน้ำ 40% เป็นเวลา 1 นาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ที่ถ่ายจากกล้อง  
จุลทรรศน์ (OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)



รูปที่ 28 ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53 % ในสารผสม  
อะซิโตนน้ำ 60% เป็นเวลา 1 นาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ที่ถ่ายจากกล้อง  
จุลทรรศน์ (OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)



รูปที่ 29 ภาพถ่ายเมื่อด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53 % ในสารผสม อะซิโตนน้ำ 80% เป็นเวลา 1 นาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)



รูปที่ 30 ภาพถ่ายเมื่อด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53 % ในสารผสม อะซิโตนน้ำ 100% เป็นเวลา 1 นาที ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)

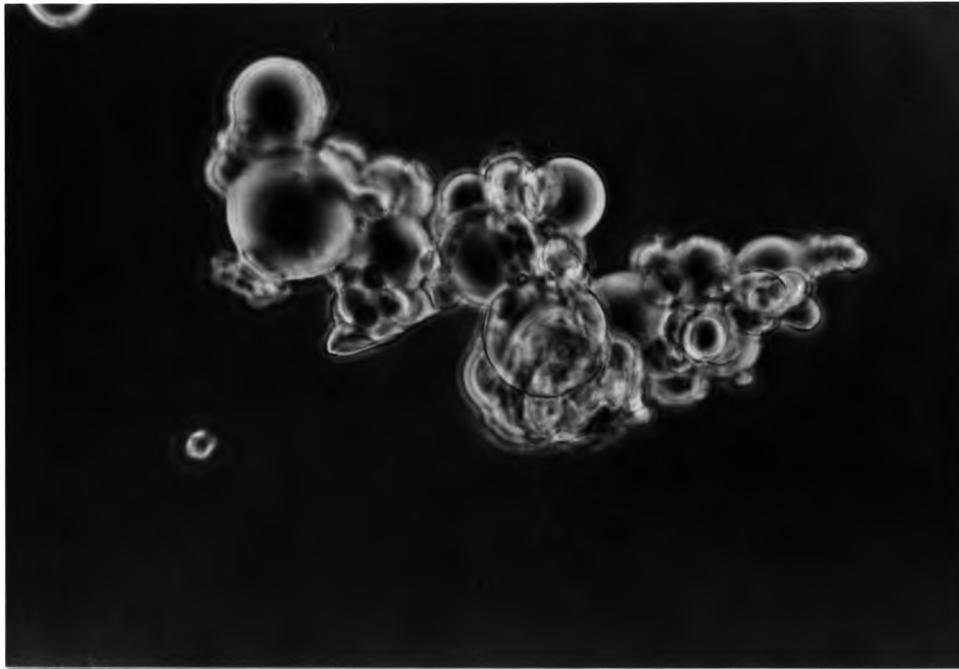
### 3.10.2 สมบัติของเม็ด cross-linked polyacrylamide gel เมื่อแช่ในตัวกลาง ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ กัน

พบว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างทั้ง 5 ค่า จะมีผลทำให้เม็ด polyacrylamide gel ขยายตัว โดยที่  
ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.25 จะขยายตัวน้อยที่สุด

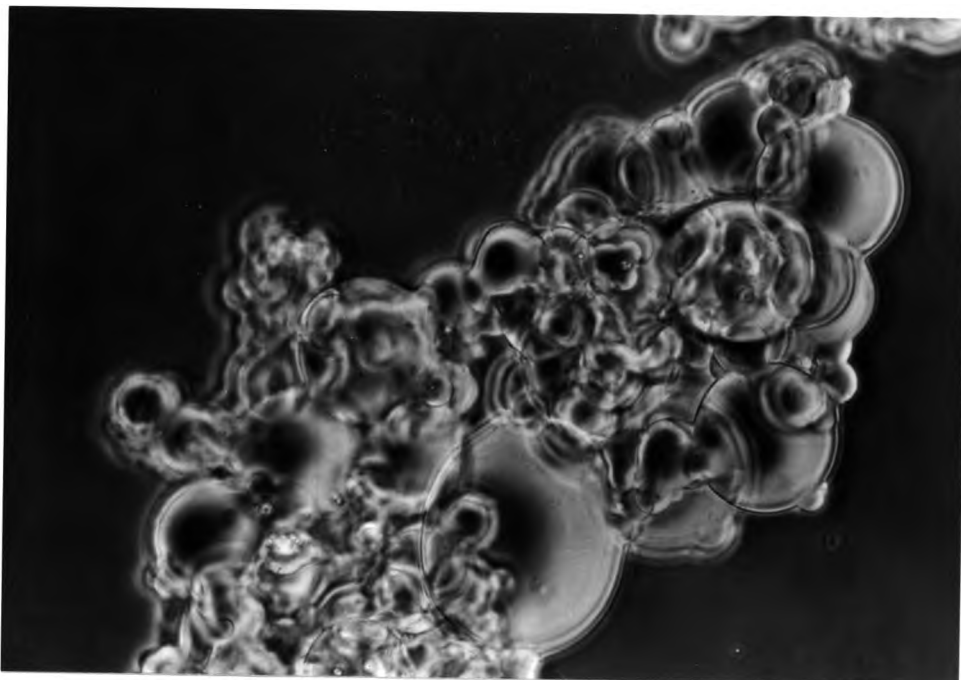


รูปที่ 31 ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53 % ในสารละลาย  
บัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 2.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ที่ถ่ายจาก  
กล้องจุลทรรศน์(OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE  
ATTACHMENT)

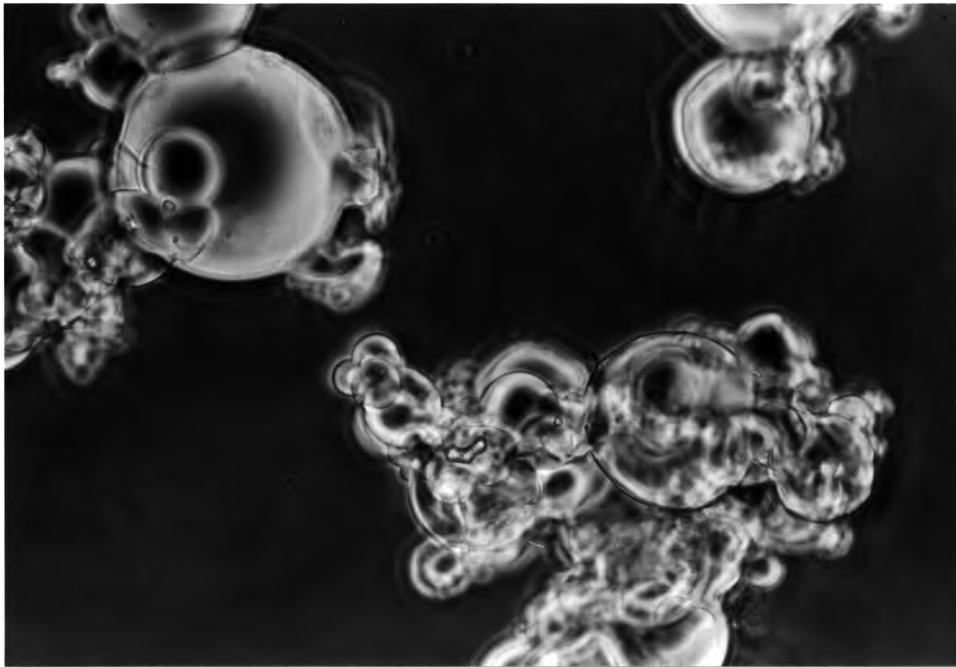




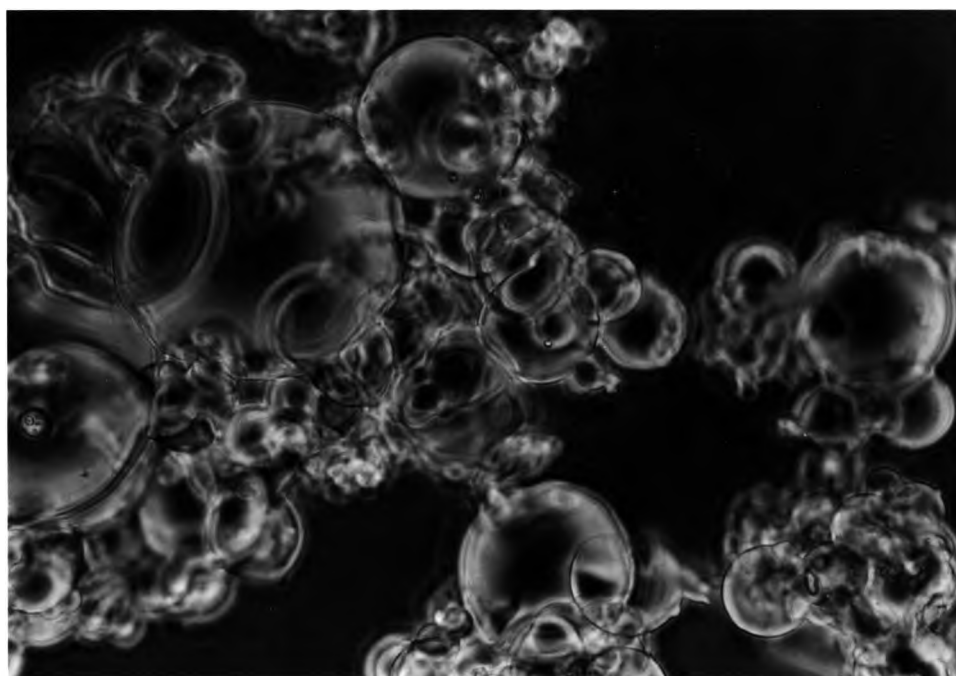
รูปที่ 32 ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53 % ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 3.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)



รูปที่ 33 ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53 % ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 4.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)



รูปที่ 34 ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53 % ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 5.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์(OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)



รูปที่ 35 ภาพถ่ายเม็ด polyacrylamide gel ที่มี acrylic acid residue 5.53 % ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 6.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์(OPTIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT)