บทที่ 2
เคมีภัณฑ์ , เครื่องมือ และ วิธีการทดลอง

2.1 เคมีภัณฑ์

- acrylamide จาก MERCK-Schucharlt Art. 800830 Lot. 53090172
- ammonium persulfate จาก BIO-RAD CAS 7727-54-0 , catalog No.161- 0700
- N,N,N,N'- tetramethyl ethylene diamine (TEMED) จาก BDH Prod 30385 9663260 k AR grade
- N,N' - methylene-bis-acrylamide จาก SIGMA lot 20H0403
- น้ำมันถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธี ตรา องุ่น จาก บริษัท น้ำมันพืชไทย จำกัด (มหาชน)
- acetone จาก Mallinckrodt lot. 2440 KMHY AR grade
- ethanol จาก MERCK-Schucharlt
- hydrochloric acid จาก CARLO ERBA REGENTI code no.403872 cas no.7647-01-0
- sodium hydroxide จาก BDH Int + 46 31 587000 UN1823 AR grade
- sodium acetate trihydrate จาก BDH Lot. 151 TA 214704 AR grade
- acetic acid จาก MERCK-Schucharlt Lot No. 120 k 16086463 AR grade
- di-sodium hydrogen phosphate dodecahydrate จาก FLUKA analysis no. 303445 1290 AR grade
- sodium dihydrogen phosphate monohydrate จาก MERCK-Schucharlt lot 003 A473646 AR grade
- glycine จาก SIGMA Lot 50H0712 AR grade
- butan1-2 ol จาก BDH Product No. 27507 AR grade
- n-butyl acetate จาก BDH lot. 1641530 L AR grade
- kappa carrageenan จาก SIGMA Lot. 16H0616
- sodium alginate จาก BDH lot. 238 K17650319 Prod. 30105 AR grade
- Carbopol 940 ชนิดผง (BF goodrich) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไบโอไฟล์ จำกัด
- กาว cyanoacrylate ตรา ช้าง
- gelatine จาก BDH lot. 217K177370

2.2 เครื่องมือ

- เครื่องวัดค่าดรรชนีหักเหแสง (reflective index of light) จาก ADAM HILGER ประเทศอังกฤษ วัด reflective index scale ตั้งแต่ 1.3000-1.7000
- เครื่องวัดความเร็วรอบแบบมือถือระบบดิจิตอล รุ่น DT-240P เป็นเครื่องวัดความเร็วรอบแบบลำแสง จาก DIGICON
- กล้องจุลทรรศน์ OPIPHOT LABOPHOT EPISCOPIC FLUORESENCE ATTACHMENT EF-D จาก NIPPON KOGAKU K.K.
- ก๊าซไนโตรเจน บริษัท TIG
- เข็มฉีดยา ขนาดหัวฉีด 22G * 1.5 นิ้ว 0.7*38 มิลลิเมตร
- หลอดฉีดยา (syringe) พลาสติก ขนาด 10 มิลลิลิตร
- dialysis tubing (cellulose membrane) จาก SIGMA lot 16 H1545
- viscometer (Rotovisco) รุ่น RV 20 จาก HAAKE วัด visosity ตั้งแต่ 1.0 - $2*10^5$ cP
- SD5 Stimulator Grass Instruments จาก Quincy Mass U.S.A. Serial L 726P6
- CHNS / O analyser (PERKIN ELMER PE 2400 SERIES 2 : OPTION CHN) ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- voltmeter รุ่น YX - 360TR จาก Sanwa
- green 0.45 μm Prep - Disc membrane filter catalog no. 343-0001 บริษัท BIO - RAD
- shimadzu recording spectrophotometer UV-240 (P/N 204 - 58000)
- laser pointer
- mastersizer optical measurement unit จาก ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ammeter digital multimeter จาก METEX model M 3650

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การเตรียมสารละลาย

2.3.1.1 สารละลาย 1.0 M HCl

● นำ HCl ปริมาณ 83.6 มิลลิลิตร * มาละลายลงในน้ำกลั่น ให้ปริมาตรสุดท้ายเป็น1000 มิลลิลิตร

2.3.1.2 สารละลาย 1.0 M NaOH

● นำ NaOH ปริมาณ 40 กรัม มาละลายลงในน้ำกลั่น ให้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1000 มิลลิลิตร

2.3.1.3 สารละลาย 1.0 M glycine

● นำ glycine ปริมาณ 75.07 กรัม มาละลายด้วยน้ำกลั่น ให้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1000 มิลลิลิตร

2.3.1.4 สารละลาย 1.0 M sodium dihydrogen phosphate monohydrate

● นำ sodium dihydrogen phosphate monohydrate ปริมาณ 138.01 กรัม มาละลายด้วยน้ำกลั่น ให้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1000 มิลลิลิตร

2.3.1.5 สารละลาย 1.0 M di-sodium hydrogen phosphate dodecahydrate

● นำ di-Sodium hydrogen phosphate dodecahydrate ปริมาณ 358.22 กรัม มาละลายด้วยน้ำกลั่น ให้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1000 มิลลิลิตร

2.3.1.6 สารละลาย 1.0 M sodium acetate trihydrate

● นำ sodium acetate trihydrate ปริมาณ 136.09 กรัม มาละลายด้วยน้ำกลั่น ให้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1000 มิลลิลิตร

2.3.1.7 สารละลาย 1.0 M acetic acid

● นำ acetic acid ปริมาณ 57.0 มิลลิลิตร ** มาละลายด้วยน้ำกลั่น ให้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1000 มิลลิลิตร

---

* คำนวณได้จากสูตร 100 x 36.5 x molar / 37 x 1.18 (100 x น้ำหนักโมเลกุล x molality / เปอร์เซนต์ของสาร x ความหนาแน่น)

** คำนวณได้จากสูตร v = 100 x mM / Pd โดย v คือ ปริมาตรของ acetic acid, m คือ molality , M คือ น้ำหนักโมเลกุล, P คือ เปอร์เซนต์ของสาร และ d คือ ความหนาแน่น

2.3.2 การเตรียม cross - linked polyacrylamide gel

● เตรียม stock 50% acrylamide solution ที่ประกอบด้วย 50 กรัม ของ acrylamide และ 0.665 กรัมของ N, N'-methylene- bis - acrymide มาละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้าย100 มิลลิลิตร

● นำ 50% acrymide solution ที่เตรียมได้จากข้างต้นมา 10 20 30 และ40 มิลลิลิตร ผสมกับN, N, N, N'- tetramethylethylenediamine(TEMED) 240 480 720 และ 960 ไมโครลิตร ตามลำดับ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนได้ปริมาตรสุดท้าย 100 มิลลิลิตรซึ่งเป็น การเตรียม polyacrymide gel ที่ระดับความเข้มข้น 5 10 15 และ 20 % ตามลำดับ ในขวดรูปกรวย (flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดปากขวดรูปกรวยด้วยจุกยางที่มีแท่งแก้วเสียบอยู่

● นำขวดรูปกรวย ไปทำการดูดก๊าซออก (degass) โดยใช้ เครื่องดูดก๊าซซึ่งมีสายยางต่อเข้ากับปลายแท่งแก้วของจุกยางเป็นเวลาประมาณ 5 นาที หรือจนกว่าฟองก๊าซจะหมด และนำไปปรับอุณหภูมิจนอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 0 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำไปพ่นก๊าซไนโตรเจนลงในขวดรูปกรวยเป็นเวลาประมาณ 5 นาที

● ผสม ammonium persulfate 40 80 120 และ 160 มิลลิกรัม ลงไปในขวดรูปกรวย เขย่าให้เข้ากัน

2.3.3 การเตรียมสารละลายผสมของ ตัวทำละลายออแกนิก-น้ำ

● นำสารละลายอะซิโตน หรือ สารละลายเอธานอล ปริมาณ 20 40 60 และ 80 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 80 60 40 และ 20 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นการเตรียมสารผสมของตัวทำละลายออแกนิก-น้ำ ที่ระดับความเข้มข้น 20 % 40 % 60% และ 80% ตามลำดับ

2.3.4 การเตรียม buffer solution ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่าง ๆ (Dawson, 1986)

2.3.4.1 การเตรียม buffer solution ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) 2.25

● นำ 1.0 M glycine ที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1.3 ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ผสมกับ 1.0 M HCl ที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1 1 ปริมาณ 20.55 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้าย 100 มิลลิลิตร

2.3.4.2 การเตรียม buffer solution ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) 3.25

- นำ 1.0 M glycine ที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1.3 ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ผสมกับ 1.0 M HCl ที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1.1 ปริมาณ 3.25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้าย 100 มิลลิลิตร

2.3.4.3 การเตรียม buffer solution ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) 4.25

- นำ 1.0 M sodium acetate trihydrate ที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1.6 ปริมาณ 29.125 มิลลิลิตร ผสมกับ 1.0M acetic acid ที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1.7 ปริมาณ 70.875 มิลลิลิตร

2.3.4.4 การเตรียม buffer solution ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) 5.25

- นำ 1.0 M sodium acetate trihydrate ที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1.6 ปริมาณ 80.75 มิลลิลิตร มาผสมกับ 1.0 M acetic acid ที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1.7 ปริมาณ 19.25 มิลลิลิตร

2.3.4.5 การเตรียม buffer solution ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.25

- นำ 1.0 M di-sodium hydrogen phosphate dodecahydrate ที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1.5 ปริมาณ 20.5 มิลลิลิตร ผสมกับ 1.0 M sodium-dihydrogen phosphate monohydrate ที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.1.4 ปริมาณ 79.5 มิลลิลิตร

2.3.5 การเตรียมพอลิเมอร์สำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ

2.3.5.1 การเตรียม polyacrylamide gel แบบท่อน

- ดูด polyacrylamide ที่ระดับความเข้มข้น 5% ที่กำลัง polymerize จากข้อ 2.3.2.4 ใส่แท่งหลอดแก้วขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร หรือขวดแก้ว ปริมาตร 40 มิลลิลิตร และ ปิดทับด้านบนไม่ให้ออกซิเจนในอากาศเข้าไปยับยั้งการแข็งตัวของเนื้อเจล โดยเติม butan-2-ol ทิ้งไว้ให้ polyacrylamide gel แข็งตัว ประมาณ 1 ชั่วโมง และจึงนำเอา polyacrylamide gel ออกจากแท่งหลอดแก้วโดยใช้เข็มฉีดยาที่มีน้ำเย็นอยู่ฉีดรอบ ๆ ภายในหลอดแก้ว

- นำท่อน polyacrylamide gel ที่ได้มาแช่ในน้ำที่อิ่มตัวด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อล้างเอาสิ่งที่ยังหลงเหลือของ acrylamide , N, N'-methylene - bis - acrymide ammonium persulfate และ N, N, N, N' - tetramethylethylenediamine (TEMED) ออก

2.3.5.2 การเตรียม polyacrylamide gel แบบเม็ด

- ใช้หลอดฉีดยาพร้อมเข็มฉีดยาดูด polyacrylamide ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20% ที่กำลัง polymerize จากข้อ 2.3.2 ปริมาณ 20 มิลลิลิตร มาฉีดลงในน้ำมันพืช n-butyl

acetate หรือ สารละลายผสมน้ำมันพืช กับ n-butyl acetate ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ซึ่งถูกปั่นด้วย magnetic stir bar ที่ความเร็ว 300, 600, 900 และ 1200 rpm การหล่อเม็ด polyacrylamide gel ทำในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วย aluminium foil และมีก๊าซไนโตรเจนพ่นอยู่ตลอดเวลาที่ความดัน ประมาณ 1300 lb /in^2 หรือ 90 kg /cm^2 จนเห็นว่า polyacrylamide gel แข็งตัว โดยปกติที่ระดับความเข้มข้น 5% polyacrylamide gel จะใช้เวลาในการพ่นก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลาประมาณ 40 นาที ที่ระดับความเข้มข้น 10% polyacrylamide gel จะใช้เวลาในการพ่นก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลาประมาณ 30 นาที ที่ระดับความเข้มข้น 15% polyacrylamide gel จะใช้เวลาในการพ่นก๊าซไนโตรเจน เป็นเวลาประมาณ 20 นาที และ ที่ระดับความเข้มข้น 20% polyacrylamide gel จะใช้เวลาในการพ่นก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลาประมาณ 15 นาที

- นำเม็ด polyacrylamide gel ที่ได้มาทำการล้างด้วยน้ำกลั่นโดยใช้กรวยแยก (separatory funnel) ทำการเขย่าเพื่อล้างเม็ด polyacrylamide gel ออกจาก น้ำมันพืช, สารละลายผสมน้ำมันพืช กับ n-butyl acetate และ n-butyl acetate โดยการเขย่าและตั้งทิ้งไว้จนเม็ด polyacrylamide gel ตกลงไปอยู่ด้านล่างของ separatory funnel แล้วจึงทำการไขเอาเม็ด polyacrylamide gel ออก จะทำการล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 3 ครั้งแล้วจึงนำเม็ด polyacrylamide gel ที่ได้ไปแช่ในน้ำกลั่นที่อิ่มตัวด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการหล่อ polyacrylamide gel แบบท่อน

- นำเม็ด polyacrylamide gel ที่ระดับความเข้มข้น 5 10 15 และ 20% ที่ปั่นด้วยความเร็ว 1200 rpm มาทำการวัดขนาดอนุภาคโดยเครื่อง mastersizer optical measurement unit

2.3.5.3 การเตรียม polyacrylamide ที่มิได้ cross-linked

- เตรียม stock 50% acrylamide solution ที่ประกอบด้วย 50 กรัม ของ acrylamide มาละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายที่ 100 มิลลิลิตรน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายที่ 100 มิลลิลิตร

- นำ 50% acrymide solution ที่เตรียมได้มา2 10 และ 20 มิลลิลิตร ผสมกับ N, N, N, N'- tetramethylethylenediamine (TEMED) 24 120 และ 240 ไมโครลิตร ตามลำดับ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนได้ปริมาตรสุดท้าย 100 มิลลิลิตร ซึ่งเป็น การเตรียม polyacrymide gel ที่ระดับความเข้มข้น 1 5 และ 10% ตามลำดับ ในขวดรูปกรวย(flask) ขนาด 250 มิลลิลิตรปิดปากขวดรูปกรวยด้วยจุกยางที่มีแท่งแก้วเสียบอยู่

- นำขวดรูปกรวยจากข้อ 2.3.2.2 ไปทำการดูดก๊าซออก (degass) โดยใช้เครื่องดูดก๊าซซึ่งมีสายยางต่อเข้ากับปลายแท่งแก้วของจุกยาง เป็นระยะเวลาประมาณ 5 นาที หรือจนกว่าฟอง

ก๊าซจะหมด และนำไปปรับอุณหภูมิจนอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 0 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำไปพ่นก๊าซไนโตรเจนลงในขวดรูปกรวยเป็นเวลาประมาณ 5 นาที

- ผสม ammonium persulfate 8 40 และ 80 มิลลิกรัม ลงไปในขวดรูปกรวยเขย่าให้เข้ากัน

2.3.5.4 การเตรียม 1.5% Carbopol 940 gel

- นำผง Carbopol 1.5 กรัมมาค่อย ๆ ใส่ลงใน 0.01 M phosphate buffer ขณะใส่ปั่นเครื่องตีไข่ด้วยความเร็วสูง จะได้ Carbopol gel ที่มีลักษณะเป็นของเหลว มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 3-4
- ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วย 50 % โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ จนได้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 7.0 จะได้ Carbopol ที่มีลักษณะข้นคล้ายเจลใส่ผม

2.3.5.5 การเตรียม 1.5 % kappa-carrageenan

- นำ kappa - carrageenan 1.5 กรัม มาใส่ลงในน้ำเดือดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปั่นด้วย magnetic bar ปั่นจนกระทั่ง ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำกลั่น
- เทลงในจานแก้ว(petri - dish)ขณะยังร้อน ประมาณ 40 มิลลิลิตร จะได้ kappa-carrageenan ซึ่งมีความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตรทิ้งไว้จนเย็นประมาณ 20 นาที
- นำ kappa-carrageenan เป็นชิ้นขนาดความกว้างและความยาว 1 เซนติเมตร
- ศึกษาลักษณะทางกายภาพของ kappa-carrageenan

2.3.5.6 การเตรียม 1.5 % sodium alginate และ gelatin

- ชั่ง sodium alginate หรือ gelatin 1.5 กรัม มาใส่ลงในน้ำเดือดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปั่นด้วย magnetic bar ปั่นจนกระทั่ง ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำกลั่น
- เทลงในจานแก้ว (petri - dish) ขณะยังร้อน ประมาณ 40 มิลลิลิตร จะได้ sodium alginate หรือ gelatin ซึ่งมีความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ทิ้งไว้จนเย็น
- ศึกษาลักษณะทางกายภาพของ sodium alginate และ gelatine

2.3.5.7 การเตรียมสารผสม n - butyl acetate - น้ำมันพืช

- นำ n - butyl acetate ปริมาณ 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 และ 100 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำมันพืช 100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 และ 0 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นการเตรียมสารผสม n - butyl acetate - น้ำมันพืช ที่ระดับความเข้มข้น 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 และ 100% ตามลำดับ

2.3.6 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของพอลิเมอร์ต่างๆ

● นำ 1.5 % gelatine 1.5% kappa - carrageenan 1.5% sodium alginate 1.5% Carbopol gel 5.0% polyacrylamide gel มาทำ การวัดค่าการดูดกลืนแสง (A) ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 - 700 nm โดยใช้เครื่อง shimadzu recording spectrophotometer UV-240 (P/N 204 - 58000)

2.3.7 การวัดความหนืดของสาร

● นำ สารผสม n - butyl acetate - น้ำมันพืช จากข้อ 2.3.5.7 มาทำการวัดค่าความหนืดโดยใช้เครื่อง visvcometer โดยใช้หัววัดแบบ NV ซึ่งการวัดจะใช้เวลา 4 นาที ต่อ 1 ตัวอย่าง

2..3.8 การสร้าง acrylic acid residue

2.3.8.1 การสร้าง acrylic acid residue ของ polyacrylamide gel ที่ cross - linked

● นำท่อน polyacrylamide gel จากข้อ 2.3.5.1 หรือเม็ด polyacrylamide gel จากข้อ 2.3.5.2 หรือpolyacrylamide gel ที่มิได้ cross-linked จากข้อ 2.3.5.3 ที่เตรียมได้มาแช่ในสารละลาย 0.4 % (volume) ของ N,N,N, N'- tetramethylethylenediamine (TEMED) เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีจาก acrylamide residue ไปเป็น acrylic acid residue (-CONH2-> -COOH$\leftrightarrow$ COO^-) วัด acrylic acid residue โดยอาศัย % ไนโตรเจนที่เปลี่ยนแปลงไปโดยใช้เครื่อง CHNS/O analyser

2.3.8.2 การสร้าง acrylic acid residue ของพอลิเมอร์ ที่มิได้ cross - linked

● นำ polyacrylamide gel ที่มิได้ cross - linked จากข้อ 2.3.5.3 มาบรรจุใน dialysis tubing ปิดปากถุงทั้งสองด้านให้แน่นด้วยเชือกนำไปแช่ใน 0.4%TEMED ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

2.3.9 การทดลองศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ต่างๆ เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าไดอิเลคตริก คอนสแตนท์ (dielectric constant) ต่างๆกัน

2.3.9.1 การทดลองศึกษาสมบัติของท่อน polyacrylamide gel เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าไดอิเลคตริก คอนสแตนท์ (dielectric constant) ต่างๆกัน

- นำท่อน polyacrylamide gel ที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเป็น acrylic acid residue ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน จากข้อ 2.3.8.1 มาล้างน้ำ2 ครั้งแล้วจึงนำมาแช่ในตัวทำละลายออร์แกนิกที่ระดับความเข้มข้น 20% 40% 60% 80% 100% เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้ vernier caliper รวมทั้งรูปร่าง และลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของท่อน polyacrylamide gel
- คำนวนหาค่าอัตราส่วนการบวมตัว (swelling ratio) ของ polyacrylamide gel

การคำนวณหาค่าอัตราส่วนการบวมตัว (swelling ratio) ของ polyacrylamide gel

จาก $\rho_{สุดท้าย} / \rho_{เริ่มต้น} = \dfrac{มวล / ปริมาตร_{สุดท้าย}}{มวล / ปริมาตร_{เริ่มต้น}}$

$= \dfrac{มวล \times ปริมาตร_{เริ่มต้น}}{มวล \times ปริมาตร_{สุดท้าย}}$

$= \dfrac{ปริมาตร_{เริ่มต้น}}{ปริมาตร_{สุดท้าย}}$

$= \dfrac{4/3\pi (d_{เริ่มต้น}/2)^3}{4/3\pi (d_{สุดท้าย}/2)^3}$

$= \dfrac{d_{เริ่มต้น}^3}{d_{สุดท้าย}^3}$

หมายเหตุ : เนื่องจากเนื้อเจลทั้งสองสภาพมีมวลเท่ากัน

2.3.9.2 การทดลองศึกษาสมบัติของเม็ด polyacrylamide gel เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าไดอิเลคตริก คอนสแตนท์ (dielectric constant) ต่างๆกัน

- นำ polyacrylamide gel จากข้อ 2.3.8.1 ที่แช่น้ำที่อิ่มตัวด้วย ก๊าซไนโตรเจน 24 ชั่วโมงและทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเป็น acrylic acid residue โดยใช้ N, N, N, N'-tetramethylethylenediamine (TEMED) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันมาล้างน้ำซ้ำโดย 0. 45 μm prep-disc membrane filter ทำการล้างเม็ด polyacrylamide gel โดยใช้เข็มฉีดยาที่มีน้ำกลั่นฉีดล้างประมาณ 5 ครั้ง เพื่อล้างเอาน้ำมันพืชรอบ ๆ เม็ด polyacrylamide gel ออก

- พลิกตัวกรอง 0.45 μm prep-disc membrane filter อีกด้านหนึ่ง ใช้เข็มฉีดยาบรรจุตัวทำละลายออร์แกนิก ที่ระดับความเข้มข้น 20% 40% 60% 80% และ 100%
- นำเม็ด polyacrylamide gel ที่อยู่ในตัวทำละลายออร์แกนิกมาทำการส่องกล้องจุลทรรศน์โดยเม็ด polyacrylamide gel ทำการถ่ายภาพตั้งแต่ 1 2 3 4 5 และ 10 นาที

2.3.9.3 การทดลองศึกษาสมบัติของแผ่น kappa - carrageenan มื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าไดอิเลคตริก คอนสเตนท์ (dielectric constant) ต่างๆกัน

- นำแผ่น kappa - carrageenan ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ จากข้อ 2.3.5.5 มาตัดเป็นชิ้นขนาดความกว้าง และ ความยาว 1 เซนติเมตร มาแช่ในตัวทำละลายออร์แกนิก - น้ำที่ระดับความเข้มข้น 20% 40% 60% 80% และ100% โดยแช่ไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
- ทำการวัดขนาดความหนา, ความกว้าง และ ความยาวโดยใช้ vernier caliper รวมทั้งรูปร่าง และลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่น kappa - carrageenan

2.3.9.4 การทดลองศึกษาสมบัติของ polyacrylamide gel ที่มิได้ cross - linked เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าไดอิเลคตริก คอนสเตนท์ (dielectric constant) ต่างๆกัน

- นำ polyacrylamide gel ที่มิได้ cross - linked ที่แช่ 0.4%TEMED ที่เวลาต่าง ๆ กัน จากข้อ 2.3.8.2 และ 1.5% Carbopol 940 gel จากข้อ 2.3.5.4 บรรจุลงในหลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ความยาว 1.0 เซนติเมตร ปิดปากหลอดแก้วทั้งสองด้านด้วย dialysis tubing ตัวทำละลายออร์แกนิก - น้ำ ที่ระดับความเข้มข้น 20% 40% 60% 80% และ100%โดยแช่ไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง
- ทำการวัดขนาด และศึกษาลักษณะที่เปลี่ยนแปลง

2.3.10 การทดลองศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ต่างๆ เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง ต่างๆกัน

2.3.10.1 การทดลองศึกษาสมบัติของท่อนpolyacrylamide gel เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง ต่างๆกัน

- นำท่อน polyacrylamide gel ที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเป็น acrylic acid residueที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันจากข้อ 2.3.8.1มาล้างน้ำ2 ครั้งแล้วจึงนำมาแช่ใน สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง 2.25 3.25 4.25 5.25 และ 6.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

- ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้ vernier caliper รวมทั้งรูปร่าง และลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของท่อน polyacrylamide gel

2.3.10.2 การทดลองศึกษาสมบัติของ เม็ด polyacrylamide gel เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง ต่างๆกัน

- นำ polyacrylamide gel จากข้อ 2.3.8.1 ที่แช่น้ำที่อิ่มตัวด้วยก๊าซไนโตรเจน 24 ชั่วโมงและทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเป็น acrylic acid residue โดยใช้ N, N, N, N'-tetramethylethylenediamine (TEMED) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันมาล้างน้ำซ้ำโดย 0. 45 μm prep-disc membrane filter ทำการล้างเม็ด polyacrylamide gel โดยใช้เข็มฉีดยาที่มีน้ำกลั่นฉีดล้างประมาณ 5 ครั้ง เพื่อล้างเอาน้ำมันพืชรอบ ๆ เม็ด polyacrylamide gel ออก
- พลิกตัวกรอง 0.45 μm prep-disc membrane filter อีกด้านหนึ่ง ใช้เข็มฉีดยาบรรจุสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง 2.25 3.25 4.25 5.25 และ 6.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- นำเม็ด polyacrylamide gel ที่อยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์มาทำการส่องกล้องจุลทรรศน์โดยเม็ด polyacrylamide gel ทำการถ่ายภาพตั้งแต่ 1 2 3 4 5 และ 10 นาที

2.3.10.3 การทดลองศึกษาสมบัติของแผ่น kappa - carrageenan เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง ต่างๆกัน

- นำแผ่น kappa - carrageenan ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ จากข้อ 2.3.5.5 มาตัดเป็นชิ้นขนาดความกว้าง และ ความยาวท 1 เซนติเมตร มาแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง 2.25 3.25 4.25 5.25 และ 6.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- ทำการวัดขนาดความหนา ความกว้าง และ ความยาวโดยใช้ vernier caliper รวมทั้งรูปร่าง และลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่น kappa - carrageenan

2.3.10.4 การทดลองศึกษาสมบัติของ polyacrylamide gel ที่มิได้ cross - linked เมื่อแช่ในตัวกลางที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง ต่างๆกัน

- นำ polyacrylamide gel ที่มิได้cross - linked ที่แช่ 0.4%TEMED ที่เวลาต่าง ๆ กัน จากข้อ 2.3.6.2 และ 1.5% Carbopol 940 gel จากข้อ 2.3.5.4 บรรจุลงในหลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ความยาว1.0 เซนติเมตรปิดปากหลอดแก้วทั้งสองด้านด้วย dialysis tubing แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง 2.25 3.25 4.25 5.25 และ 6.25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2.3.11 การวัดค่ากระแสไฟฟ้า (current) ที่ระดับความต่างศักดา ต่างๆ

- เตรียม ตัวต้านทาน ทำโดยนำท่อน polyacrylamide gel ขนาดความยาว 3 เซนติเมตร มาวางใส่ในภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใสที่มีน้ำกลั่น หรือ 50% สารผสม อะซิโตน - น้ำ จุ่ม electrode ขั้วบวก และ ลบห่างจาก ท่อน polyacrylamide gel ด้านละ 0.5 เซนติเมตร
- นำตัวต้านทาน จากข้างต้น มาต่อเข้ากับแอมมิเตอร์ (ammeter) โดย ขั้วบวกต่อเข้ากับ ขั้วบวก และ ขั้วลบต่อเข้าขั้วลบวัดที่ระดับความต่างศักดา 5 10 15 20 และ 25 volts
- นำค่าความต่างศักดา และ กระแสมาคำนวณค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

การคำนวณหาค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า

จากสูตร กำลังไฟฟ้า(P) = พลังงานไฟฟ้า(E) /เวลา(t)

= ความต่างศักดา(V) * กระแสไฟฟ้า(I)

$Q = ms\Delta T$

$VI = ms\Delta T / t$

$\Delta T = VIt / mc$

โดย s เป็นค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ ;

(specific heat capacity) =4.18 * 10^{-3} J/g . K (กิ่งแก้ว ศิริวิทยากร ,2535)

m คำนวณได้จากสูตร ปริมาตรทรงกระบอก = $\pi r^2 h$

กำลังไฟฟ้า(P) มีหน่วยเป็น watt (J.s)

ความต่างศักดา(V) มีหน่วยเป็น volt

กระแสไฟฟ้า(I) มีหน่วยเป็น ampre

t คือ เวลา (วินาที)

ΔT อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

2.3.12 การทดลองการยุบตัวของพอลิเมอร์

2.3.12.1 การทดลองการยุบตัวของพอลิเมอร์ เมื่อใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

- นำท่อน polyacrylamide gel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง0.85 เซนติเมตรความยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร และ แผ่น kappa - carrageenan ขนาดความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตรมาใส่ลงในรางพลาสติกที่ปิดปลายทั้ง 2 ด้านด้วยดินน้ำมัน และภายในรางจะมีน้ำกลั่น หรือ 50% สารผสมอะซิโตน - น้ำ

- ผ่านไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ระดับ 5 10 15 20 และ25 volts ลงในน้ำกลั่น หรือ 50 % สารผสมอะซิโตน-น้ำ เป็นระยะเวลา 1 2 3 4 และ 5 นาที
- ทำการวัดขนาด และศึกษาลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป

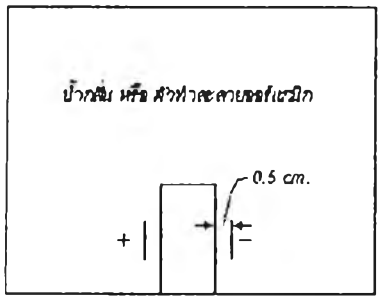
2.3.12.2 การทดลองการยุบตัวของพอลิเมอร์ เมื่อใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

- นำท่อน polyacrylamide gel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตรความยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร และ แผ่น kappa - carrageenan ขนาดความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตรมาใส่ลงใน รางพลาสติกที่ปิดปลายทั้ง 2 ด้าน ด้วยดินน้ำมัน และภายในรางจะมีน้ำกลั่นหรือ50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ
- ผ่านไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ที่ระดับ 25 volts frequency 1.0 pluses/ second delay 0.5 millisecond ลงในน้ำกลั่น หรือ 50 % สารละลายผสมอะซิโตน-น้ำ เป็นระยะเวลา 5 นาที
- ทำการสังเกตสภาพที่เปลี่ยนแปลงเพื่อวัดขนาดและศึกษาลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป

2.3.13 การทดลองการเบนตัวของพอลิเมอร์ เมื่อใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

2.3.13.1 การทดลองการเบนตัวของพอลิเมอร์ ขนาดสั้นที่มีการตรึง ปลายไว้ข้างหนึ่ง เมื่อใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

- นำท่อน polyacrylamide gel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 3.0 เซนติเมตร หรือ แผ่น kappa - carrageenan ขนาดความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 3.0เซนติเมตรมาวางใส่ในภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใสตรึงปลายด้านหนึ่งของท่อน polyacrylamide gel หรือ แผ่น kappa- carrageenan ขนาดสั้นไว้โดยใช้กาว cyanoacrylate ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยไว้เป็นอิสระ ใส่น้ำกลั่น หรือ 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ ในภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส
- จุ่ม electrode ขั้วบวกและขั้วลบ ลงบนภาชนะโดยให้ขั้วบวก และขั้วลบห่างจากท่อน polyacrylamide gel หรือ แผ่น kappa - carraggeenan ขนาดสั้น 0.5 หรือ 1.0 เซนติเมตร โดยวางตรงกลาง (1.5 เซนติเมตร) ของความยาวของท่อน polyacrylamide gel หรือ แผ่น kappa - carraggeenan
- ให้ความต่างศักดา ที่ระดับ 5 10 15 20 และ 25 volts ลงไป สังเกตการเบนตัวของท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้น หรือ แผ่น kappa - carrageenan ขนาดสั้น โดยการวัดองศาการเบนตัวที่เปลี่ยนแปลงไปจากเริ่มต้น



(ก) (ข)

รูปที่ 8 ภาชนะบรรจุท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้น หรือ แผ่น kappa - carrageenan ขนาดสั้น ความยาว 3 เซนติเมตรที่แช่ใน น้ำกลั่น หรือ 50% สารผสมอะซิโตน-น้ำ

โดย (ก) ภาพจำลอง (ข) ภาพการทดลองจริง

หมายเหตุ : ภาพการทดลองจริง จะอยู่ในภาชนะจานแก้ว แต่ในการทดลองจริงจะอยู่ในภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส

2.3.13.2 การทดลองการเบนตัวของ polyacrylamide gel ขนาดสั้นที่มีการตรึงปลายไว้ข้างหนึ่ง เมื่อใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

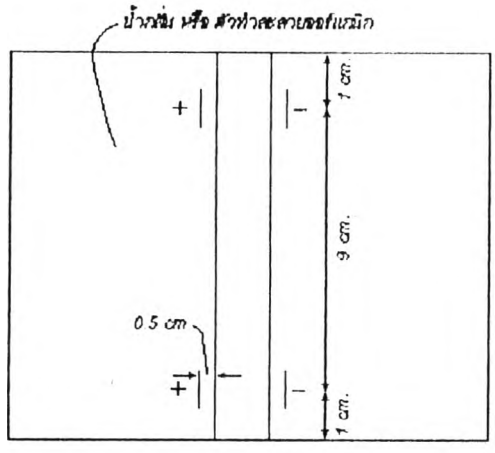
- นำท่อน polyacrylamide gel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตรความยาวประมาณ 3.0 เซนติเมตร หรือ แผ่น kappa - carrageenan ขนาดความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 3.0 เซนติเมตร มาวางใส่ในภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส
- ตรึงปลายด้านหนึ่งของท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้นหรือ แผ่น kappa-carrageenan ขนาดสั้นไว้โดยใช้กาว cyanoacrylate ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยไว้เป็นอิสระ ใส่น้ำกลั่น หรือ 50% สารละลายผสม อะซิโตน-น้ำ ในภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส
- จุ่ม electrode ขั้วบวกและขั้วลบ ลงบนภาชนะโดยให้ขั้วบวก และขั้วลบห่างจากท่อน polyacrylamide gel แผ่น kappa - carraggeenan ขนาดสั้น 0.5 หรือ 1.0 เซนติเมตร โดยวางตรงกลาง (1.5 เซนติเมตร) ของความยาวของท่อน polyacrylamide gel หรือ แผ่น kappa - carraggeenan
- ให้ความต่างศักดา ที่ระดับ 25 volts frequency 1.0 pluses / second delay 0.5 millisecond ลงในน้ำกลั่น หรือ 50 % สารผสมอะซิโตน - น้ำ

2.3.13.3 การทดลองการเบนตัวของพอลิเมอร์ขนาดสั้นที่มีการตรึงตรงกลางของท่อน พอลิเมอร์ เมื่อใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

- นำท่อน polyacrylamide gel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตรความยาวประมาณ 3.0 เซนติเมตร หรือ แผ่น kappa - carrageenan ขนาดความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 3.0 เซนติเมตร มาวางตรงกลางภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใสและตรึงตรงกลางของท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้น หรือ แผ่น kappa- carrageenan สั้นไว้โดยใช้กาว cyanoacrylate ใส่น้ำกลั่น หรือ 50% สารละลายผสม อะซิโตน-น้ำ ในภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส
- จุ่ม electrode ขั้วบวกและขั้วลบ ลงบนภาชนะโดยให้ขั้วบวก และขั้วลบห่างจากท่อน polyacrylamide gel หรือ แผ่น kappa - carraggeenan ขนาดสั้น 0.5 เซนติเมตร โดยวางตรงกลาง (1.5 เซนติเมตร) ของความยาวของท่อน polyacrylamide gel หรือ แผ่น kappa - carraggeenan
- ให้ความต่างศักดา ที่ระดับ 5 10 15 20 และ 25 volts ลงไป สังเกตการเบนตัว ของท่อน polyacrylamide gel หรือ แผ่น kappa - carrageenan ขนาดสั้น โดยการวัดองศาการเบนตัวที่เปลี่ยนแปลงไปจากเริ่มต้น

2.3.13.4 การทดลองการเบนตัวของพอลิเมอร์ขนาดยาว

- นำท่อน polyacrylamide gel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 11.0 เซนติเมตร หรือ แผ่น kappa - carrageenan ขนาดความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 11 เซนติเมตร มาวางตรงกลางภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส และตรึงปลายทั้ง 2 ด้านของท่อน polyacrymide gel ขนาดยาว หรือ แผ่น kappa - carrageenan ขนาดยาวโดยใช้กาว cyanoacrylate ใส่น้ำกลั่น หรือ 50% สารละลายผสม อะซิโตน-น้ำ ในภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส
- จุ่ม electrodeขั้วบวกและขั้วลบลงบนภาชนะโดยจะให้ขั้วบวกและขั้วลบอย่างละ 2 คู่ โดยจุ่มขั้วบวกและขั้วลบคู่ที่ 1 ให้อยู่ห่างจากขอบภาชนะด้านบน 1.0 เซนติเมตร ส่วนขั้วบวกและขั้วลบคู่ที่ 2 ให้อยู่ห่างจากขอบภาชนะด้านล่าง 1.0 เซนติเมตร
- ให้ความต่างศักดา ที่ระดับ 25 volts ลงไป เป็นเวลา 5 นาที สังเกตการเบนตัว ของท่อน polyacrylamide gel ขนาดยาว หรือ แผ่น kappa - carrageenan ขนาดยาว โดยการวัดองศาการเบนตัวที่เปลี่ยนแปลงไปจากเริ่มต้น



(ก) (ข)

รูปที่ 9 ภาชนะบรรจุท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้น หรือ แผ่น kappa - carrageenan ขนาดยาว ความยาว 11 เซนติเมตรที่แช่ใน น้ำกลั่น หรือ 50%สารละลายผสม อะซิโตน - น้ำ

โดย (ก) ภาพจำลอง (ข) ภาพการทดลองจริง

2.3.14 การทดลองการเบนตัวของลำแสงเมื่อฉายแสงผ่าน

2.3.14.1 การทดลองการเบนตัวของลำแสงเมื่อฉายแสงผ่าน ภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส

- ฉายแสงเลเซอร์จาก laser pointer ผ่าน ภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส
- สังเกตทิศทางของลำแสงที่เปลี่ยนไป

2.3.14.2 การทดลองการเบนตัวของลำแสงเมื่อฉายแสงผ่าน ภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส ที่มีท่อน polyacrylamide gel หรือ แผ่น polyacrylamide gel ขนาดสั้นที่มีการตรึงปลายไว้ข้างหนึ่ง

- ฉายแสงเลเซอร์จาก laser pointer ผ่านภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส ที่มี ท่อน polyacrylamide gel หรือ แผ่น polyacrylamide gel ขนาดสั้นที่เบนตัว จากข้อ 2.3.13.1
- สังเกตทิศทางของลำแสงที่เปลี่ยนไป

I 17275185

2.3.14.3 การทดลองการเบนตัวของลำแสงเมื่อฉายแสงผ่านภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส ที่มี ท่อน polyacrylamide gel ขนาดสั้นที่ตรึงตรงกลาง

- ฉายแสงเลเซอร์จาก laser pointer ผ่าน ภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใสที่มีท่อน polyacrylamide gel หรือ แผ่น polyacrylamide gel ขนาดสั้นที่เบนตัว จากข้อ 2.3.13.3
- สังเกตทิศทางของลำแสงที่เปลี่ยนไป

2.3.14.4 การทดลองการเบนตัวของลำแสงเมื่อฉายแสงผ่าน ภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส ที่มีท่อน polyacrylamide gel ขนาดยาว

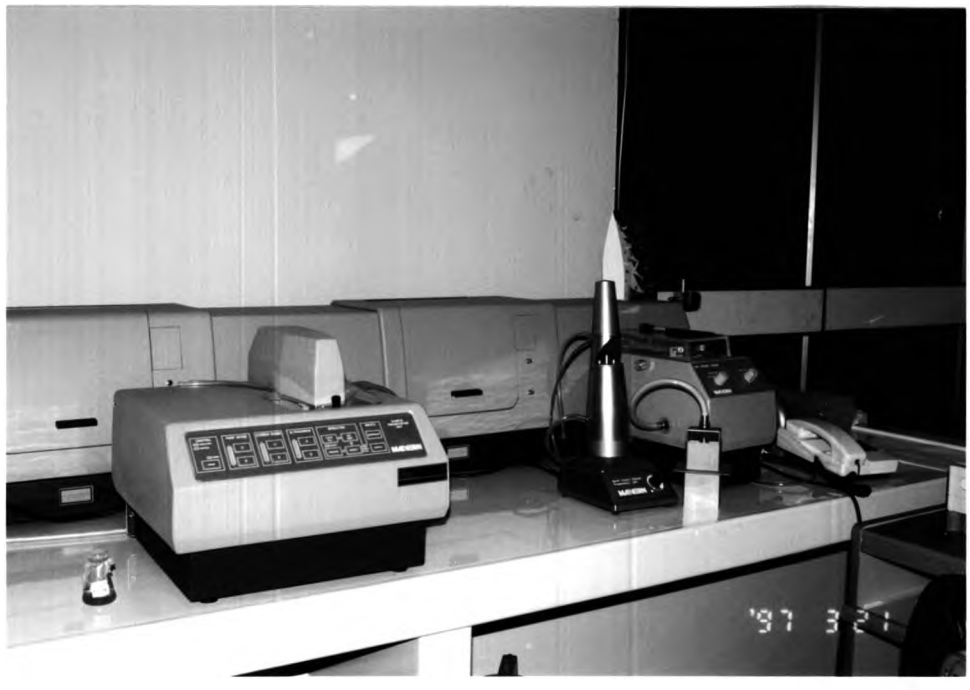
- ฉายแสงเลเซอร์จาก laser pointer ผ่าน ภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใสที่มีท่อน polyacrylamide gel หรือ แผ่น polyacrylamide gel ขนาดยาวที่เบนตัว จากข้อ 2.3.13.4
- สังเกตทิศทางของลำแสงที่เปลี่ยนไป

2.3.15 การทดลองสร้างเลนส์จากแผ่น polyacrylamide gel

- นำภาชนะพลาสติกใสมาเกลามาเจาะบริเวณขอบภาชนะบนและล่างให้เป็นรูเล็กเพื่อจะได้ใส่ขวดทองแดงบริเวณขอบภาชนะ
- นำแผ่น polyacrylamide gel ที่เตรียมได้จากข้อ 2.3.5.1 มาตัดให้เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร
- นำแผ่น polyacrylamide gel ที่ทากาว cyanoacrylate ไปติดกับภาชนะพลาสติดทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร วางแผ่น polyacrylamide gel ให้อยู่ตรงบริเวณตรงกลางของภาชนะ
- ใช้เข็มฉีดยาฉีดน้ำกลั่นหรือ 50 % สารผสมอะซิโตน-น้ำ ผ่านแผ่น polyacrylamide gel ลงไปด้านล่างแผ่น polyacrylamide gel และด้านบนของแผ่น polyacrylamide gel
- ปิดปากภาชนะทรงกลมใสด้วยฝาปิดพลาสติกใสที่มีรูสำหรับใสลวดทองแดง
- นำลวดทองแดงไปต่อเข้ากับเครื่อง SD 5 stimulatar Gross Instruments ให้ความต่างศักดา 25 volt เป็นเวลา 3 นาที
- สังเกตลักษณะและรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไป
- ฉายแสงเลเซอร์ จาก laser pointer ผ่านภาชนะพลาสติกทรงกลมใส
- สังเกตลักษณะของลำแสงที่เกิดขึ้น

2.3.14 การทดลองการเบนตัวของพอลิเมอร์ขนาดสั้นที่มีการตรึงตรงกลางของท่อนพอลิเมอร์ เมื่อเปลี่ยนค่าสนามไฟฟ้า

- นำท่อน polyacrylamide gel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.85 เซนติเมตรความยาวประมาณ 5.0 เซนติเมตร มาวางตรงกลางภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใสและตรึงตรงกลางของท่อน polyacrylamide gel โดยใช้กาว cyanoacrylate ใส่น้ำกลั่นในภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมใส
- จุ่ม electrode ขั้วบวกและขั้วลบ ลงบนภาชนะโดยให้ขั้วบวก และขั้วลบห่างจากท่อน polyacrylamide gel ตามค่าของสนามไฟฟ้า โดยวางตรงกลาง (2.5 เซนติเมตร) ของความยาวของท่อน polyacrylamide gel
- ให้สนามไฟฟ้า1.75 2.70 5.26 และ 8.11v/cm เป็นเวลา 3 นาที วัดองศาการเบนตัวที่เปลี่ยนแปลงไปจากเริ่มต้น
- ฉายแสงเลเซอร์ จาก laser pointer ผ่านภาชนะพลาสติกทรงกลมใส
- สังเกตลักษณะของลำแสงที่เกิดขึ้น



รูปที่ 10 ภาพถ่ายของ mastersizer optical measurement unit ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 11 ภาพถ่ายของ viscometer (Rotovisco) รุ่น RV 20 จาก HAAKE วัด visosity ตั้งแต่ 1.0 - $2*10^6$ cP

รูปที่ 12 SD5 Stimulator Grass Instruments จาก Quincy Mass U.S.A. Serial L 726P6

รูปที่ 13 ภาพอ่ายของ CHNS / O analyser (PERKIN ELMER PE 2400 SERIES 2 : OPTIO CHNS) จากศูนย์ เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย