



# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบัน การปรับทางขาวไฟก๊สของอุปกรณ์ทางแสง เช่น ระบบเลนส์หากไม่ทำด้วยมือแล้วก็ต้องอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้ามาเลื่อนหรือหมุนเข้า-ออกทำให้อุปกรณ์มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก และทำงานได้ไม่เร็วนัก (ประมาณ 1-10 วินาที) จึงได้มีการศึกษาเพื่อปรับคุณสมบัติทางแสงโดยไม่อาศัยมอเตอร์ไฟฟ้า เช่น การพัฒนาเลนส์ ซึ่งทำมาจาก acrylic acid-acrylamide copolymer ซึ่งเลนส์นี้จะโค้งงอ จนเปลี่ยนทางขาวไฟก๊ส เมื่อผู้ใช้เปลี่ยนระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่ผ่านเลนส์นั้น ( Hamada, Fujii and Sakata, 1991) ซึ่งทำได้เพราะฉะนั้นจึงเป็นที่สนใจในการศึกษา เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการทำเป็นอุปกรณ์ทางแสงต่อไปในอนาคต

### 1.1 พอลิเมอร์

พอลิเมอร์ \* (polymer) หมายถึง สารโมเลกุลใหญ่ที่ประกอบด้วย การซ้ำกันของหน่วยย่อย monomer ซึ่งเชื่อมต่อกัน หรือ ขีดเหนี่ยวเข้าด้วยกันโดยพันธะโควาเลนต์ \*\* (covalent bond) และอาจมีการขีดเหนี่ยว โดยแรงแวนเดอวาล์ว \*\*\* (Van der Waals force) (กัญญา ตระกูล, 2530) และโมเลกุลที่ได้จะมีเส้นยาว โดยพบว่าพอลิเมอร์จะมีทั้งแบบที่ได้จากธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ขึ้น พอลิเมอร์ส่วนมากจะเป็นพวกสารอินทรีย์ ประกอบด้วย ไฮโดรคาร์บอน

-----  
\* มาจากคำในภาษากรีก 2 คำ คือ poly แปลว่าหลาย ๆ หรือมาก และ mer แปลว่าหน่วยหรือ ส่วน (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2526)

\*\* พันธะโควาเลนต์ เป็นแรงดึงดูด ระหว่างนิวเคลียสของทั้ง 2 อะตอมกับ อิเล็กตรอนที่ร่วมกัน ( กฤษณา ชุตินา, 2538 ) มีค่าพลังงานอยู่ในช่วง 35 - 150 Kcal / mole มีระยะห่างระหว่างอะตอมอยู่ในช่วง 0.11 - 0.16 nm และมีมุมระหว่างอะตอมอยู่ในช่วง 104 - 108 องศา (กัญญา ตระกูล, 2530)

\*\*\* แรงแวนเดอวาล์ว เป็นแรงขีดเหนี่ยวซึ่งกันและกันระหว่างโมเลกุล หรืออะตอมซึ่งเป็นผลมาจาก electrostatic force ระหว่างโมเลกุลหรืออะตอมที่มีประจุบวก กับโมเลกุล หรืออะตอมที่มีประจุลบ ( Metzler, 1977 )

(hydrocarbon) เป็นหลัก โมเลกุลของคาร์บอนสามารถจะเกิดพันธะเดี่ยวพันธะคู่ หรือสูงกว่าได้ ถ้าจำแนกตามโครงสร้างของพอลิเมอร์จะแบ่งได้เป็น 4 แบบ (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2526) ได้แก่

(1) พอลิเมอร์แบบเส้น (linear polymer)

เป็นโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย monomer มาต่อเชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ตัวอย่าง ~ CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub> ~

linear polyethylene (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2526)

โดยเส้นทึบกลิ้ง (~) ที่อยู่ปลายของโครงสร้าง หมายถึงยังมีหน่วยซ้ำๆ กันต่อไปเรื่อย ๆ หลายร้อยหลายพันหน่วย

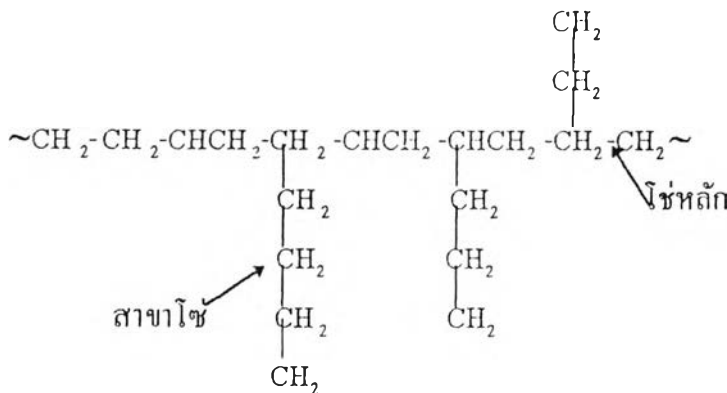
หรือ -A-A-A-A-A-A-A-A-

linear (Golding, 1959)

(2) พอลิเมอร์แบบกิ่ง (branched polymer)

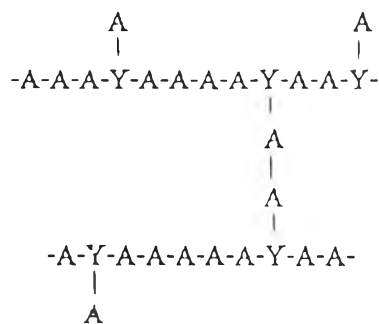
เป็นโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย พอลิเมอร์ ที่มีกิ่งก้านมาต่อกัน พบว่าพอลิเมอร์แบบกิ่ง จะมีความสามารถในการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบต่ำเป็น ผลให้ความหนาแน่นของพอลิเมอร์ต่ำลง

ตัวอย่าง



branched polyethylene (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2526)

หรือ



branched (Golding, 1959)

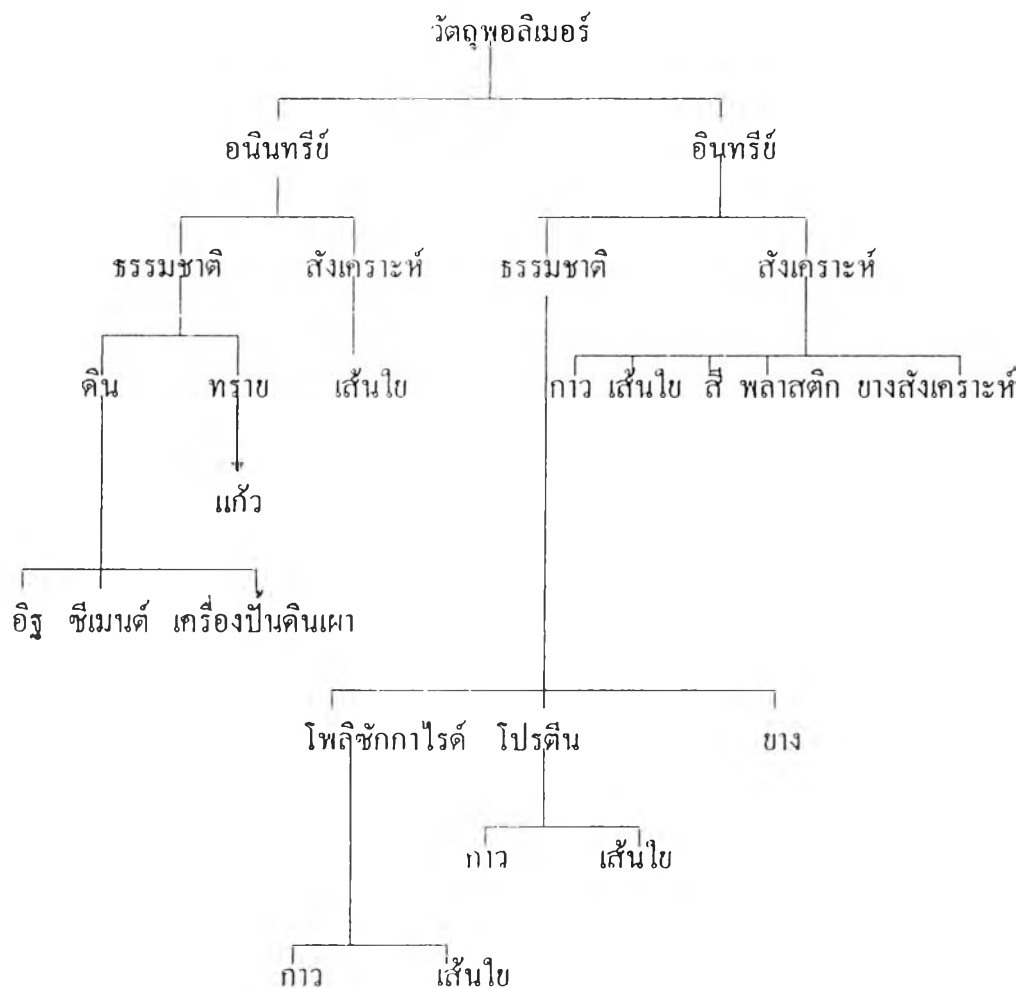
(3) พอลิเมอร์แบบตาข่าย (crosslinked or network polymer)

เป็นโครงสร้างพอลิเมอร์ที่มีรูปร่างเป็นแบบสามมิติรูป(three-dimension) เชื่อมโยงทั้งสามมิติด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) พอลิเมอร์ชนิดนี้บางที่เรียกว่า พอลิเมอร์แบบตาข่าย หรือ พอลิเมอร์ที่มีการเชื่อมขวางสูง

(4) พอลิเมอร์แบบเชื่อมขวาง

เป็นโครงสร้างพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่โมเลกุล เป็นเส้นเชื่อมติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ที่ตำแหน่งต่างๆ

ถ้าจำแนก พอลิเมอร์ตามลักษณะการใช้งานจะเป็นดังรูปที่ 1



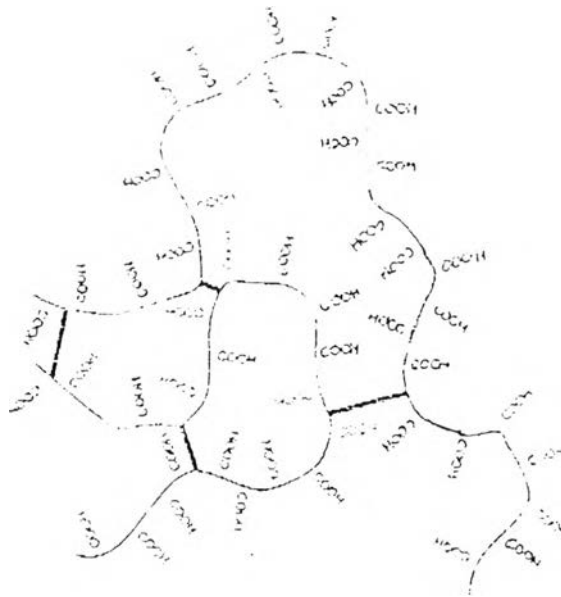
รูปที่ 1 การจำแนกวัสดุพอลิเมอร์ และการใช้งาน (ผ่านการแปลงจาก ชัยวัฒน์ เอนวานิชย์, 2526)

## 1.2 ตัวอย่าง พอลิเมอร์

### 1.2.1 Carbopol 940 gel

เป็น พอลิเมอร์ เจลที่ประกอบด้วย polyacrylic acid (BF goodrich) ซึ่งเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และ cross - linked ด้วย polyalkenyl polyether (รูปที่ 2) ภายในโครงสร้างจะมี carboxyl group ( $\text{COOH} \leftrightarrow \text{COO}^-$ ) แต่การ cross - linked ทั้งโมเลกุลเหมือนกับ polyacrylamide gel จะ cross - linked เฉพาะกลุ่มเล็กๆ จึงทำให้ Carbopol 940 gel ไม่แข็งตัวเหมือน polyacrylamide gel

Carbopol 940 gel มีลักษณะเป็น ผงสีขาว มีขนาดอนุภาค (particle size) 2 - 6 micron มี bulk density 11 - 15 lb / ft หรือ 0.176 - 0.240 g /cm<sup>3</sup> มีค่า specific gravity 1.41 มี carboxylic content 56 - 63% มีค่าคงที่ของการแตกตัวเท่ากับ 6.0 +/- 0.5 ที่ระดับความเข้มข้น 0.2% 0.5% 1.0% จะมีค่าความเป็นกรด - ่าง (pH) เท่ากับ 3.0 - 4.0 2.7 - 3.5 และ 2.5 - 3.0 ตามลำดับ



รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของ Carbopol

คุณสมบัติของ Carbopol 940 gel มีลักษณะการไหล (flow characteristics) ช้ามาก มีความหนืดสูงมาก มีความสามารถในการแขวนตัว (suspending ability) สูง มีความใส (mucilage clarity) สูง มีความต้านทานต่อประจุต่ำ และมีความต้านทานต่อแรงเฉือนสูง (BF Goodrich) ประโยชน์ในการนำไปใช้คือทำเป็นเจลใส (clear gel) และ hydroalcoholic gel

## 1.2.2 polacrylamide gel

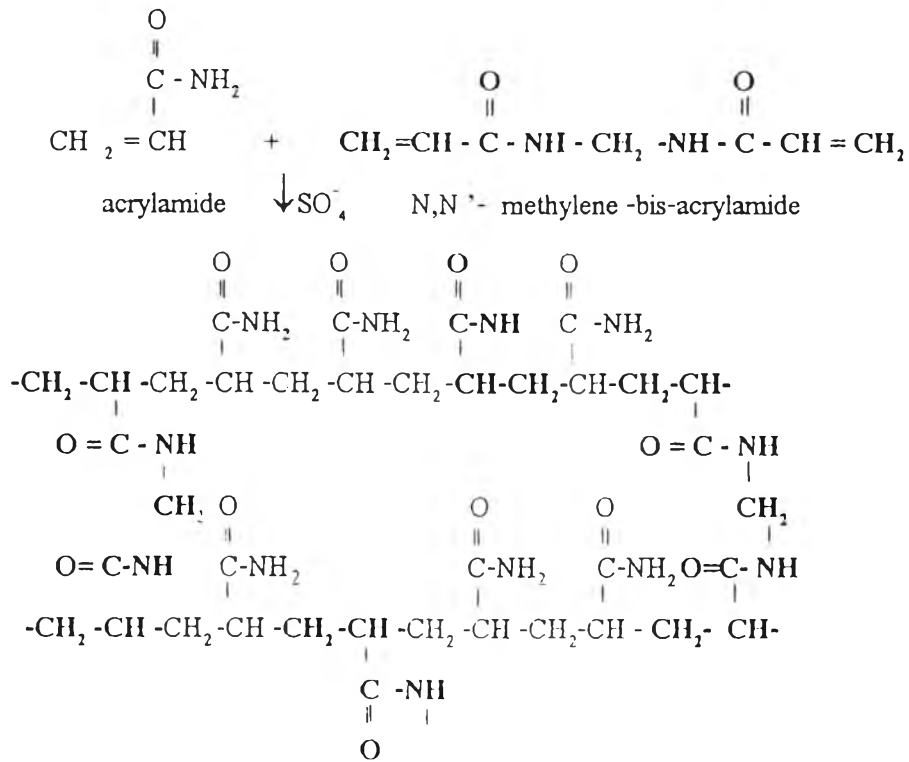
เป็นพอลิเมอร์ เจล\* มีโครงสร้างทางพอลิเมอร์เป็น แบบตาข่าย (network polymer) ที่ประกอบด้วย (Tanaka, 1981)

- (1) acrylamide เป็น โมเลกุลอินทรีย์ขนาดเล็ก ที่มี aminocarbonyl ( $-\text{CONH}_2$ ) group
- (2) N,N'-methylene -bis- acrylamide เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วย acrylamide monomer 2 อันมาเชื่อมต่อกันตรงบริเวณ aminocarbonyl group
- (3) N,N,N,N' -tetramethyl ethylene diamine (TEMED) เป็นตัวเริ่มต้น ในการทำปฏิกิริยา
- (4) ammonium persulfate เป็นตัวเริ่มต้น ในการทำปฏิกิริยา เชื่อมต่อ free radical กับ acrylamide หรือ N,N'-methylene-bis-acrylamide

การทำปฏิกิริยาขององค์ประกอบทั้ง 4 ชนิด เป็นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน\*\* (polymerization) พบว่า ขั้นตอนแรกของปฏิกิริยาจะเป็นปฏิกิริยา ระหว่าง ammonium persulfate & N,N,N,N'-tetramethyl ethylene diamine (TEMED) โดยโมเลกุลของ N,N,N,N'-tetramethyl ethylene diamine (TEMED) จะมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (unpair electron) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความสามารถในการเชื่อมต่อ free radical กับ acrylamide หรือ N,N'-methylene-bis-acrylamide monomer ซึ่งทำให้เกิด acrylamide unit ขบวนการ polymerization จะใช้เวลาประมาณ 30 นาที

\* เจล เป็นระบบคอลลอยด์ ซึ่งอนุภาคคอลลอยด์ เป็นของแข็ง เช่น พอลิเมอร์ หรือ แป้งแขวนลอย ในของเหลวซึ่งมีพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล และเกิดมาจากตัวกลางระหว่าง ของแข็ง และของเหลวประกอบกันเป็นพอลิเมอร์ หรือสาย ขาว ๆ ของ โมเลกุลที่เชื่อมต่อกันเป็นโครงร่างตาข่าย (Tanaka, 1981)

\*\* พอลิเมอร์ ไรเซชัน (polymerization) คือปฏิกิริยาการเตรียมพอลิเมอร์จากโมโนเมอร์ (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2526)



กระบวนการ polymerization ของ polyacrylamide gel ( Voet , 1990 )

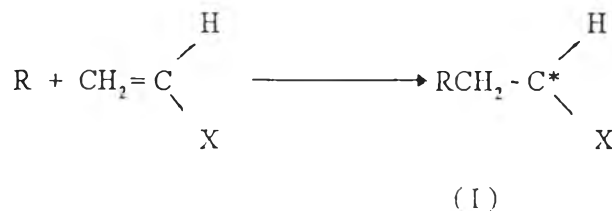
กลไกการเกิด free radical (ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์, 2526)

(1) initiation เป็นขั้นริเริ่มประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้

- การกำเนิด free radical คือการทำให้เกิด free radical ในปฏิกิริยา แต่โดยทั่วไป นิยมใช้สารจำพวกเปอร์ออกไซด์ (peroxides) เป็นตัวริเริ่ม ถ้าให้ I แทนตัวริเริ่มประเภทเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องไม่มากนัก (ประมาณ 60 °C) ตัวริเริ่มจะแตกตัวเป็น free radical ดังนี้

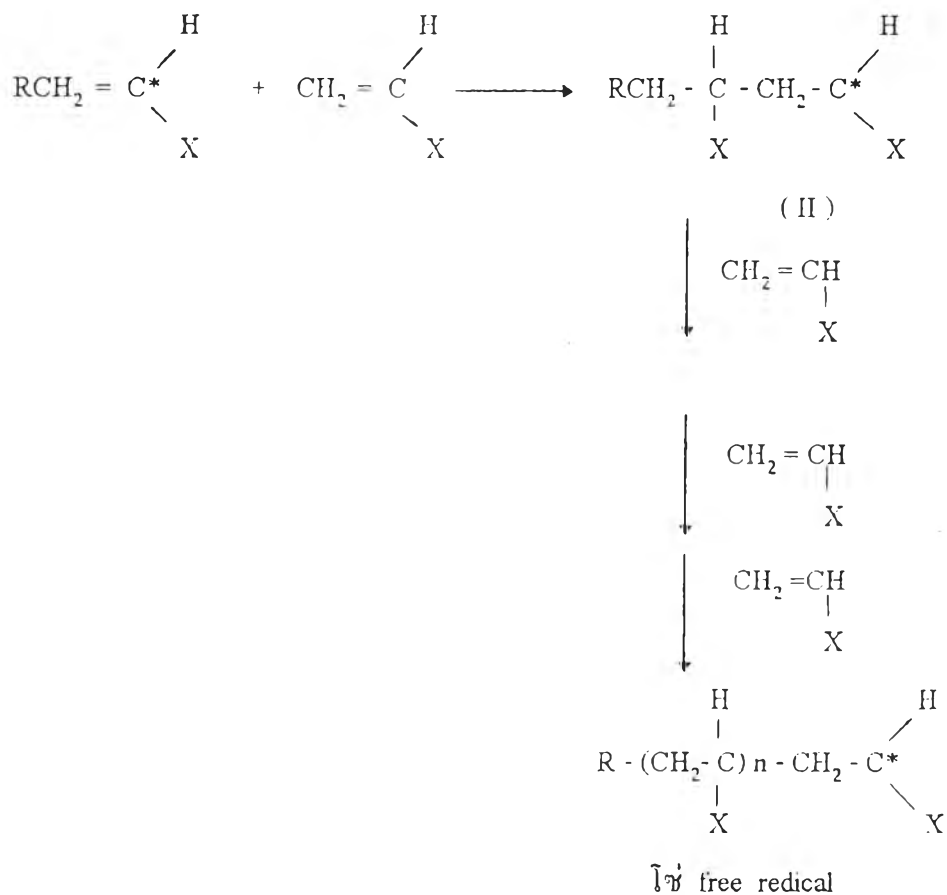


- free radical ที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยากับ monomer



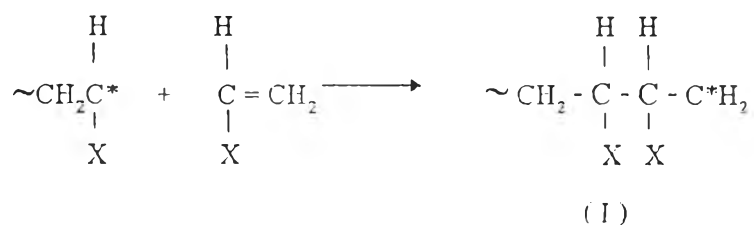
## ( 2 ) prapagation

radical (I) ที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยาทันทีกับ monomer อีกตัวหนึ่ง เกิดเป็น radical (II) และ radical (II) ทำปฏิกิริยากับ monomer ตัวต่อ ๆ ไปทีละตัวอย่างรวดเร็วจนได้โซ่ radical ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

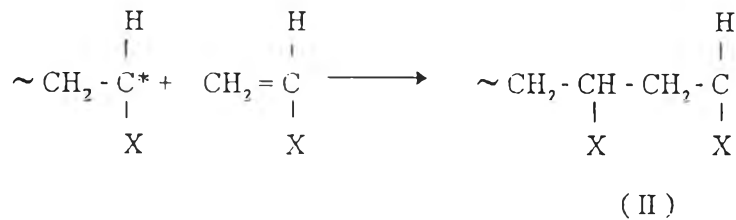


ซึ่ง n แทนจำนวนหน่วยของโมโนเมอร์ที่รวมเข้าไปในโซ่ของพอลิเมอร์

ในขั้น prapagation นี้พอลิเมอร์ radical อาจรวมกับโมโนเมอร์ได้ 2 แบบคือ แบบที่หนึ่งเกิดพันธะที่คาร์บอนที่มีหมู่แทนที่เกาะอยู่



และอีกแบบหนึ่งเกิดขึ้นระกัับคาร์บอนที่ไม่มีหมู่แทนที่เกาะอยู่



การรวมตัวแบบแรกอาจเรียกว่า การรวมตัวแบบหัวกับหัว (head to head) ส่วนแบบหลังนี้เรียกว่า การรวมตัวแบบหัวกับหาง (head to tail)

### 1.2.3 carrageenan

มีชื่อสามัญ หลายชื่อ (GRAS, 1972) เช่น chondrus irish moss pig - wrack เป็นต้น มีชื่อทางเคมี ว่า sulfate ester of a polysaccharide of galactose มีชื่อทางการค้า หลายชื่อ เช่น viscamin burtonite เป็นต้น

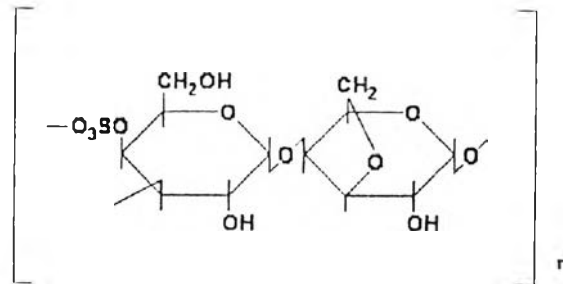
carrageenan เป็น polysaccharide ของสาหร่ายสีแดง (Rhodophyceae) โครงสร้างเป็น copolymer (รูปที่ 3) ของ  $\beta$  - (1  $\rightarrow$  3) - D - galactose และ ( 1  $\rightarrow$  4 ) - 3, 6 - anhydro-D หรือ L - galactose (Budavari, 1989) carrageenan ยังแบ่งได้ตามความแตกต่างของจำนวน sulfate ester และ ส่วนประกอบต่าง ๆ แบ่งเป็น iota - carrageenan ซึ่งมีกลุ่ม sulfate สูง kappa - carrageenan ที่มีกลุ่ม sulfate อยู่ เพียง 1 กลุ่มในหน่วย disaccharide ที่ซ้ำ ๆ กัน ทั้ง iota - carrageenan และ kappa - carrageenan จะมีรูปร่างเป็น double helix และจะมีโครงสร้างเป็นทุติยภูมิ (secondary structure) และ ตติยภูมิ (tertiary structure) ในสารละลาย และ เจล carrageenan จะละลายในน้ำน้อย มีความหนืดเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ไม่สามารถละลายในน้ำมันและสารละลายอินทรีย์

ลักษณะทั่วไปของ carrageenan คือ จะมีสีค่อนข้างเหลือง ถึง ไม่มีสีมีลักษณะเป็น ผงละเอียด สามารถละลายในน้ำ โดยใช้ 1 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และจะมีลักษณะเป็นเจล เมื่ออุณหภูมิลดลง

---

\* พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) เป็นสารพอลิเมอร์โมเลกุลใหญ่ที่ประกอบด้วย หน่วยของ มอนอแซ็กคาไรด์ (monosaccharide) จำนวนมากมาต่อกันเป็นสายโซ่ (กฤษณา ชูติมา, 2536)



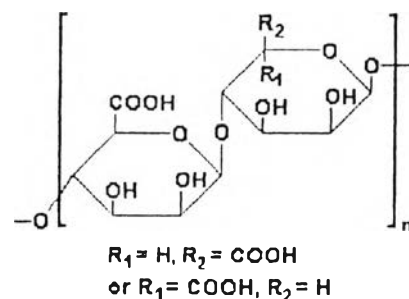


รูปที่ 3 โครงสร้างทางเคมี ของ carrageenan (Budavari, 1989)

#### 1.2.4 alginic acid

เป็นสารสกัดจาก สาหร่ายสีน้ำตาล ( phaeophyceae) ในรูปแบบของของผสมแคลเซียม (calcium) แมกเนเซียม (magnesium) และ อื่นๆ (Collin, 1987) โครงสร้างทั่วไปของ alginic acid (รูปที่ 4) ประกอบด้วย พอลิเมอร์เส้นตรงของ  $\beta$ -(1  $\rightarrow$  4) - D mannusyluronic acid ( $\beta$ -D mannuronic acid) และ  $\alpha$ -(1 4)-L gulosyluronic acid ( $\alpha$ -L gulosyluronic acid) ในอัตรา ส่วนที่แตกต่างกัน ขึ้นกับ แหล่ง และ สายพันธุ์ ของ สาหร่าย (Susan, 1989) alginic acid ทั่วไป จะมีน้ำหนักโมเลกุล 240,000 แต่ในกรณี ของ sodium alginate จะมีน้ำหนักโมเลกุล 35,000 ถึง 1,500,000 (Neill, 1970)

ลักษณะทั่วไปของ alginic acid จะละลายในน้ำได้น้อย , มีความสามารถในการดูดน้ำได้ 200 - 300 เท่าของน้ำหนักน้ำ ( weight of water ) และดูดเกลือได้ 60 % เมื่อละลายในสารละลายที่เป็นด่าง



รูปที่ 4 โครงสร้างทางเคมี ของ alginic acid (Collin, 1987)

### 1.2.5 gelatin

เป็นของผสม แบบ heterogeneous ของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงที่สามารถละลายน้ำได้ (Budavari, 1989) ,มีแหล่งกำเนิดมาจากโปรตีนสัตว์จำพวก collagen มีส่วนประกอบเชิง amino acid ประมาณ glycine 25.5% alanine 8.7% valine 2.5% leucine 3.2% isoleucine 1.4% , methionine 14.1% serine 0.4% threonine 1.9% tyrosine 0.5% aspartic acid 6.6% glutamic acid 11.4% arginine 8.1% lysine 4.1% histidine 0.8% cystine และ cysteine 0.1%

gelatin เป็นสารที่มีลักษณะเป็นเจลซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวาง มีลักษณะละลายในน้ำเดือดได้อย่างรวดเร็ว (David, 1982) และจะแข็งตัวเป็นเจลเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ประมาณ 14 องศาเซลเซียส จะได้สารละลาย gelatin ที่ราบเรียบ และหลอมเหลวที่อุณหภูมิร่างกาย ในกรณีใส่สำหรับเจลที่รับประทานได้ จะหลอมเหลวได้อย่างรวดเร็วในปากได้อย่างรวดเร็ว

ลักษณะทั่วไปของ gelatin คือจะใสหรือมีสีออกเหลืองเล็กน้อย โปร่งใส ( transparent) brittle ละลายในน้ำร้อน glycerol acetic acid ไม่ละลายในสารละลาย อินทรีย์ ( organic solvent )

ประโยชน์ทางด้านอาหารจะใช้เป็น stabilizer thickener และ texturizer ทางด้านอุตสาหกรรมใช้ในงานด้าน rubber substitutes adhesive cements litho graphic และ printing ink plastic artificial silk photographic plate และ films เป็นตัวกรองแสง สำหรับ mercury lamps เป็นสารที่ทำให้ใส ( clarifying agent )

### 1.3 ปัจจัยในการเปลี่ยนรูปทรง หรือ ปริมาตรของ พอลิเมอร์

พอลิเมอร์ เจล มีพื้นฐานและโครงสร้างทางเคมีที่มีผลต่อคุณสมบัติในด้านต่างๆเช่น คุณสมบัติทางเชิงกล ได้แก่ ความยืดหยุ่น(elasticity) ความหนาแน่น (density) ความแข็งแรง เป็นต้น และ คุณสมบัติทางด้านกายภาพ ได้แก่ การหลอม การละลาย การดูดซับ, การแปรสภาพไปอยู่ในสภาพอื่นที่ไม่ใช่สภาพเดิม โดยอาศัยปัจจัยภายนอก ที่ทำให้พอลิเมอร์ เจลเกิดการเปลี่ยนแปลงคือ อุณหภูมิ (temperature) ส่วนประกอบของสารละลาย ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นต้น โดยพบว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลให้พอลิเมอร์เจล เกิดการเปลี่ยนแปลง คือเกิดการบวมตัว และเกิดการยุบตัว ของโครงร่างพอลิเมอร์ เจล (Tanaka, 1987) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านปริมาตรของพอลิเมอร์ เจล และยังพบว่าพอลิเมอร์ เจล บางชนิดมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า อาจจะมีการเคลื่อนย้ายที่ หรือ มีการเปลี่ยนแปลงสภาพไปเป็นสภาพอื่นๆ ที่ไม่ใช่สภาพเดิม เช่น การบวมตัว หรือ การยุบตัว ของพอลิเมอร์ (Tanaka,

1992) ซึ่งมีผลให้ความหนา ความโค้ง ความเข้มข้น และครรชนีหักเหแสง \* เปลี่ยนแปลงไป แรงที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการบวมตัวหรือยุบตัว (Tanaka, 1981) มี 3 ชนิด คือ

(1) แรงเนื่องจาก rubber elasticity ของสายพอลิเมอร์ ซึ่งขึ้นกับการเคลื่อนที่ของสายพอลิเมอร์ ในกรณีที่เจลมีการหดตัว แรงเนื่องจาก rubber elasticity จะพยายามทำให้เจลที่ขยายตัวกลับไปสู่รูปร่างเดิม เราเรียกแรงดันในเนื้อเจลว่าเป็นแบบ positive pressure แต่ในกรณีที่เจลมีการบวมตัวแรงเนื่องจาก rubber elasticity ก็พยายามทำให้เจลยุบตัวเราเรียกแรงดันในเนื้อเจลนี้ว่า negative pressure โค้ค่าของแรงดันนี้ขึ้นกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ถ้าอุณหภูมิสูงแรงดันเนื่องจาก rubber elasticity จะกระตุ้นให้เจลที่ยุบตัวเกิดการบวมตัว

(2) แรง polymer-polymer affinity เป็นแรงที่เป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่าง สายพอลิเมอร์ และ สารละลาย ซึ่งเป็นแรงดึงดูดภายในสายพอลิเมอร์ เพื่อที่จะลดพลังงานรวมโดยให้โมเลกุลของสารละลายมาล้อมรอบตัวเอง หรืออาจเรียกแรงนี้ว่า แรงแวนเดอวาล์ว ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวภายในสายพอลิเมอร์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารละลายจะมีผลให้ค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนท์ \*\* เปลี่ยนแปลงไป

(3) แรงเนื่องจากไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$  pressure) เป็นแรงที่เกี่ยวข้องกับ ประจุในโครงสร้างพอลิเมอร์ โดยแรงดันเนื่องจาก ไฮโดรเจน ไอออน จะเกิด เมื่อ  $H^+$  สัมผัสกับ โครงร่างพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ พอลิเมอร์จะปรับตัวให้มีคุณสมบัติเป็นกลางซึ่งจะต้องขจัดแรงดันเนื่องจากไฮโดรเจน หรืออาจเรียกแรงนี้ว่า แรงเนื่องจากประจุ (ionic interaction)

\* ครรชนีหักเหแสง  $n = c/v$  โดย  $c$  คือ ค่าความเร็วของแสงในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ  $3 \times 10^8$  m/s และ  $v$  คือ ค่าความเร็วของแสงในตัวกลางใดๆ (Hirschberg, 1967)

\*\* เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณหาแรงที่เกิดจากประจุทั้งสอง ( $F$ ) ในตัวกลางเมื่อเทียบกับแรงดึงดูดหรือแรงผลึกในสุญญากาศ โดยใช้สูตร(Kraus, 1953)

$$\text{จากสูตร} \quad F = kq_1 q_2 / Dr^2$$

โดย  $F$  = แรงเนื่องจากประจุไฟฟ้าทั้ง 2 ที่ตรงกันข้าม ( มีหน่วยเป็น newton )

$k$  = proportionality constant =  $8.99 \times 10^9$  J.m /  $c^2$

$q_1, q_2$  = ประจุที่ 1 และ 2 ( มีหน่วยเป็น columb )

$D$  = ค่าไดอิเล็กตริก คอนสแตนท์ ของสาร

$r$  = ระยะห่างของประจุทั้ง 2 ( มีหน่วยเป็น meter)

## 1.4 การวิจัยในอดีตเกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปทรงหรือปริมาตรของพอลิเมอร์

การศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของพอลิเมอร์ เริ่มขึ้น ในปี 1940 โดย Paul J. Flory แห่งมหาวิทยาลัย Stanford ได้ศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของพอลิเมอร์ เจล ชนิดต่าง ๆ ในปี 1973 โดย Tanaka แห่งมหาวิทยาลัย Massachusetts Institute of technology ได้ประยุกต์หาเทคนิคใหม่ที่เกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์ เจลซึ่งได้จากการวัดการกระเจิงของแสงเลเซอร์ (laser light scattered) เป็นการพิจารณาคูสมบัติที่สำคัญ ชื่อว่า elasticity of the polymer network และ viscous interaction of network with the fluid ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสถานะของพอลิเมอร์ เจล โดยอาศัยปัจจัยภายนอก เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นต้น ในปี 1977 Tanaka ได้ทดลองเกี่ยวกับความเข้ม (intensity) และความสัมพันธ์ของเวลาการกระเจิงแสงของเลเซอร์ โดยอาศัยความหนาแน่น (density) ของพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนแปลงใน acrylamide gel พบว่า ปัจจัยทั้ง 2 ดังกล่าวแปรผกผันต่ออุณหภูมิและ สามารถอธิบายได้ด้วย ทฤษฎี mean-field โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของเจล และ แสดงถึงค่าคงที่ของความยืดหยุ่นของ network ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากความแรงของการกระเจิงแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การทดลองนี้ ยืนยันได้จากงานวิจัยของ Tanaka, et al., 1973 ; Munch, et al., 1974 ในปี 1978 Tanaka ได้ อธิบายปรากฏการณ์ การยุบตัวของ polyacrylamide gel พบว่า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่าน polyacrylamide gel ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน พบว่าการยุบตัวของ polyacrylamide gel ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และสัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายผสมอะซิโตน-น้ำ โดยใช้ ทฤษฎี mean-field ในการศึกษาสภาวะความยืดหยุ่น ของพอลิเมอร์มาประยุกต์เพื่ออธิบาย ปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยพบว่า ทฤษฎีนี้ต้องอาศัยพื้นฐานหลายอย่างในการคำนวณหาความเหมาะสม ในการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ปริมาตรของส่วนที่พอลิเมอร์เกิดการ cross-linked และ ไม่ cross-linked ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จำนวนพอลิเมอร์ที่ cross-linked ต่อปริมาตรของเจล และความหนาบางของพอลิเมอร์ เป็นต้น ในปี 1982 Tanaka ได้ทำการ ทดลอง เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงด้านปริมาตร ของ polyacrylamide gel เช่นการยุบตัว หรือ การ บวมตัวในสนามไฟฟ้าที่ระดับ 0 ถึง 5 volts พบว่า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านขั้ว platinum ไปยัง 50% สารละลายผสมอะซิโตน-น้ำที่ระดับ 0 ถึง 5 volts จะมีผลให้ประจุลบของ acrylic acid residue ดัน polyacrylamide gel ไปทางด้านขั้วบวกซึ่งมีผลทำให้เกิดการยุบตัวตามเสัດเส้น ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ คือ เมื่อระดับกระแสไฟฟ้าสูง polyacrylamide gel จะยุบตัวมาก แต่ เมื่อ ระดับกระแสไฟฟ้าต่ำ polyacrylamide gel จะบวมตัวน้อย ในปี 1986 Irie ทดลองเกี่ยวกับการโค้ง

งอ ( bending ) ของ acrylamide gel ในน้ำที่มี triphenylmethane leucocyanide group อยู่ พบว่า ที่ระดับสนามไฟฟ้า 10 v/cm acrylamide gel จะโค้งงอ โดยใช้เวลาประมาณ 2 นาที และเมื่อปิดกระแสไฟฟ้า acrylamide gel จะกลับสู่สภาพปกติ คือ ไม่โค้งงอ แต่จะเป็นไปอย่างช้าๆ และในปี 1993 Yuk-SH and Lee-HB ทดลองเกี่ยวกับการเบนตัวแบบกลับไปกลับมาของ acrylamide gel ที่ cross-linked โดยเหนี่ยวนำด้วยวงจรไฟฟ้าในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งนำไปใช้อธิบายและศึกษาปรากฏการณ์การเบนตัวของ acrylamide gel เขาพบว่า เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปใน acrylamide gel จะทำให้ rod-shape acrylamide gel ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน โค้งงอไปทางด้านขั้วลบ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความดันออสโมซิส และความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ เป็นปัจจัยหลักในการควบคุมการโค้งงอของ acrylamide-gel การทดลองดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับส่วนประกอบของอวัยวะเทียม (artificial organ component) เช่น กล้ามเนื้อเทียม และระบบลำเลียงยาที่ถูกควบคุมด้วยไฟฟ้า ( electric current modulated drug delivery system )

## 1.5 แสง

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจากต้นแสง เมื่อผ่านวัตถุที่โปร่งใสก็จะมีหักเห และสะท้อนเมื่อกระทบผิววัตถุที่ทึบแสง (ฟิสิกส์ทั่วไป 1 ตอน 4 ,2522) ถ้าความเร็วของแสงในตัวกลางใหม่แตกต่างจากตัวกลางเดิม จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การหักเหของแสง โดยความเร็วของคลื่นแสงจะขึ้นกับสมบัติของตัวกลางจะทำให้เกิดปรากฏการณ์สะท้อนหรือหักเห (Zafirators, 1976) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่เปลี่ยนไป คลื่นแสงที่เป็นคลื่นสะท้อนจะสะท้อนกลับในตัวกลางเดิม ส่วนคลื่นแสงที่เป็นคลื่นหักเหจะเดินทางผ่านตัวกลางที่อยู่ติดกัน หรือเกิดการแทรกสอด ซึ่งเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่ยืนยันได้ว่าแสงมีสมบัติเป็นคลื่น และด้วยสมบัติที่เป็นคลื่นนี้ จึงทำให้แสงมีความสามารถทะลุทะลวงผ่านสนามไฟฟ้าไปได้ คลื่นแสงที่นับตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นระหว่าง 4,000 - 7,000  $\text{\AA}$  ตัวกลางที่ทำให้เกิดการสะท้อนหรือหักเห นั้น เป็นผลมาจากค่าอัตราส่วนความเร็วของแสงในสุญญากาศต่อความเร็วของแสงในตัวกลางอื่น หรือที่เรียกว่า ค่าดัชนีหักเหแสงเปลี่ยนแปลงไป โดยการคำนวณจาก ( Hirschberg, 1967 )

$$n = c/v \text{ เมื่อ } c \text{ เป็นความเร็วในสุญญากาศ} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$v \text{ เป็นความเร็วในตัวกลางใด ๆ}$$

ซึ่งค่าดัชนีหักเหแสง (n) สามารถที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหามุมหักเหแสงโดยใช้ Snell's Law

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2$$

ในปัจจุบันทัศนอุปกรณ์ที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป คือ เลนส์และกระจก

เลนส์แบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ ได้ 2 พวกคือ (สมพงษ์ ใจดี, 2523 )

(1) เลนส์รวมแสง (converging lens) หรือโดยทั่วไปมักเรียกว่า เลนส์นูน (convex lens) เลนส์ประเภทนี้จะมีตรงกลางหนากว่าขอบ ถ้าให้รังสีขนานตกกระทบเลนส์รวมแสงตามแนวขนานกับแกนจะพบว่า รังสีจะหักเหไปรวมกัน ณ จุดหนึ่ง เราเรียกจุดนี้ว่า จุดโฟกัส (focal point or principle focus) ของเลนส์ โดยเฉพาะในกรณีที่มีไปตัดกันจริงหรือจุดนี้อยู่ทางฝั่งตรงกันข้ามกับแหล่งกำเนิดแสงเราเรียกว่าจุดโฟกัสจริง (real focal point)

(2) เลนส์กระจายแสง (diverging lens) หรือเลนส์เว้า (concave lens) หรือกระจกนูน เลนส์ประเภทนี้จะมีตรงกลางบางกว่าขอบ ถ้าให้รังสีขนานกับแกนตกกระทบผิวหนึ่งของเลนส์กระจายแสง รังสีหักเหที่ออกมาจากอีกผิวหนึ่งจะเป็นรังสีปลายบาน จึงไม่ตัดกันโดยตรงต้องต่อช้อนไปตัดกันทางด้านเดียวกับแหล่งกำเนิดแสง เราเรียกจุดนี้ว่า จุดโฟกัสเหมือน (virtual focal point)

**ความคลาดของระบบทัศนศาสตร์** ( ซาคร วิญญวนวิช, 2522 )

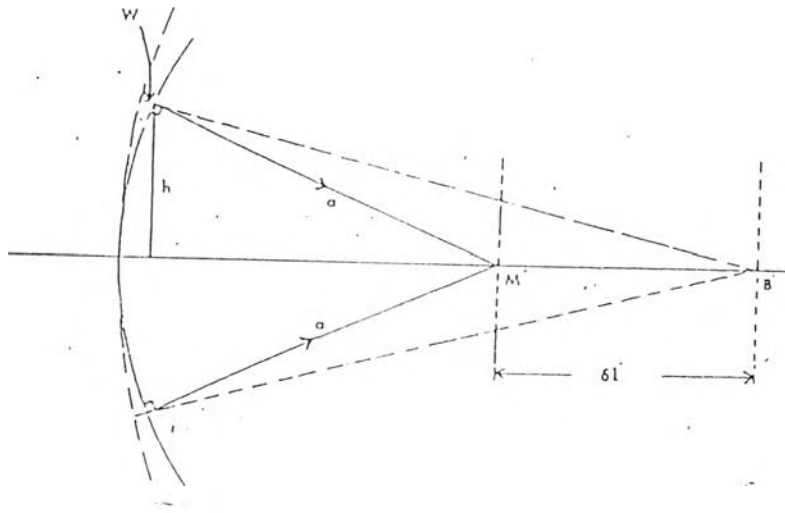
เมื่อแสงสีเดียวจากแหล่งกำเนิดที่เป็นจุดผ่านระบบทัศนศาสตร์ไปตัดกัน ได้ภาพเป็นจุดเดียวกับแหล่งกำเนิด ระบบทัศนศาสตร์นั้นเป็นระบบที่สมบูรณ์ที่สุด ระบบทัศนศาสตร์ชนิดนี้จะมีได้ในอุดมคติเท่านั้น ในทางปฏิบัติแล้วจะไม่มีทัศนอุปกรณ์ใดที่จะให้ภาพที่สมบูรณ์เช่นนี้ได้ ส่วนมากภาพที่ได้จะพร่ามัวหรือเบี่ยงเบนไปบ้างเล็กน้อย เนื่องจากว่าแสงจากวัตถุที่เป็นจุดเมื่อผ่านระบบทัศนศาสตร์แล้วไม่สามารถไปรวมกันให้ภาพเป็นจุดเช่นเดียวกับวัตถุได้ หรืออีกนัยหนึ่งหน้าคลื่นของภาพที่เป็นจุดนั้นไม่เป็นทรงกลมทำให้ความไม่สมบูรณ์ของภาพเหล่านี้เกิดขึ้น เนื่องจากระบบทัศนศาสตร์มีความบกพร่องในตัวของมันเอง เรียกความบกพร่องนี้ว่า ความคลาด (aberration) ของระบบทัศนศาสตร์

ความคลาดของระบบทัศนศาสตร์แบ่งได้ 2 แบบคือ

1.ความคลาดเชิงรังสี (ray aberration) เป็นการหาความคลาดของระบบทัศนศาสตร์โดยพิจารณาจากรังสี

2.ความคลาดเชิงหน้าคลื่น (wavefront aberration) เป็นการหาความคลาดของระบบทัศนศาสตร์โดยพิจารณาจากหน้าคลื่น

ความคลาดเชิงหน้าคลื่นนี้ เป็นการเบี่ยงเบนไปของหน้าคลื่นที่ให้ภาพเทียบกับหน้าคลื่นทรงกลมในอุดมคติ (ideal spherical wavefront) โดยวัดตามแนวที่ตั้งฉากกับหน้าคลื่นในอุดมคติ ถ้าหน้าคลื่นที่เบี่ยงเบนอยู่ข้างหน้าของหน้าคลื่นในอุดมคติในแนวของรังสี ค่าความคลาดหน้าคลื่นจะมีค่าเป็นลบ



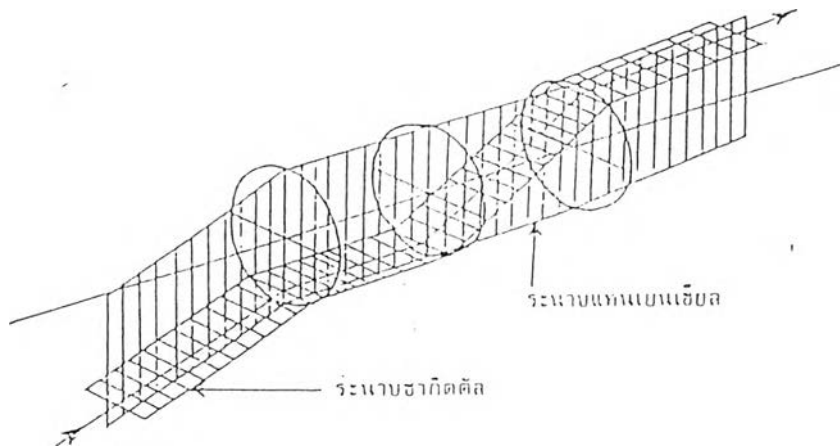
รูปที่ 5 ความคลาดเชิงรังสีและความคลาดเชิงหน้าคลื่น

ในรูป	เส้น โค้งประ	เป็น	หน้าคลื่นของคลื่นทรงกลมในอุดมคติ
	เส้น โค้งหนัก	เป็น	หน้าคลื่นของคลื่นที่เบี่ยงเบนไป เนื่องจากความคลาดของระบบ
	M'	เป็น	ตำแหน่งภาพที่เกิดจากการตัดกันของรังสี a เมื่อระบบทัศนศาสตร์มีความคลาด
	B'	เป็น	ตำแหน่งที่เกิดภาพเมื่อระบบทัศนศาสตร์ "ไม่มีความคลาด" หรือ จุดศูนย์กลางของเส้น โค้งประนั่นเอง
	W'	เป็น	ความคลาดหน้าคลื่นของระบบทัศนศาสตร์ เมื่อรังสีที่พิจารณาความสูงจากแกน = h มีค่าเป็นบวก
	$\delta l'$	เป็น	ความคลาดรังสีของระบบทัศนศาสตร์ในขณะนี้ มีค่าเป็นบวก

ถ้าวัตถุเป็นจุดอยู่บนแกนमुखสำคัญ ความคลาดเชิงหน้าคลื่นที่ตำแหน่งใด ๆ บนหน้าคลื่นจะขึ้นอยู่กับขนาดของช่องเปิดของระบบทัศนศาสตร์ แต่ถ้าวัตถุอยู่นอกแกนमुखสำคัญ ความคลาดจะขึ้นกับตำแหน่งของวัตถุ ขนาดของช่องเปิดของระบบทัศนศาสตร์และความไม่สมมาตรของรังสีमुखสำคัญ (principal ray) ซึ่งเป็นรังสีที่ผ่านจุดศูนย์กลางของช่องแสงเข้า (entrance pupil) เพื่อความสะดวกในการอธิบายเกี่ยวกับ

ความกลาดของระบบทัศนศาสตร์ จำเป็นที่จะต้องกล่าวถึงระนาบ 2 ระนาบ ดังรูปที่ 6  
คือ

1. ระนาบแทนเยนเซียล (tangential plane) เป็นระนาบที่ประกอบด้วยแกนमुखสำคัญ  
และรังสีमुखสำคัญจากวัตถุ
2. ระนาบซาคิตคัต (sagittal plane) เป็นระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบแทนเยนเซียล โดยที่  
ระนาบนี้จะอยู่ในแนวรังสีमुखสำคัญที่ลากจากวัตถุไป



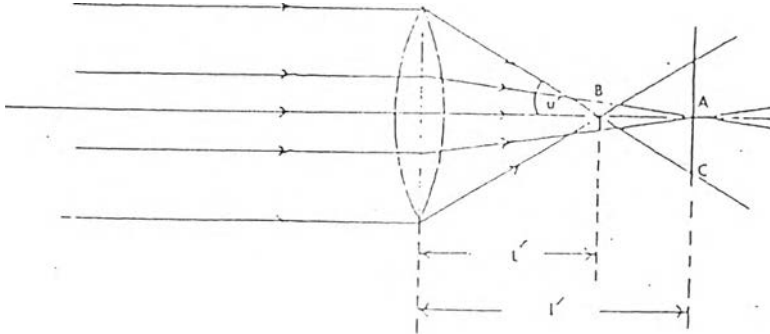
รูปที่ 6 ระนาบแทนเยนเซียล และระนาบซาคิตคัต

ความกลาดเชิงหน้าคลื่นแบ่งออกเป็น

#### 1. ความกลาดทรงกลม

ความกลาดชนิดนี้เกิดเมื่อวัตถุอยู่บนแกนमुखสำคัญ และได้ภาพอยู่บนแกนमुख  
สำคัญเช่นกัน ดังนั้นเมื่อวางวัตถุที่เห็นจุดบนแกนमुखสำคัญ จะมีความกลาดทรงกลม  
เกิดขึ้นเพียงชนิดเดียวเท่านั้น ส่วนความกลาดอีก 4 ชนิด ที่เหลือนั้น จะเกิดเมื่อวัตถุ  
อยู่นอกแกนमुखสำคัญ (รูปที่ 7)





รูปที่ 7 ความคลาดทรงกลม

จะเห็นว่า รังสีที่ตกตรงขอบเลนส์ กับรังสีที่ตกในบริเวณใกล้แกนไม่ไปรวมกันที่ตำแหน่งเดียวกัน แสงขนานที่ผ่านขอบเลนส์จะไปรวมกันที่จุด B ส่วนแสงขนานที่ผ่านบริเวณใกล้แกนจะไปรวมกันที่จุด A นั่นคือ จุดโฟกัสจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของหน้ารับแสง กล่าวได้ว่าเลนส์มีความคลาดทรงกลม

ในการคำนวณค่าความคลาดทรงกลมของระบบทัศนศาสตร์ ถ้าจุดตัดกันบนแกนमुखสำคัญของ รังสีจากของเลนส์ที่อยู่ทางซ้ายของจุดตัดกันบนแกนमुखสำคัญของรังสีใกล้แกน เรียกความคลาดทรงกลมแบบนี้ว่า ความคลาดแบบแก้ไข (under-corrected) และถ้าจุดตัดกันของรังสีจากขอบเลนส์ที่อยู่ทางขวาของจุดตัดกันของรังสีใกล้แกน เรียกความคลาดแบบแก้ไขเกิน (over-corrected)

ค่าของความคลาดทรงกลมของเลนส์เดียวกันจะขึ้นกับตำแหน่งของวัตถุ และรูปร่างของเลนส์ นั่นคือ เลนส์ที่มีทางยาวโฟกัสเท่ากัน แต่มีรูปร่างต่างกัน จะให้ค่าความคลาดทรงกลมที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นในการออกแบบรูปร่างของเลนส์ใช้วิธีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเลนส์ (bending) เลือกเลนส์ที่มีรูปร่างที่ให้ความคลาดทรงกลมน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

## 2. โคม่า

เป็นระบบความคลาดของระบบทัศนศาสตร์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการแปรเปลี่ยนไปของกำลังขยายของระบบตามขนาดของช่องเปิดรับแสง นั่นคือ แต่ละรังสีเฉียง (obliqueray) ซึ่งเป็นรังสีที่เอียงทำมุมกับแกนमुखสำคัญ เมื่อผ่านเลนส์จะให้ภาพที่มีความสูงต่างกัน กับภาพที่ได้จากรังสีที่ผ่านกลางเลนส์

## 3. แอสติγμαติซึม

ความคลาด 2 ชนิดแรกที่กล่าวมาแล้ว เป็นความคลาดที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่บนแกนमुखสำคัญและอยู่ใกล้ ๆ แกนमुखสำคัญตามลำดับ ถ้าวัตถุอยู่ห่างออกมาจากแกน

มุขสำคัญมาก ภาพที่ได้จะพร่ามัวอันเนื่องมาจากความคลาดของระบบทัศนศาสตร์อีก 2 ชนิด คือ แอสติγμαที่สัมพันธ์กับความคลาดโค้ง

เลนส์ที่มีแอสติγμαที่สัมพันธ์กันจะให้ภาพที่ชัดในระนาบหนึ่งเท่านั้น และจะพร่ามัวในระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบที่ชัด กล่าวคือ ถ้าได้ภาพที่ชัดในระนาบแทนเจนเชียล ภาพจะพร่ามัวในระนาบซาคิตตัด ทั้งนี้เนื่องมาจากกำลังของเลนส์ในแต่ละระนาบไม่เท่ากัน

#### 4. ความคลาดโค้ง

ความคลาดโค้งเป็นความคลาดอีกชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ห่างจากแกนมุขสำคัญออกไปมาก ทัศนอุปกรณ์ทุกชนิดจะมีค่าของความคลาดโค้งพื้นฐานอยู่ค่าหนึ่ง เรียกว่า ความโค้งเพทสวัล (petzval curvature) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าระนาบหักเหของเลนส์และความโค้งของผิวเลนส์ ดังนั้นจึงไม่มีวิธีที่จะกำจัดความโค้งเพทสวัลนี้ให้หมดไปได้

#### 5. ความบิดเบี้ยว

ความบิดเบี้ยวเป็นความคลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจาก ระบบทัศนศาสตร์มีกำลังขยายไม่คงที่ ทำให้ภาพที่ได้บิดเบี้ยวไป แต่ความบิดเบี้ยวไม่ได้ทำให้คุณภาพของภาพเสียไป ซึ่งต่างจากความคลาดชนิดอื่น ๆ ที่ทำให้คุณภาพของภาพเสียไป เมื่อวัตถุเป็นจุดอยู่นอกแกนมุขสำคัญ ภาพที่เกิดขึ้นอาจอยู่ใกล้หรือไกลจากแกนมุขสำคัญกว่าภาพที่ได้จากรังสีใกล้แกนมุขสำคัญ ดังนั้นปริมาณของความบิดเบี้ยว คือ ระยะทางจัดของตำแหน่งภาพที่ได้จริง ๆ เทียบกับตำแหน่งภาพที่ได้จากรังสีใกล้แกนมุขสำคัญ และอาจบอกค่าของความบิดเบี้ยวนี้ได้โดยตรง หรือบอกเป็นร้อยละของความสูงของภาพที่ได้จากรังสีใกล้แกนมุขสำคัญ จำนวนความบิดเบี้ยวจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของภาพ ภาพยิ่งใหญ่ขึ้น จำนวนความบิดเบี้ยวก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้น

## 1.6 โครงการวิจัย

### 1.6.1 มุขเหตุของใจในการวิจัย

ในปี พ.ศ. 2538 อาจารย์ เลอสรร รณสุกาญจน์ ในฐานะอาจารย์ ที่ปรึกษา ได้ร่วมฟังการสัมมนาเรื่อง Intelligent gel โดย Professor. Tanaka ซึ่งจัดโดยศูนย์โลหะ และวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ทำให้เกิดความสนใจศึกษาธรรมชาติ และการประยุกต์ใช้พอลิเมอร์ จึงได้ทำการสำรวจสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับการใช้สนามไฟฟ้าควบคุม polymeric lens และได้พบสิทธิบัตร US. Pat 4, 989, 958 (Hamada, Fujii and Sakata, 1991) ซึ่งใช้สนามไฟฟ้าที่มีค่าสม่ำเสมอ (uniform electric field) มาควบคุม polymeric lens ที่มีประจุภายในโครงสร้างไม่สม่ำเสมอ ฉะนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงเกิดขึ้นจากความสนใจว่า เราสามารถสร้าง polymeric lens จากพอลิเมอร์ ที่มีประจุภายในโครงสร้างสม่ำเสมอ (uniform charge distribution) ในสนามไฟฟ้าที่มีค่าไม่สม่ำเสมอ

จากผลงานการวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น และคุณสมบัติของพอลิเมอร์ในด้านต่าง ๆ ในงานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาพอลิเมอร์พวก organic เช่นพอลิเมอร์ที่ cross-linked ได้แก่ acrylic acid-acrylamide copolymer ซึ่งได้รับการ cross-linked ด้วย N,N'-methylene-bis-acrylamide และ Carbopol gel และชนิดที่ไม่ได้รับการ cross-linked เช่น acrylic acid-acrylamide copolymer และพวก biopolymer เช่น carrageenan ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าทั้งไฟฟ้ากระแสตรง(DC)และไฟฟ้ากระแสสลับ(AC) โดยมีตัวแปรที่สำคัญในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ระดับความเข้มข้นสนามไฟฟ้า ระดับความเข้มข้นของสารละลาย ชนิดของพอลิเมอร์ ความเข้มข้นของเจล ครรชนหักเหแสงและระดับความเป็นกรด-ด่าง แต่ในงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ได้ ศึกษา polyacrylamide gel แบบชนิดเป็นท่อนเท่านั้น ยังไม่มีผู้ใดทำการศึกษา polyacrylamide gel แบบชนิดเป็นเม็ด ฉะนั้นในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษา polyacrylamide gel แบบที่เป็นท่อน และเป็นเม็ด ไปพร้อม ๆ กัน

### 1.6.2 จุดประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาวัสดุพอลิเมอร์อินทรีย์ หรือพอลิเมอร์ชีวภาพ ทั้งชนิดที่ cross-linked หรือมิได้ cross linked ในรูปแบบต่าง ๆ กัน ที่มีคุณสมบัติทางแสงเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นหรือทิศทางของสนามไฟฟ้าผ่านชั้นวัสดุนั้น

### 1.6.3 สมมุติฐานในงานวิจัย

อุปกรณ์ทางแสงไม่สามารถทำจาก hydrolysed polyacrylamide gel ที่มีประจุภายใน โครงสร้างสม่ำเสมอ (uniform charge distribution) ในสนามไฟฟ้าที่มีค่าไม่สม่ำเสมอได้

### 1.6.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาพอลิเมอร์ซึ่งมีทั้งชนิดที่ cross-linked เช่น acrylic acid-acrylamide copolymer ซึ่ง ได้รับการ cross-linked ด้วย N,N'-methylene-bis-acrylamide และ Carbopol gel รวมทั้งชนิดที่ไม่มี cross-linked เช่น acrylic acid acrylamide copolymer ที่มีได้รับการ cross-linked ด้วย N,N'-methylene-bis-acrylamide ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าทั้งไฟฟ้ากระแสตรง(DC) และไฟฟ้ากระแสสลับ(AC) มีตัวแปรที่สำคัญในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ระดับกระแสไฟฟ้า ความเข้มข้นของสารละลาย ชนิดของพอลิเมอร์ อุณหภูมิ และครรชนหักเหแสง เป็นต้น เพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อพัฒนาเป็นอุปกรณ์ทางแสงได้ดียิ่งขึ้นในอนาคต