

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### น้ำผลไม้

น้ำผลไม้ คือ ของเหลวที่สกัดได้จากผลไม้โดยใช้แรงหรือวิธีการเชิงกลอื่น ๆ น้ำผลไม้แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะความข้นและความใสของน้ำผลไม้ คือ น้ำผลไม้ชนิดใส และน้ำผลไม้ชนิดขุ่น (Tressler and Joslyn, 1961)

#### น้ำผัก

น้ำผัก คือ เครื่องดื่มที่สกัดได้จากผัก โดยวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตอาจได้ส่วนใบหรือลำต้น ราก ผล หรือเป็นพวกพืชตระกูลถั่ว เครื่องดื่มน้ำผักแบ่งออกได้เป็น 6 กลุ่ม ดังนี้

1. เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากวัตถุดิบที่มีความเป็นกรด เช่น มะเขือเทศ และ โภชนาเต้า ซึ่งอาจจะผ่านความร้อนที่อุณหภูมิจุดเดือดเท่านั้น
2. เครื่องดื่มน้ำผักที่เตรียมได้จากการผสมกับวัตถุดิบที่มีความเป็นกรดสูง เช่น น้ำซิตรัส (citrus) น้ำสับปะรด น้ำมะเขือเทศ น้ำผักกาดดอง น้ำจากโภชนาเต้า เป็นต้น
3. เครื่องดื่มน้ำผักที่ถูกเตรียมจากการเติมกรดอินทรีย์ลงไป เพื่อลดความเป็นกรด-ด่างลง ซึ่งอาจจะทำให้ผ่านกรรมวิธีการผลิตที่ง่ายขึ้น
4. เครื่องดื่มน้ำผักที่ได้จากน้ำคองผักต่าง ๆ ปกติจะนำมารองและผ่านกรรมวิธีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก เพื่อผลิตเป็นเครื่องดื่มได้
5. เครื่องดื่มน้ำผักที่สกัดมาจากผักที่มีความเป็นกรดไม่สูง ส่วนมากเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ มักจะเก็บรักษาไว้ในที่เย็นก่อนการบริโภค
6. เครื่องดื่มน้ำผักที่ได้จากวัตถุดิบพวกแป้ง ซึ่งมีความเป็นกรดไม่สูง จำเป็นต้องผ่านความร้อนสูงในการฆ่าเชื้อ

### คุณลักษณะของน้ำผลไม้ที่ขุ่น

องค์ประกอบที่ทำให้ผลไม้ขุ่นที่พบตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่ยังไม่เป็นที่ทราบอย่างชัดเจน แต่จากการศึกษาของผู้วิจัยหลาย ๆ ท่าน เชื่อว่าความขุ่นของน้ำผลไม้เกิดจากสารประกอบในเซลล์พืช ซึ่งเป็นสารพวกไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) เช่น แทนนิน เพคติน แป้ง เจลาติน กัม โปรตีนจากผลไม้ นิวเคลียส และองค์ประกอบอื่น ๆ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ มีลักษณะเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่และมีลักษณะแขวนลอยอยู่ในน้ำผลไม้ สารประกอบฟีนอลิกที่พบในน้ำผลไม้ก็เป็นอีกชนิดหนึ่งที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดความขุ่น ซึ่งมี 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ กลุ่ม cinnamic acid และอนุพันธ์ กลุ่ม flavan และ flavanol กลุ่ม glycoside dihydrochalcone และ glycoside กลุ่ม condensed tannin (Wakayama and Lee, 1987) ความขุ่นของน้ำผลไม้เป็นสาเหตุทำให้น้ำผลไม้เกิดการเปลี่ยนสี กลิ่นและรสชาติได้ นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพคติน เช่น pectinesterase ในสารประกอบที่แขวนลอยเหล่านั้นอาจจะเป็นสารที่เป็นน้ำมัน ไขมัน สารที่ให้สีจากผิวผลไม้หรือเนื้อผลไม้ (Tressler and Joslyn, 1961) ปริมาณที่พบจะแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของผลไม้ด้วย (Calderon et al., 1968)

### สมมติฐานความขุ่นของน้ำผลไม้

การศึกษาความเป็นไปได้ของปฏิกิริยาการทำน้ำผลไม้ให้ใสโดยใช้สารเคมีบางชนิด เช่น โซเดียม เจลาติน ซึ่งจะเป็นการรวมตัวระหว่างโปรตีนกับแทนนินที่ตำแหน่ง *o* - dihydroxy phenolic ซึ่งเป็นหมู่หลักสำหรับการรวมตัวกับหมู่คาร์บอนิลกับโปรตีนที่พันธะเปปไทด์ สำหรับพันธะที่คาดว่าจะมีผลต่อปฏิกิริยาดังกล่าวคือ พันธะไฮโดรเจน ส่วนพันธะชนิดอื่น ๆ เช่น พันธะโคเวเลนต์และพันธะไอออนิก ก็สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้ แต่อาจจะมิพบาทรงลงมา (Gustavson, 1954) นอกจากนี้บางสมมติฐานกล่าวว่าแทนนิน 1 โมเลกุลสามารถจับกับโปรตีนที่พันธะตำแหน่งเปปไทด์ 2 กลุ่ม หรือมากกว่า 2 กลุ่ม การรวมตัวกันของตะกอนที่เกิดจากความขุ่นขึ้นอยู่กับเกิดการเกิดพันธะเชื่อมข้าม (crosslink) ซึ่งจะเพิ่มมากขึ้นตามความซับซ้อนของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน นอกจากนี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะเปปไทด์ ความเข้มข้นของแทนนินและโปรตีน จำนวนหมู่ phenolic hydroxyl เกือบความเป็นกรด-ด่าง แอลกอฮอล์ ชนิดของแทนนินและอัตราการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน (Endres and Hoermann, 1963 ; Calderon et al., 1968)

## กลไกการเกิดความขุ่นของน้ำผลไม้

สำหรับกลไกการเกิดความขุ่นของน้ำผลไม้เกิดจากอนุภาคที่แขวนลอยซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ที่ชอบน้ำที่มีในน้ำผลไม้ ประกอบด้วยอนุภาคแขวนลอยที่สำคัญอยู่รอบ ๆ เป็นชั้นของน้ำที่ถูกดูดซับและประจุที่อยู่รอบ ๆ โดยการเลือกอิออนที่ถูกดูดซับจากการแตกตัวเป็นหมู่คาร์บอนิลอิสระ เช่น โปรตีน ชั้นของน้ำที่ถูกดูดซับและประจุไฟฟ้าสามารถป้องกันอนุภาคจากการรวมตัวในบริเวณส่วนใหญ่ที่มีการรวมตัวและการตกตะกอน นอกจากนี้การดูดซับ การแตกตัวเป็นอิออนและธรรมชาติของปฏิกิริยากับอนุภาคที่แขวนลอยอื่นก็มีผลต่อความคงตัวของอนุภาค การทำให้ประจุทางไฟฟ้าเป็นกลาง โดยวิธีการทำแห้งอาจมีผลต่อการรวมตัวและการตกตะกอนของอนุภาคเหล่านั้น ถ้าอนุภาคแขวนลอยที่มีประจุตรงข้ามอยู่รวมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม อนุภาคเหล่านั้นอาจรวมตัวแล้วตกตะกอนซึ่งกันและกัน และสามารถกำจัดตะกอนออกไปได้ (Tressler and Joslyn, 1961)

## การทำให้น้ำผลไม้ใส

การทำให้น้ำผลไม้ใสแบ่งออกเป็นกระบวนการทางเคมี (chemical processes) ซึ่งเป็นการทำลายสารที่ทำให้เกิดความขุ่น และกระบวนการทางกายภาพ (physical processes) โดยการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กออกไป (Ranken and Kill, 1993 ; ไพโรจน์, 2535 ; วัฒนา, 2540)

### กระบวนการทางเคมี

1. การใช้เอนไซม์ที่ย่อยสลายเพคติน (pectolytic enzymes) ใช้เพื่อสกัดน้ำผลไม้ออกจากเนื้อผลไม้ ตามปกติจะทำการบดผลไม้ให้เป็น pulp ให้สามารถผ่าน tubular heat exchanger ได้ เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 40-50 องศาเซลเซียส (104-120 องศาฟาเรนไฮต์) แล้วเติมเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพคตินลงไปใน pulp คงอุณหภูมิที่ 40-50 องศาเซลเซียสไว้นาน 4-8 ชั่วโมง (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถและความเข้มข้นของเอนไซม์) เพื่อให้เพคตินถูกไฮโดรไลซ์ การควบคุมอุณหภูมิมีความสำคัญมาก เพราะที่อุณหภูมิสูงสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ แต่อาจทำให้เอนไซม์เสียสภาพธรรมชาติ (denature) ได้ ส่วนการใช้อุณหภูมิต่ำ จะส่งเสริมการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย

## 2. การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี

2.1 การตกตะกอนโดยใช้เจลาติน วิธีนี้ใช้ในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดความขุ่น (haze) โดยเฉพาะในน้ำแอปเปิ้ลซึ่งจะใช้วิธีการนี้หลังจากการใช้เอนไซม์ การเติมเจลาตินจะทำให้เกิดการตกตะกอน ซึ่งเชื่อว่าเกิดจาก electrostatic action ระหว่างอนุภาคของเจลาตินที่เป็นประจุบวกกับอนุภาคที่เป็นประจุลบในน้ำผลไม้ ผลการศึกษาพบว่าอนุภาคในน้ำผลไม้ที่จับกับเจลาตินได้ คือ แทนนินที่มีตามธรรมชาติในน้ำผลไม้

ปริมาณเจลาตินที่นิยมใช้เติมลงในน้ำผลไม้ คือ 30 ออนซ์ต่อน้ำผลไม้ 1,000 แกลลอน (200 ppm) การเติมเจลาตินมากหรือน้อยเกินไปจะมีผลต่อการตกตะกอน (flocculation) เช่น การเติมมากเกินไปจะทำให้องค์ประกอบที่สำคัญในน้ำผลไม้สูญเสียไป และจะมีผลต่อกลิ่นและรสชาติของน้ำผลไม้ด้วย

เนื่องจากเจลาตินจะจับกับสารแทนนินที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดรสฝาด (astringency) ในน้ำผลไม้ ดังนั้นในบางครั้งจะต้องเติมแทนนินลงไปทดแทนเพื่อรักษากลิ่นและรสชาติดั้งเดิมของน้ำผลไม้ไว้ โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ไซเดอร์ ซึ่งต้องการให้มีปริมาณแทนนินสูง จะมีการเติมแทนนินลงไป 12 ออนซ์ต่อน้ำผลไม้ 1,000 แกลลอน (75 ppm)

2.2 การใช้น้ำผึ้ง Robert Kime เป็นคนแรกที่ค้นพบวิธีการนำน้ำผึ้งมาใช้ในการทำน้ำผลไม้ให้ใส ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำผึ้งมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ ปฏิกริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างโปรตีนจากน้ำผึ้งและแทนนินในน้ำผลไม้ นั้นเหมือนกับที่ใช้เจลาติน การใช้น้ำผึ้งในการทำให้น้ำผลไม้ใสยังมีข้อดี คือ น้ำผึ้งนอกจากจะเป็นสารอาหารที่ให้ความหวานที่มีคุณค่าทางโภชนาการแล้ว ยังช่วยเสริมให้น้ำผลไม้มีเนื้อสัมผัสมากขึ้นโดยที่คุณค่าทางอาหารไม่เปลี่ยนแปลง และยังประหยัดพลังงานในขั้นตอนการให้ความร้อนและการทำให้เย็นด้วย ประโยชน์ของการใช้น้ำผึ้งที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ สามารถป้องกันไม่ให้เพคตินที่เป็นองค์ประกอบสำคัญที่พบในน้ำผลไม้ ถูกกำจัดออกไป (วิวัฒนา, 2540)

2.3 โซขาว การใช้โซขาวในการตกตะกอนสารต่าง ๆ ในน้ำผลไม้อาจใช้ในรูปโซขาวผงแห้งหรือโซขาวสดก็ได้ ปริมาณที่ใช้คือร้อยละ 2 แต่การใช้ร่วมกับความร้อนจะให้ผลดี คือ หลังจากใส่โซขาวลงไปผสมให้เข้ากันดีแล้ว ทำให้อุ่นถึง 71 ถึง 78 องศาเซลเซียส โซขาวจะตกตะกอนแล้วดึงเอาสารที่ทำให้ขุ่นตกตะกอนลงมาด้วย

2.4 เคซีน (casein) การใช้เคซีนนิยมใช้ในรูปเกลือของเคซีน ปริมาณที่ใช้คือ ร้อยละ 2 สารนี้สามารถละลายน้ำได้ เมื่อใส่สารนี้ลงไปแล้วทิ้งไว้ประมาณ 1-2 วัน ตะกอนจะตกลงมาอนก้นถัง

2.5 เบนโทไนท์ (bentonite) การเตรียมต้องละลายเบนโทไนท์ผงในน้ำประมาณร้อยละ 5 เก็บสารละลายนี้ไว้หลายวันเพื่อให้ผงเบนโทไนท์กระจายตัวได้ดี หลังจากนั้นนำเบนโทไนท์ที่อิมัตด้วยน้ำไปกรองน้ำผลไม้ โดยจะใช้ประมาณ 2 – 3 กรัมต่อน้ำผลไม้ 1 ลิตร อาจใช้ร่วมกับความร้อน โดยให้ความร้อนแก่น้ำผลไม้ประมาณ 60 องศาเซลเซียส จะช่วยให้ตกตะกอนได้เร็วขึ้น

#### กระบวนการทางกายภาพ

1. การใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifugation) นิยมใช้กำจัดอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีปริมาณมากออกจากน้ำผลไม้ เครื่องหมุนเหวี่ยงมีหลายชนิด ที่นิยมใช้คือ disc-bowl type
2. การกรอง (pre-filtration) ใช้ในการกำจัดตะกอนปริมาณมากออกจากน้ำผลไม้ อาจเรียกวิธีนี้ว่า pulp filter การกรองจะใช้ plate and frame และใช้ asbestos/cellulose pulp เป็น filter medium เคลือบบนแผ่นกรองหนา 60 มิลลิเมตร (2½ นิ้ว) วิธีการนี้ใช้เวลานาน เครื่องมือที่ใช้มีขนาดใหญ่และหนัก นอกจากนี้ยังเกิดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ได้ง่าย ปัจจุบันจึงไม่ค่อยนิยมใช้ จะใช้วิธีการหมุนเหวี่ยงหรือใช้การกรองด้วย diatomaceous earth แทน

นอกเหนือวิธีที่กล่าวมาข้างต้น ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเมมเบรนในการทำให้น้ำผลไม้ใส โดยเริ่มใช้ในทางการค้าครั้งแรกที่ประเทศฝรั่งเศสและแอฟริกาใต้ในช่วงต้นทศวรรษ 1980 กระบวนการแยกด้วยเมมเบรนจัดเป็นกระบวนการทางกายภาพ ซึ่งในการทำน้ำผลไม้ให้ใส นั้น สามารถใช้ได้ทั้งกระบวนการ Ultrafiltration และ Microfiltration การใช้เทคโนโลยีเมมเบรนจะขอล่าวเป็นหัวข้อสุดท้าย

## เพคติน (Pectin)

เพคตินเป็นคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในผนังเซลล์ของพืช เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืชซึ่งอยู่ในส่วนของ Middle lamella ทำหน้าที่เชื่อมให้เซลล์ติดกัน และช่วยเพิ่มลักษณะคงตัวของเนื้อสัมผัส (texture) ของผักและผลไม้ (दनिय, 2539 ; ปราณี, 2535)

ในผลไม้ดิบจะมีลักษณะเนื้อที่แข็ง แต่เมื่อสุกจะมีลักษณะเนื้ออ่อนนุ่มลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเพคติน โดยในผลไม้ดิบ เพคตินจะจับกับเส้นใยของเซลล์และอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ในระหว่างการสุก เพคตินจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ที่อยู่ในตัวผลไม้ เป็นผลให้เพคตินมีความสามารถในการละลายน้ำมากขึ้น และความสามารถการยึดจับกับผนังเซลล์ลดลง เนื้อเยื่อของผลไม้จึงอ่อนลง สารประเภทเพคติน มีหลายประเภท ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. สารประเภทเพคติน (Pectic substances) เป็น colloidal carbohydrates ของพืช ประกอบด้วย anhydrogalacturonic acid units และอนุพันธ์
2. โปรโตเพคติน (Protopectin) เป็นสารจำพวกเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ (water-insoluble parent pectic substance) พบในเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนอยู่โดยเฉพาะในผลไม้ดิบ
3. เพคติน (Pectin) เป็นเทอมทั่วไปสำหรับเรียกสารประเภทเพคติน ที่มีหมู่คาร์บอกซิลประมาณร้อยละ 75 ถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมธานอล เพคตินเป็นสารพวกคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดเจลระหว่างน้ำตาลและกรดได้ดี นำไปใช้ในการทำแยมและเยลลี่
4. กรดเพคติก (Pectic acid) เป็นโพลีเมอร์ของ anhydrogalacturonic acid units ที่มีหมู่คาร์บอกซิลอิสระ
5. กรดเพคตินิก (Pectinic acid) เป็นสารที่เรียกโดยรวม หมายถึงเพคตินซึ่งมีหมู่เมทิลเอสเทอร์เล็กน้อย

## เพคตินเนส (Pectinase)

เป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารพวกเพคติน โดยสับสเตรทของเพคตินเนส คือ สารประกอบประเภทเพคตินและอนุพันธ์ของโพลีเมอร์ของ  $\alpha$  - 1,4 - D - galacturonopyranose units เพคตินเนสสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ depolymerases และ esterases โดย depolymerases จะแยกพันธะระหว่าง galacturonic acid ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเพคติน ในขณะที่ esterases จะแยกหมู่เมทอกซิลออกจากโมโนเมอร์ที่ถูกเอสเทอร์ เอนไซม์หลักที่ใช้ในการย่อยสลายเพคติน ได้แก่ pectin methylesterase, pectic lyase และ polygalacturonase (National Academy of Science Food and Nutrition Board, 1981; ปรากฏ, 2535)

## แหล่งที่พบเพคตินเนส

พบทั่วไปในพืชชั้นสูง เหมือนสารประเภทเพคติน แต่อยู่คนละชั้นของเซลล์ เมื่อเซลล์พืชฉีกขาดหรือได้รับการกระทบกระเทือน เอนไซม์และเพคตินจะเคลื่อนเข้าใกล้กัน ทำให้เกิดการย่อยสลาย ลักษณะความคงตัวของเนื้อสัมผัสของผักผลไม้จะเสียไป เป็นผลให้ผักและผลไม้เน่าลง ปัจจุบันได้มีการผลิตเพคตินเนสเพื่อการค้าจากการสกัดจากจุลินทรีย์ ซึ่งมีขายใน 2 รูป คือ ในรูปที่เป็นผงและในรูปของเหลว (White and White, 1997; ปรากฏ, 2535)

## เอนไซม์เพคตินเนส ประกอบด้วย

### 1. Pectinesterase (PE ; EC 3.1.1.11)

ทำหน้าที่ย่อยเมธานอลออกจากกลุ่มคาร์บอกซิลที่ถูก esterified และเปลี่ยนจากเพคตินเป็น low methoxyl pectin และเพคเตท ผลิตได้จากจุลินทรีย์ประเภทราและแบคทีเรีย แต่เอนไซม์ที่ผลิตได้จากราจะมีความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม คือ 4.5 ส่วนเอนไซม์ที่ผลิตจากพืชและแบคทีเรียจะมีความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วงที่เป็นด่าง เอนไซม์จะทำปฏิกิริยาจากทางปลายรีดิวซิง (reducing end) หรือถัดจากส่วนที่มีกลุ่มคาร์บอกซิลอิสระ จากนั้นจึงทำปฏิกิริยาตลอดทั้งโมเลกุล

## 2. Polygalacturonase (PG ; EC 3.2.1.15 และ 3.2.1.67)

ทำหน้าที่ย่อยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkages) ที่อยู่ใกล้กับกลุ่มคาร์บอกซิลอิสระ โดยมี low methoxyl pectin และเพคเตทเป็นสับสเตรท เอนไซม์ส่วนใหญ่จะผลิตจากรา ยีสต์และแบคทีเรียบางชนิด และพบมากในพืชชั้นสูง ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมคือ 4.0 – 5.5 เอนไซม์มีทั้งแบบ endo และ exo type ชนิด endo type (EC 3.2.1.15) จะย่อยสายของเพคตินแบบสุ่ม ทำให้ความหนืดลดลงอย่างชัดเจน ส่วน exo type (EC 3.2.1.67) จะย่อยโมโนเมอร์หรือไดเมอร์จากปลาย non-reducing end ซึ่งจะทำให้ความหนืดลดลงอย่างช้า ๆ

## 3. Pectate Lyases (PAL ; EC 4.2.2.2 และ 4.2.2.9)

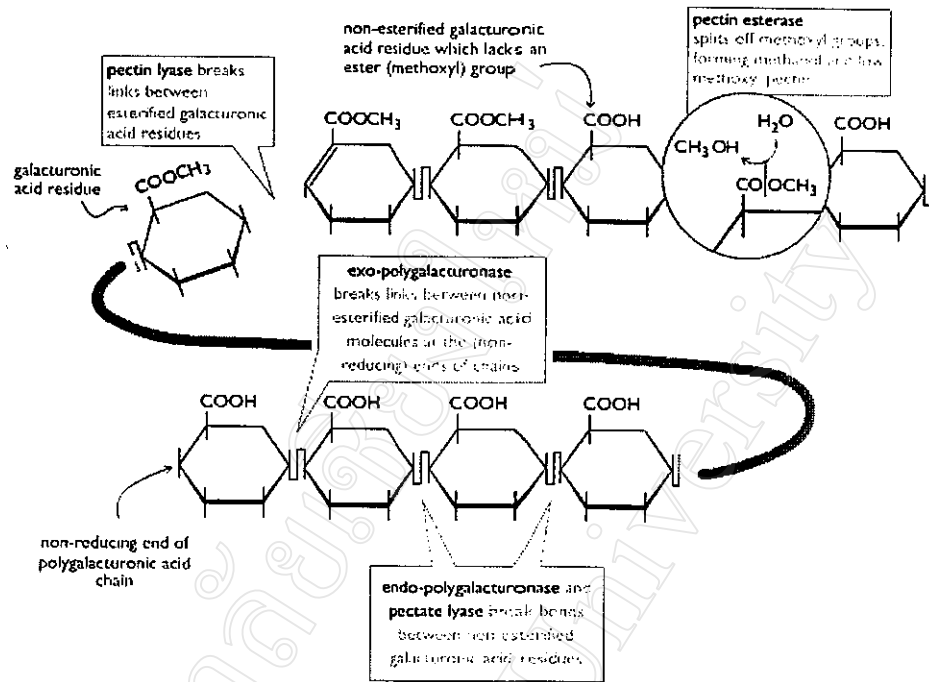
ทำหน้าที่ย่อยพันธะไกลโคซิดิก โดยกระบวนการ  $\beta$  - elimination มีทั้ง endo และ exo type สำหรับ exo type (EC 4.2.2.9) มีเพคเตทเป็นสับสเตรทที่ดีที่สุด unsaturated dimer ของเพคเตทจะถูกย่อยออกทางปลายรีดิวซิง ส่วน endo type (EC 4.2.2.2) มี low methoxyl pectin เป็นสับสเตรทที่ดีที่สุด ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 8.0-9.5 ซึ่งไม่ควรนำมาใช้ในกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้

## 4. Pectin Lyases (PL ; EC 4.2.2.10)

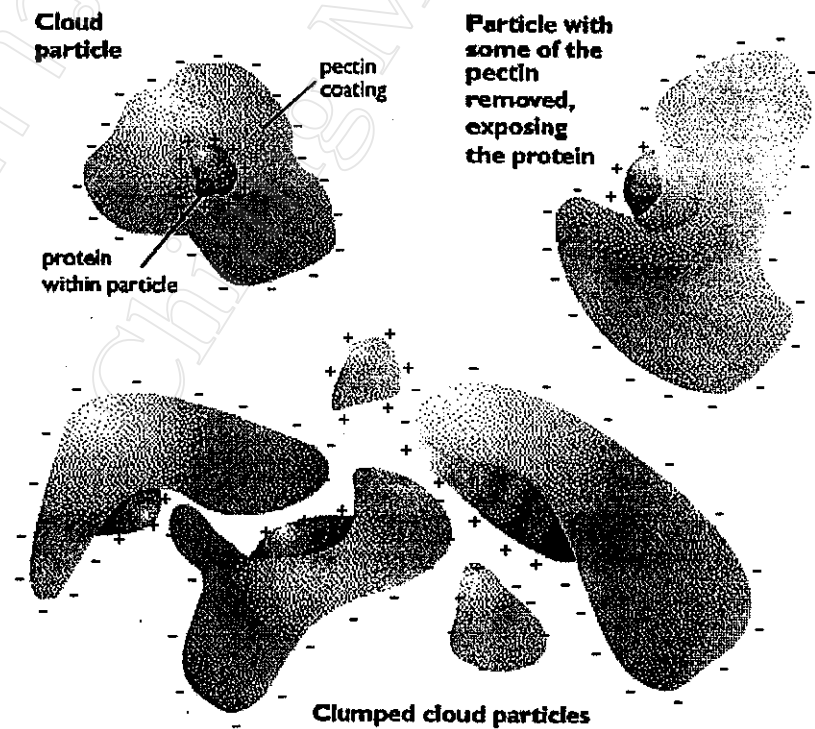
ทำหน้าที่ย่อยพันธะไกลโคซิดิกที่อยู่ติดกับเมทิลเอสเทอร์ (methyl ester group) โดยกระบวนการ  $\beta$  - elimination สับสเตรทที่เหมาะสมสำหรับ endo type คือ highly esterified pectin เอนไซม์ผลิตได้จากรา มีความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 5.0-6.0

ตำแหน่งของเพคตินที่ถูกย่อยโดยเอนไซม์เพคตินเนส และกลไกการตกตะกอนของเพคติน แสดงดังภาพที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ





ภาพที่ 2.1 ตำแหน่งของโมเลกุลเพคตินที่ถูกย่อยโดยเอนไซม์เพคตินเนส  
ที่มา : Blanshard and Mitchell (1979)



ภาพที่ 2.2 กลไกการตกตะกอนของเพคตินเมื่อถูกย่อยด้วยเอนไซม์เพคตินเนส  
ที่มา : Madden (1997)

### การประยุกต์ใช้เอนไซม์ที่ย่อยสลายเพคตินในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้

ในปัจจุบันการใช้ประโยชน์ของเอนไซม์เพคตินเนสและเอนไซม์อื่น ๆ มีความสำคัญอย่างมากในเทคโนโลยีการผลิตน้ำผลไม้ โดยเฉพาะการผลิตน้ำผลไม้แบบใส ซึ่งมีการใช้เพคตินเนสอย่างแพร่หลาย การใช้เอนไซม์ที่ย่อยสลายเพคติน (pectolytic enzymes) ในกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การประยุกต์ใช้เอนไซม์ที่ย่อยสลายเพคตินในกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้

การใช้ประโยชน์	ตัวอย่างการใช้งาน
การทำให้ น้ำผลไม้ใส	เช่น น้ำแอปเปิ้ล น้ำแอปเปิ้ลที่ผ่านการย่อยเพคตินแล้วยังสามารถใช้น้ำแช่ชิ้นได้โดยไม่เกิดการเกิดเจลและไม่ทำให้เกิดความขุ่น
ใช้ในการย่อยสลาย pulp	ช่วยในการสกัดน้ำผลไม้จากเนื้อผลไม้ในผลไม้เนื้ออ่อน องุ่นแดง ส้มและแอปเปิ้ล และช่วยในการเพิ่ม oil yield ในเนื้อมะกอก ผลปาล์มและเนื้อมะพร้าว
ทำให้เนื้อผักและผลไม้ยุ่ย	ใช้ในการทำเนคต้าและอาหารสำหรับทารก
ย่อยผักและผลไม้	เพื่อเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (ใช้เอนไซม์เพคตินเนสและเซลลูเลสร่วมกัน)
ใช้ในผลไม้ตระกูลส้ม	เตรียมสารให้ความขุ่น (clouding agents) จากเปลือกส้ม ให้ความสะอาดเปลือกเพื่อใช้ในการผลิตลูกกวาดและมาร์มาเลด สกัดน้ำมันจากเปลือกส้ม

ที่มา : Rombouts and Pilnik (1978)

การใช้เอนไซม์เพคตินเนสยังช่วยเพิ่มการเกิดปฏิกิริยา saccharification ทำให้น้ำผลไม้ที่ได้มีความหวานเพิ่มขึ้น ลดปริมาณของเสีย ประหยัดพลังงานในการผลิต ปรับปรุงกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ เพิ่มความใส กำจัดความขุ่น ป้องกันการเกิดเจลและเพิ่มปริมาณผลผลิต (Organic Materials Review Institute, No date)

นอกจากเอนไซม์เพคตินเนสแล้ว ยังมีเอนไซม์อีกหลายชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปผักและผลไม้ เช่น cellulase, arabinase, glucoamylase ตารางที่ 2.2 แสดงการใช้เอนไซม์ชนิดอื่นในกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้

ตารางที่ 2.2 การใช้เอนไซม์ชนิดอื่นในกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้

ชนิดของเอนไซม์	การใช้งาน
Amylase	ป้องกันหรือกำจัดการเกิดความขุ่นอันเนื่องมาจากแป้งในน้ำแอปเปิ้ลเข้มข้น
Arabinase	กำจัดความขุ่นอันเนื่องมาจาก araban ในน้ำผลไม้เข้มข้นโดยเฉพาะในน้ำแพร์
Glucose oxidase	กำจัดออกซิเจนส่วนเกินออกจากไวน์ เบียร์ น้ำผลไม้ และเครื่องดื่มประเภท soft drinks ต่าง ๆ
Naringinase	ลดความขมของผลิตภัณฑ์จากผลไม้พวก grapefruit และส้ม
Limoninase	ลดความขมจากสาร limonoid ในผลิตภัณฑ์ประเภท grapefruit และส้ม

ที่มา : Rombouts and Pilnik (1978)

## พลัม (Plum)

พลัม จัดอยู่ในตระกูล (Family) Rosaceae subfamily Prunoideae และอยู่ใน Genus *Prunus* มีทั้งหมดเกือบ 200 สายพันธุ์ พลัมที่สำคัญมี 3 ประเภท คือ พลัมยุโรป หรือ พลัมฝรั่ง (*Prunus domestica*) พลัมญี่ปุ่น (*P. salicina*) และพันธุ์ผสมของพลัมญี่ปุ่น พลัมเป็นผลไม้เขตหนาวประเภทเปลือกเมล็ดแข็ง (stone fruit) ส่วนมากนิยมบริโภคสด นอกจากจะบริโภคสดแล้วยังสามารถนำไปบรรจุกระป๋อง ทำเครื่องดื่มน้ำ หรือนำไปอบแห้งได้ ซึ่งเรียกว่า พรุน (Prune) ปัจจุบันพันธุ์ของพลัมที่ปลูกในประเทศไทยมีไม่มากนัก สามารถปลูกได้เฉพาะ Japanese plum เท่านั้น ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากไต้หวัน อเมริกา ญี่ปุ่นและอินเดีย พลัมที่ปลูกมากในประเทศไทย ได้แก่

พันธุ์ GulfRuby เป็นพลัมลูกผสมที่มีต้นกำเนิดในรัฐฟลอริดา เป็นพันธุ์ปลูกได้ในพื้นที่ที่มีอากาศหนาวเย็นไม่มากนัก สามารถเจริญเติบโตได้ดี แข็งแรง กิ่งก้านสาขาเป็นพุ่มแคบ ออกดอกประมาณปลายเดือนมกราคมถึงต้นกุมภาพันธ์ ผลมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ผิวของผลเมื่อสุกเต็มที่ที่มีสีแดงคล้ำจนถึงแดง-ดำ เนื้อสีเหลือง ส่วนก้นของผลมีลักษณะแหลม มีร่อง (Suture) ไม่ลึก รสชาติดี กลิ่นหอม เก็บเกี่ยวผลได้ประมาณต้นเดือนพฤษภาคม

พันธุ์ GulfGold เป็นพันธุ์ลูกผสมที่มีต้นกำเนิดในรัฐฟลอริดา การติดผลค่อนข้างดีโดยไม่ต้องการผสมเกสรข้ามพันธุ์ ผลแก่จะมีสีเหลืองและจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีแดงอมเหลืองเมื่อผลสุกเต็มที่ เนื้อมีสีเหลือง รสชาติดี กลิ่นหอม เก็บเกี่ยวผลสุกได้ในช่วงกลางถึงปลายพฤษภาคม ขนาดและลักษณะผลของพันธุ์นี้ใกล้เคียงกับพันธุ์ GulfRuby ผลจะมีน้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 45-60 กรัม

พันธุ์แดงบ้านหลวง (Ban-luang Red) เป็นพันธุ์ที่ปลูกในหมู่บ้านหลวง ใกล้สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง ผลค่อนข้างกลม ร่องลึกเห็นได้ชัดเจน ผิวผลสีแดง บริเวณผิวมีจุดประปราย มี 2 ชนิด คือ เนื้อสีแดง และเนื้อสีเหลือง หากผลสุกไม่เต็มที่เนื้อจะแข็ง รสเปรี้ยว แต่เมื่อสุกเต็มที่เนื้อจะนิ่มและมีรสหวาน ปริมาณกรดต่ำ ขนาดผลปานกลาง

พันธุ์เหลืองบ้านหลวง (Ban-luang Yellow) เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะคล้าย ๆ กับพันธุ์แดงบ้านหลวง แต่ผลมีผิวสีเหลืองสด และเนื้อสีเหลือง ผลมีรูปร่างกลมมีร่องเห็นได้ชัดเจน ผลสุกเต็มที่เนื้อนิ่ม รสหวานหอม คุณภาพดี ทั้งพันธุ์แดงและเหลืองบ้านหลวงเก็บเกี่ยวได้ประมาณปลายเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน นิยมบริโภคสด เมื่ออยู่ในระยะที่มีความสุกเหมาะสม คือ ระยะผลสุกจัดเต็มที่ ผิวมีสีแดงคล้ำ และเนื้อเริ่มนิ่ม

พันธุ์แดงอินเดีย (Indian Red) เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากประเทศอินเดีย ผลมีขนาดเล็กประมาณ 10 กรัม ไม่นิยมบริโภคสด แต่นิยมนำไปดองหรือแปรรูป เมื่อผลสุกจะเปลี่ยนเป็นสีแดงอ่อน ๆ

พันธุ์เหลืองอินเดีย (Indian Yellow) เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากประเทศอินเดีย ผลมีขนาดใหญ่กว่าพันธุ์แดงอินเดีย โดยเฉลี่ยผลมีน้ำหนักประมาณ 40 กรัม เมื่อผลสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมแดงจนถึงสีแดง เนื้อในสีเหลือง ไม่นิยมบริโภคสด นิยมนำไปแปรรูป เก็บเกี่ยวผลได้ประมาณกลางเดือนถึงปลายเดือนเมษายน

นอกจากนี้ยังมีอีกหลายพันธุ์ แต่ยังไม่สามารถส่งเสริมให้ปลูกเป็นการค้าได้ในขณะนี้ โดยเฉพาะพลัมยุโรปซึ่งปัจจุบันยังไม่มีพันธุ์ใดที่สามารถปลูกได้ในประเทศไทย (ปวิณ, 2536)

พลัมเป็นแหล่งของน้ำตาล ในช่วงที่ยังดิบ จะมีปริมาณแป้งเพียงเล็กน้อยและไม่มีน้ำตาลซูโครส แต่องค์ประกอบดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการสุก กรดอินทรีย์ที่พบในพลัมมีหลายชนิด แต่กรดที่มีปริมาณมากคือกรดมาลิกและกรดควินิก (quinic acid) พลัมยังเป็นแหล่งที่สำคัญของแร่ธาตุหลายชนิด ได้แก่ โพตัสเซียม โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และสังกะสี

#### แครอท (Carrot)

แครอทมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Daucus carota*, Linn. อยู่ในตระกูล Umbelliferae จัดอยู่ในพวกเดียวกับผักชี อาจเรียกว่า ผักกาดหัวเหลือง ผักชีหัว ภาษาอังกฤษเรียก Carrot, Beesnest Plant, Bird's nest root และ Queen Anne's lace

แครอทเป็นพืชล้มลุก ปลูกง่ายและสามารถปลูกได้ทั่วไปในแถบที่มีอากาศค่อนข้างเย็น ใบมีลักษณะเป็นฝอยจึงเรียกว่าผักชีหัว หัวแครอทมีลักษณะเรียวยาว สีส้มทั้งผิวและเนื้อ ใช้บริโภคเป็นผักสดและนำมาปรุงเป็นอาหารได้หลายชนิด ใช้เป็นเครื่องประกอบในอาหาร เช่น สลัดผัก ยำ ผักต้ม หรือเป็นเครื่องแฉ่ำเครื่องเคียง หรือนำมาปั่นเป็นเครื่องดื่มน้ำผัก ในแครอทมีสารเริ่มต้นของวิตามินเอสูง คือเบต้าแคโรทีน ( $\beta$ -carotene) ซึ่งมีสีส้ม เมื่อบริโภคเข้าไปแล้ว ร่างกายจะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ เบต้าแคโรทีนนอกจากเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้แล้ว ยังทำหน้าที่เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) ให้แก่ร่างกาย สีส้มที่ได้จากหัวแครอทคั้นสามารถใช้เป็นสีแต่งอาหาร ในแครอทยังประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ประโยชน์ทางยา กล่าวคือ มีฤทธิ์ขับพยาธิไส้เดือน ช่วยขับปัสสาวะเนื่องจากมีเกลือโปแตสเซียมในปริมาณสูง ช่วยย่อยอาหาร ทำให้ระบบย่อยอาหารเป็นปกติ (สมพร, 2523) คุณค่าทางโภชนาการของแครอทโดยเทียบจากน้ำหนักของแครอทส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางโภชนาการของแครอทน้ำหนัก 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณ
พลังงาน (kcal)	37
โปรตีน (g)	1.6
ไขมัน (g)	0.4
คาร์โบไฮเดรต (g)	6.8
แคลเซียม (mg)	1.0
ฟอสฟอรัส (mg)	68
เหล็ก (mg)	1.2
ไทอามีน (mg)	0.04
ไรโบฟลาวิน (mg)	0.05
ไนอะซิน (mg)	0.8
วิตามินซี (mg)	41
เบต้า-แคโรทีน (RE)	1,166
เส้นใยอาหาร (g)	ไม่มีการวิเคราะห์

ที่มา : มหัทศจรรย์ผัก 108 (2542)

RE ไมโครกรัมเทียบหน่วยเรตินัล

### บีท (Beet root)

บีทมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Beta vulgaris variety ruba* เป็นพืชที่ปลูกง่ายและสามารถปลูกได้ตลอดปีในเขตหนาว สำหรับพันธุ์ที่ปลูกในทางภาคเหนือของประเทศไทย คือ พันธุ์ Detroit และ พันธุ์ Dark Red บีทเป็นพืชที่บริโภคเฉพาะส่วนหัว ส่วนมากมักนำมาใช้ประโยชน์โดยนำมาดองแบบเปรี้ยวหวาน นำมาแกะเป็นรูปดอกไม้เพื่อประดับอาหาร บดหรือตำเพื่อคั้นน้ำออกมาเพื่อใช้ปรุงสีอาหารให้มีสีแดง และผัดกับเนื้อสัตว์ หรืออาหารทะเล (โครงการหลวง, 2533)

บีทเป็นแหล่งของน้ำตาล และกรดโฟลิก นอกจากนั้นบีทยังมีคุณสมบัติเป็นสารต้านมะเร็ง สารยับยั้งแบคทีเรียและไวรัส

### มะเขือเทศ (Tomato)

มะเขือเทศมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esculentum* Mill. จัดอยู่ในตระกูล Solanaceae มะเขือเทศเป็นพืชที่นิยมบริโภคกันในหลายประเทศทั่วโลก ประเทศที่นิยมบริโภคคือ อเมริกาและยุโรป โดยมีการบริโภคมะเขือเทศ (ในรูปผลสดและที่ผ่านกระบวนการแปรรูป) สูงถึง 20 กิโลกรัมต่อคนต่อปี สำหรับประเทศไทยมีการผลิตมะเขือเทศสดและมะเขือเทศแปรรูปน้อยมาก คือไม่เกินแสนตันต่อปี การบริโภคมะเขือเทศของคนไทยก็น้อย และไม่มีตัวเลขยืนยัน เนื่องจากคนไทยไม่นิยมบริโภคน้ำมะเขือเทศ หรืออาหารหลักที่ปรุงด้วยมะเขือเทศ จะใช้มะเขือเทศในการปรุงอาหารและแต่งเติมรสชาติเป็นส่วนน้อยเท่านั้น (มณีฉัตร, 2538 ; เกียรติเกษม, 2541)

มะเขือเทศเป็นพืชที่เหมาะสมที่จะทำการปลูกทั่วไปบนที่สูงและสามารถปลูกได้ตลอดปีในเขตหนาว พันธุ์ที่ปลูกทางภาคเหนือของประเทศไทย คือ พันธุ์ VF พันธุ์ฟาร์มเมอร์ 301 และพันธุ์ เซอร์รี่ เป็นต้น มะเขือเทศสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ตกแต่งจานอาหารและสลัด เชื่อมเป็นของหวาน ผสมหรือปรุงกับอาหารคาวหลายชนิด และปั่นเป็นน้ำมะเขือเทศสด เป็นต้น (โครงการหลวง, 2533)

มะเขือเทศเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเป็นแหล่งของโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ คุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศโดยเทียบจากน้ำหนักของมะเขือเทศส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศน้ำหนัก 100 กรัม

องค์ประกอบ	สด	บรรจุกระป๋อง	ซอส	น้ำมะเขือเทศ
ความชื้น (%)	94	94	69	94
พลังงาน (cal)	19	21	106	19
โปรตีน (g)	0.7	0.8	1.8	0.8
ไขมัน (g)	น้อยมาก	น้อยมาก	0.4	น้อยมาก
คาร์โบไฮเดรต (g)	4	4	25	4
แคลเซียม (mg)	12	6	22	7
ฟอสฟอรัส (mg)	24	19	20	18
เหล็ก (mg)	0.4	0.5	0.8	0.9
โปแตสเซียม (mg)	222	217	363	227
วิตามินเอ (U)	822	900	1399	798
โทอามีน (mg)	0.05	0.05	0.09	0.05
ไรโบฟลาวิน (mg)	0.04	0.03	0.07	0.03
ไนอะซีน (mg)	0.7	0.7	1.8	0.8
วิตามินซี (mg)	21	17	15	16

ที่มา : มณีฉัตร (2538)



## เทคโนโลยีเมมเบรน (Membrane Technology)

การพัฒนาเทคโนโลยีเมมเบรน เริ่มขึ้นในช่วงทศวรรษ 1960 โดยเริ่มจากการใช้ Reverse osmosis (RO) ในการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล ต่อมาในช่วงปลายทศวรรษ 1960 ถึงต้นทศวรรษ 1970 จึงมีการพัฒนา RO และ Ultrafiltration (UF) เพื่อใช้ในทางการค้า สำหรับ Electrodialysis (ED) และ Microfiltration (MF) เริ่มมีการใช้ในทางการค้าในช่วงทศวรรษ 1960 (Mohr *et al.*, 1989)

### คำจำกัดความของเมมเบรน

ในการให้คำจำกัดความหรือนิยามของเมมเบรน มีผู้ให้คำจำกัดความของเมมเบรนไว้หลายท่าน Hwang and Kammermeyer (1975) ได้ให้คำจำกัดความในแบบกว้าง ๆ ของเมมเบรนไว้ว่า เมมเบรน คือ สิ่งกีดขวางหรือกั้นระหว่างเฟสสองเฟส ส่วน Lakshminarayanaiah (1984) ให้ความหมายของเมมเบรนว่า คือเฟสที่ให้อนุภาคที่จำเพาะเจาะจงผ่านแต่ป้องกันไม่ให้อนุภาคอื่นผ่าน จากนิยามหรือคำจำกัดความดังกล่าวนี้ เมมเบรนอาจเป็นได้ทั้งก๊าซ ของเหลว ของแข็งหรือส่วนผสมของสารดังกล่าว

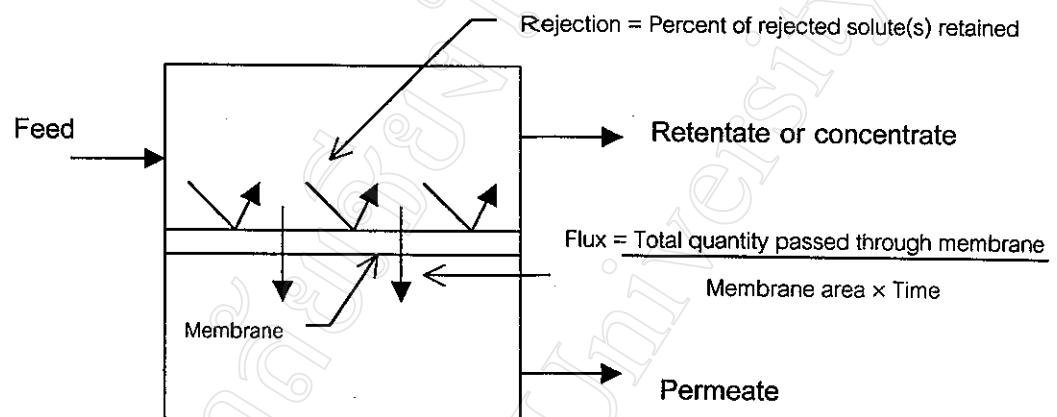
The European Society of Membrane Science and Technology ได้ให้คำจำกัดความของเมมเบรนไว้ดังนี้ เมมเบรนเป็นสิ่งกีดขวางบาง ๆ ซึ่งของไหลและตัวถูกละลายที่จำเพาะเจาะจงสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ เมื่อมีการให้แรงขับ (driving force) โดยเมมเบรนอาจเป็นพวกโพลีเมอร์ของสารอินทรีย์ โลหะ เซรามิก สารเคมี ของเหลว หรือก๊าซก็ได้

บทบาทที่สำคัญของเมมเบรนคือ ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (selective barrier) ที่ยอมให้องค์ประกอบบางตัวผ่านได้ แต่จะเก็บกักองค์ประกอบชนิดอื่นในสารผสมไว้

### ขอบเขตและแนวคิดเกี่ยวกับเมมเบรน

แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการแยกโดยใช้เมมเบรน แสดงดังภาพที่ 2.3 เมื่อสารเริ่มต้น (feed stream) เข้าสู่ระบบการแยกโดยมีการให้แรงขับผ่านเมมเบรน (driving force across membrane) อนุภาคหรือตัวถูกละลายที่จำเพาะเจาะจงจะสามารถผ่านเมมเบรนได้ ในขณะที่

องค์ประกอบอื่นที่เหลือจะไม่สามารถผ่านเมมเบรน หรือผ่านได้อย่างช้า ๆ สารละลายที่สามารถผ่านเมมเบรนซึ่งประกอบด้วยอนุภาคที่ผ่านเมมเบรนได้ เรียกว่า permeate ส่วนสารละลายหรือของผสมที่มีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่สามารถผ่านเมมเบรน เรียกว่า retentate หรือ concentrate



ภาพที่ 2.3 แผนภาพแสดงแนวคิดของเมมเบรน

ที่มา : Mohr *et.al.*, (1989)

### แนวคิดเกี่ยวกับการทำงานของเมมเบรน

การทำงานของระบบเมมเบรนถูกควบคุมด้วยปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้แก่ hydrodynamic and boundary layer phenomena หรือการเกิด concentration polarization การเกิดปฏิกิริยาระหว่างเมมเบรนกับอนุภาคที่ผิวหน้าเมมเบรน หรือการเกิด fouling การเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของเมมเบรน เช่นการเกิด compaction และ degradation ซึ่งปรากฏการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้ flux และความจำเพาะเจาะจง (selectivity) ของเมมเบรนลดลง Hwang and Kammermeyer (1984) ได้อธิบายปรากฏการณ์เหล่านี้ ดังนี้

### Concentration Polarization (CP)

เกิดจากสารพวกไฮโดรคอลลอยด์ และตัวถูกละลายที่มีขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถลอดผ่านเมมเบรนได้ เกิดการสร้างชั้น (layer) ชั้นที่ผิวหน้าเมมเบรน ชั้นที่เกิดขึ้นนี้มักหนืดและมีลักษณะคล้ายวุ้น (viscous and gelatinous) ชั้นของตัวถูกละลายที่เกิดขึ้นมีชื่อเรียกหลายอย่าง เช่น gel

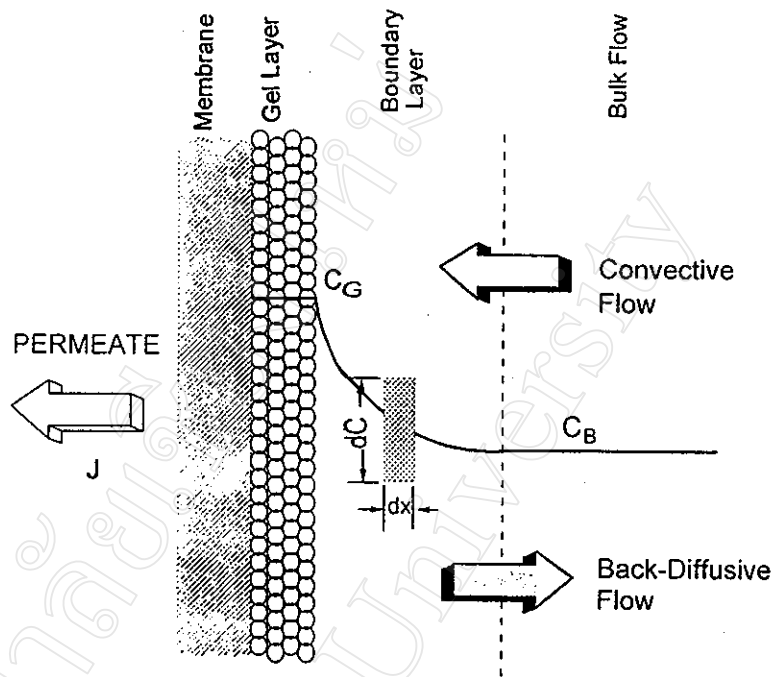
layer, CP layer, cake หรือ polarization layer แผนภาพแสดงการเกิด concentration polarization แสดงดังภาพที่ 2.4 ในระหว่างการเกิด CP จะเกิดการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย 2 ทิศทาง คือ การเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายเข้าสู่ผิวหน้าของเมมเบรน (convective transport) และการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายเข้าสู่ feed stream ด้วยกระบวนการ diffusion เมื่อเวลาผ่านไป ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าเมมเบรนจะเข้าสู่สมดุล ความเข้มข้นของตัวถูกละลายใน gel layer ณ จุดนี้จะมีค่าสูงสุด ( $C_c$  ในภาพที่ 2.4) และอัตราการไหลผ่านของตัวถูกละลาย (retained solutes) เข้าสู่ผิวหน้าเมมเบรนจะเท่ากับอัตราการแพร่ของตัวถูกละลายออกจาก boundary layer ส่งผลให้ flux และคุณสมบัติในการแยกของเมมเบรนเปลี่ยนไป

การควบคุมการเกิด concentration polarization ทำได้โดยใช้การกรองแบบ crossflow และใช้ turbulence promoters ช่วยในการกรอง (Morh *et.al.*, 1989)

การเกิด concentration polarization มีผลกระทบอย่างมากต่อ UF มีรายงานว่า flux ของ skim milk จะลดลงร้อยละ 5 หลังจากผ่าน UF ได้เพียง 25 วินาที กลไกการลดลงของ flux เกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ

1. การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าเมมเบรน ทำให้แรงดันออสโมติกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ driving force ลดลง ปรากฏการณ์นี้มักเกิดขึ้นกับกระบวนการ RO มากกว่า MF และ UF เนื่องจากสารที่แยกด้วย RO มักเป็นสารละลายซึ่งมีแรงดันออสโมติกสูง แต่สารที่แยกด้วย MF และ UF มักเป็นสารแขวนลอยหรือสารละลายที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งมีแรงดันออสโมติกต่ำ

2. เกิดจาก hydrodynamic resistance ของ boundary layer โดยเกิดจากการที่ตัวถูกละลายเคลื่อนที่เข้ามาเมมเบรนด้วย convective transport เมื่อเกิดการสะสมของตัวถูกละลายขึ้นที่ผิวหน้าเมมเบรน ทำให้ concentration gradient ใน boundary layer เพิ่มขึ้น จึงเกิด back-transport ของตัวถูกละลายเนื่องจากการแพร่ จนในที่สุดเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล ความเข้มข้นของตัวถูกละลายใน gel layer จะมีค่าสูงสุด



ภาพที่ 2.4 แผนภาพการเกิด Concentration Polarization  
ที่มา : Munir (1998)

#### Fouling

เป็นปฏิกิริยาระหว่างเมมเบรนกับตัวถูกละลาย โดยตัวถูกละลายจะสะสมอยู่ที่ผิวหน้าของเมมเบรน และอุดตันในรูของเมมเบรน เนื่องจากองค์ประกอบแต่ละชนิดใน feed stream เกิดปฏิกิริยากับเมมเบรนแตกต่างกันไป การหาทฤษฎีหรือทฤษฎีมาอธิบายการเกิด fouling จึงทำได้ยาก แต่ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิด fouling นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทำเมมเบรน คุณสมบัติของตัวถูกละลาย และสภาวะการทำงาน การเกิด fouling ส่งผลให้ flux และคุณสมบัติในการแยกสารของเมมเบรนลดลง การสะสมของตัวถูกละลายอาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมี การตกตะกอน การติดติดด้วยประจุตรงข้าม หรือเกิดจากปฏิกิริยาอื่น ๆ โดย foulant ได้แก่ เกลืออนินทรีย์ แมคโครโมเลกุล คอลลอยด์ และจุลินทรีย์

การควบคุมการเกิด fouling ทำได้โดย ทำ pretreatment แก่ feed stream ก่อนเข้าสู่กระบวนการแยกด้วยเมมเบรน และการเลือกใช้รูปแบบ (module) ที่เหมาะสมกับงาน ซึ่งควรเป็นแบบ cross-flow configuration

### Compaction

เป็นปรากฏการณ์ทางกายภาพ ที่เมมเบรนจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นระหว่างการทำงาน อันเป็นผลเนื่องมาจากความดันและอุณหภูมิ (Porter, 1979) ปรากฏการณ์นี้ส่งผลให้ flux ลดลง และมีผลเสียต่อความจำเพาะเจาะจง (selectivity) ของเมมเบรน

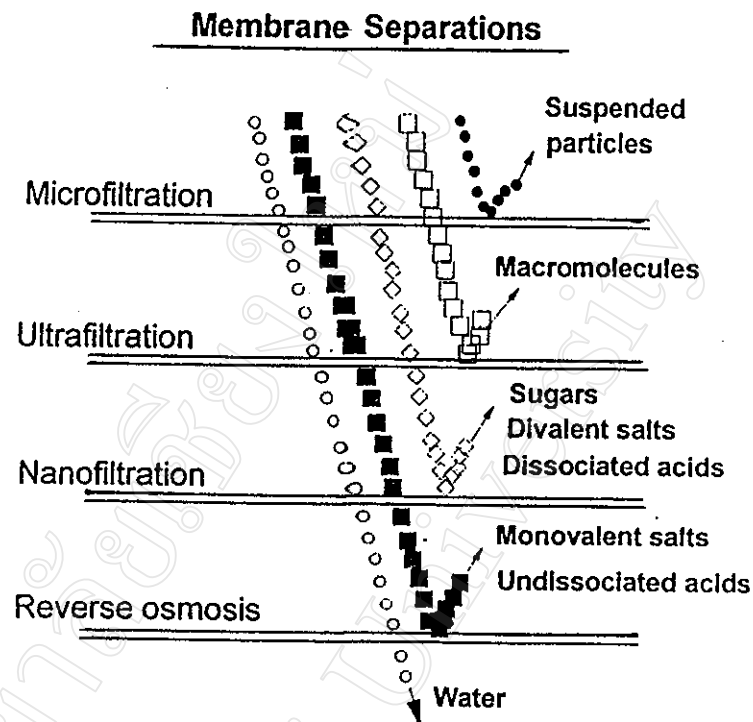
### Membrane Unit Operations

กระบวนการแยกสารด้วยเมมเบรนเกิดขึ้นโดยอาศัยแรงขับ (driving force) ซึ่งแรงขับที่ใช้ อาจเป็นความแตกต่างของความดัน ความเข้มข้น หรือสนามไฟฟ้า unit operation ของเมมเบรนที่เป็นที่รู้จักโดยทั่วไป แสดงดังตารางที่ 2.5 และภาพที่ 2.5 แสดงคุณลักษณะของกระบวนการแยกด้วยเมมเบรนแบบที่ใช้ความดันเป็นแรงขับ (pressure - driven membrane process)

ตารางที่ 2.5 คุณลักษณะเฉพาะของกระบวนการแยกด้วยเมมเบรน

กระบวนการ	แรงขับ	สารที่ถูกแยก	สารที่ผ่านได้
Osmosis	แรงขับทางเคมี	ตัวถูกละลาย, น้ำ	น้ำ
Dialysis	ความแตกต่างของ ความเข้มข้น	โมเลกุลขนาดใหญ่, น้ำ	โมเลกุลขนาดเล็ก, น้ำ
Microfiltration (MF)	ความดัน	สารแขวนลอย, น้ำ	ตัวถูกละลาย, น้ำ
Ultrafiltration (UF)	ความดัน	สารโมเลกุลใหญ่, น้ำ	สารโมเลกุลเล็ก, น้ำ
Nanofiltration (NF)	ความดัน	สารโมเลกุลเล็ก, เกลือที่มีประจุ สอง, กรดที่แตกตัวได้, น้ำ	ไอออนที่มีประจุหนึ่ง, กรดที่ไม่แตก ตัว, น้ำ
Reverse osmosis (RO)	ความดัน	ตัวถูกละลายทุกชนิด, น้ำ	น้ำ
Electrodialysis (ED)	ความต่างศักย์ หรือกระแสไฟฟ้า	ตัวถูกละลายที่ไม่แตกตัว, น้ำ	ตัวถูกละลายที่แตกตัวได้, น้ำ
Pervaporation (PV)	ความดัน	โมเลกุลที่ไม่ระเหย, น้ำ	โมเลกุลขนาดเล็กที่ระเหยได้, น้ำ

ที่มา : Munir (1998)



ภาพที่ 2.5 คุณลักษณะของกระบวนการแยกด้วยเมมเบรนแบบที่ใช้ความดัน  
ที่มา : Munir (1998)

#### การจำแนกชนิดของเมมเบรน

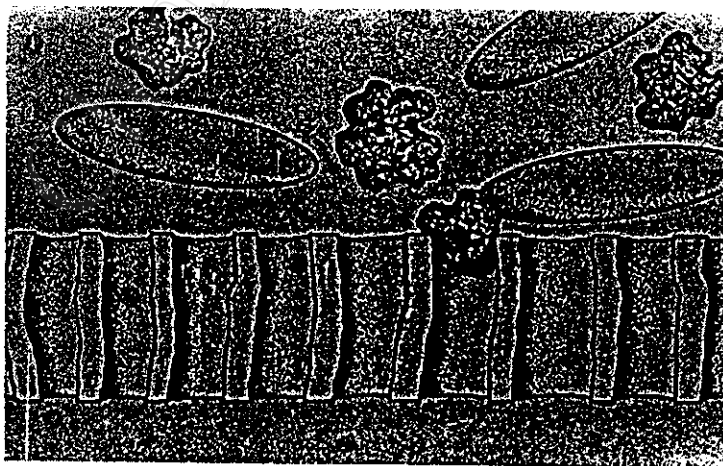
การจำแนกชนิดของเมมเบรน สามารถจำแนกได้หลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจะใช้เกณฑ์ใดในการจำแนก เช่น

- จำแนกตามธรรมชาติของเมมเบรน สามารถจำแนกได้เป็น เมมเบรนที่ได้จากธรรมชาติ และเมมเบรนที่สังเคราะห์ขึ้น
- จำแนกตามโครงสร้างของเมมเบรน จำแนกได้เป็น เมมเบรนชนิดที่มีรูพรุน (porous membrane) และเมมเบรนที่ไม่มีรูพรุน (nonporous membrane)
- จำแนกตามการใช้งาน เช่น แยกก๊าซ ก๊าซ-ของเหลว ของเหลว-ของเหลว เป็นต้น
- จำแนกตามกลไกการทำงานของเมมเบรน เช่น adsorptive versus diffusive, ion-exchange, osmotic หรือ nonselective (inert) membrane

### ชนิดของเมมเบรนเมื่อจำแนกตามโครงสร้าง

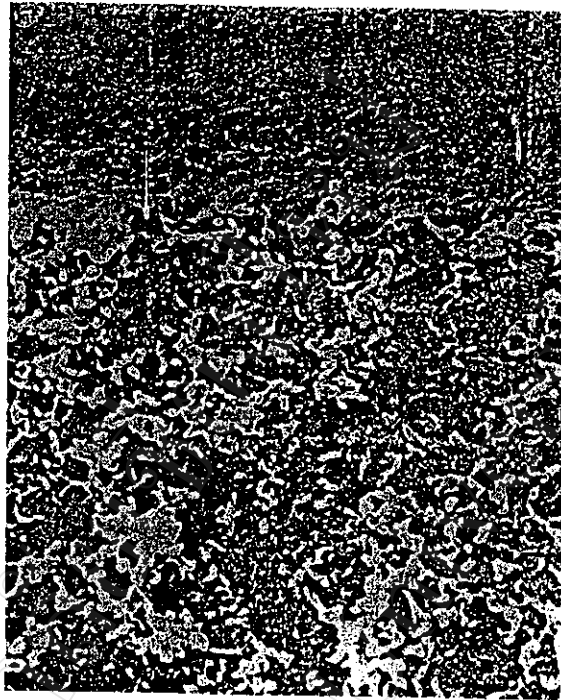
เมมเบรนสามารถจัดจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ตามโครงสร้าง (ultrastructure) ได้แก่ microporus membrane และ asymmetric membrane

Microporus membrane เมมเบรนชนิดนี้อาจจัดอยู่ในพวก isotropic membrane เป็นเมมเบรนที่มีขนาดของรู (pore size) เท่ากัน กระจายอยู่ทั่วเมมเบรน ดังภาพที่ 2.6 และภาพที่ 2.7 แสดงโครงสร้างแบบ multilayered screen ของ microporus membrane เนื่องจากโครงสร้างของมันทำให้เกิดเป็นรูพรุนขึ้น ดังนั้นอนุภาคของตัวถูกละลายจึงสามารถติดอยู่บนหรือในผิวหน้าที่มีลักษณะคล้ายตาข่ายของเมมเบรนได้ (surface mesh-like layer) เมมเบรนชนิดนี้สามารถกรองหรือเก็บกักอนุภาคทุกชนิดที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของมัน เช่น เมมเบรนที่มี pore size ขนาด  $0.45\mu$  จะสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า  $0.45\mu$  ได้ แต่เนื่องจากเมมเบรนชนิดนี้มีการกระจายตัวของรูพรุนบนผิวหน้าเมมเบรน อนุภาคที่มีขนาดเล็กก็ยังสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในโครงสร้างได้ ทำให้เกิดการอุดตัน และพบว่าเมมเบรนที่มี pore size ขนาดใหญ่ จะให้อัตราการไหลที่สูงในช่วงแรก แต่จะเกิดการอุดตันได้อย่างรวดเร็ว ดังเช่นที่พบในกระบวนการ MF ซึ่ง flux จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อทำงานไปได้เพียงไม่กี่นาที



ภาพที่ 2.6 แผนภาพจำลองการกรองด้วย microporous membrane

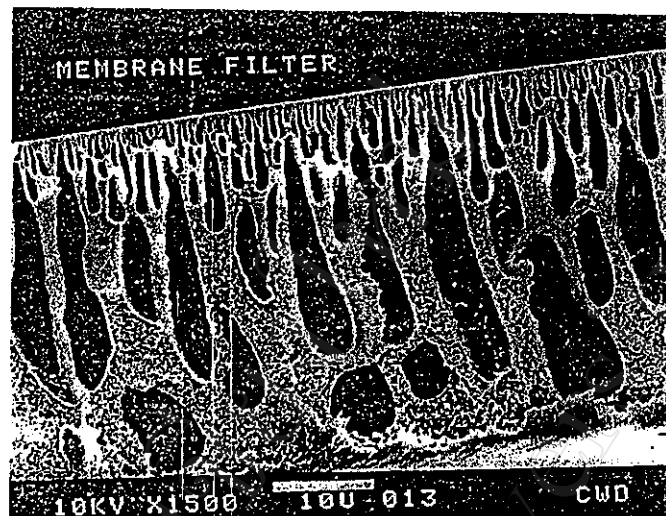
ที่มา : Munir (1998)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างแบบ multilayered screen ของ microporous membrane  
ที่มา : Munir (1998)

Asymmetric membrane เมมเบรนชนิดนี้จะมี pore size ไม่เท่ากัน โดยบริเวณผิวหน้าจะมีขนาดของรูพรุนเล็กมาก ส่วนด้านล่างรูพรุนจะมีขนาดใหญ่ คล้ายช่องว่าง (void) ภาพที่ 2.8 แสดง asymmetric membrane การ reject สารเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวหน้าของเมมเบรนเท่านั้น ด้วยโครงสร้างที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวของเมมเบรนชนิดนี้ อนุภาคที่ถูกกักหรือ macromolecule ที่มีขนาดใหญ่กว่า molecular weight cut-off (MWCO) จะไม่สามารถแทรกเข้าไปในตัวเมมเบรนได้ จึงไม่ค่อยเกิดการอุดตัน ซึ่งต่างกับเมมเบรนพวก microporous อย่างไรก็ตามเมมเบรนชนิดนี้ก็เกิดการลดลงของ flux ได้ง่ายเช่นกัน โดยการเกิด fouling และ concentration polarization เมมเบรนที่มีโครงสร้างแบบ asymmetric ได้แก่ เมมเบรนของ UF, NF และ RO ส่วนเมมเบรนของ MF มักจะมีโครงสร้างแบบ microporous





ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของ asymmetric membrane ที่ผลิตจากโพลีซัลโฟน  
ที่มา : Munir (1998)

ข้อแตกต่างที่สำคัญอีกอย่างระหว่าง microporus membrane และ asymmetric membrane คือ การให้ค่าจำกัดความและคุณสมบัติของการเก็บกักสาร โดย microporus membrane จะมีเกณฑ์กำหนดตายตัวสำหรับ maximum equivalent pore diameter ซึ่งสามารถกักอนุภาคทุกชนิดที่มีขนาดใหญ่กว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นใน feed solution ด้วย ส่วน asymmetric membrane จะแยกสารที่มีขนาดโมเลกุลต่างกัน ขึ้นอยู่กับ Molecular weight cut-off (MWCO) ของเมมเบรนที่ใช้ และอยู่ภายใต้สภาวะที่ควบคุม

Molecular weight cut-off เป็นเทอมที่ใช้ในการบอกความสามารถในการแยกสารของ UF membrane โดยหมายถึง ความสามารถในการแยกสารหรือตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลตามที่กำหนดออกจาก feed stream ได้ร้อยละ 90 ถึง 95 หรือมี %Rejection เท่ากับ 90 หรือ 95 เช่น เมมเบรนที่มี MWCO เท่ากับ 50,000 แสดงว่า สามารถแยกอนุภาคที่มีน้ำหนักโมเลกุล 50,000 ดาลตัน ได้ร้อยละ 90 ถึงร้อยละ 95

#### โพลีเมอร์ที่ใช้ในการผลิตเมมเบรน

สารที่ใช้ในการสังเคราะห์เมมเบรนนั้นมีมากกว่า 130 ชนิด แต่มีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่มีการผลิตในทางการค้า และมีเพียงส่วนน้อยที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานทางอุตสาหกรรมอาหารและยาหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง สารที่นิยมใช้ในการผลิตเมมเบรน แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สารที่ใช้ในการผลิตเมมเบรน

Material	MF	UF	RO
Alumina	X		
Carbon-carbon composites	X		
Cellulose ester (mixed)	X		
Cellulose nitrate	X		
Polyamide, aliphatic (e.g., nylon)	X		
Polycarbonate (track-etch)	X		
Polyester (track-etch)	X		
Polypropylene	X		
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	X		
Polyvinyl chloride (PVC)	X		
Polyvinylidene fluoride (PVDF)	X		
Sintered stainless steel	X		
Cellulose (regenerated)	X	X	
Ceramic composites (zirconia of alumina)	X	X	
Polyacrylonitrile (PAN)	X	X	
Polyvinyl alcohol (PVA)	X	X	
Polysulfone (PS)	X	X	
Polyethersulfone (PES)	X	X	
Cellulose acetate (CA)	X	X	X
Cellulose triacetate (CTA)	X	X	X
Polyamide, aromatic (PA)	X	X	X
Polyimide (PI)		X	X
CA/CTA blends			X
Composites (e.g., polyacrylic acid on zirconia or stainless steel)			X
Composites, polymeric thin film (e.g., PA or polyetherurea on polysulfone)			X
Polybenzimidazole (PBI)			X
Polyetherimide (PEI)			X

ที่มา : Munir (1998)

## เมมเบรนจากโพลีเมอร์

เป็นเมมเบรนที่ผลิตจากโพลีเมอร์ โพลีเมอร์บางชนิดที่นิยมใช้ในการผลิตเมมเบรน ได้แก่

### เซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose acetate; CA)

เซลลูโลสอะซิเตตเป็นโพลีเมอร์ที่นิยมใช้ในการผลิตเมมเบรนมานาน เตรียมได้จากปฏิกิริยา acetylation ของเซลลูโลส โดยให้ทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ กรดอะซิติกหรือกรดซัลฟูริก หากโมเลกุลของเซลลูโลสถูกแทนที่ทั้ง 3 ตำแหน่ง จะได้ cellulose triacetate (CTA) อย่างไรก็ตามเซลลูโลสที่โมเลกุลถูกแทนที่ด้วย acetyl group มากกว่า 42.3% ก็จัดเป็น cellulose triacetate เพราะการแทนที่อย่างสมบูรณ์นั้นเกิดขึ้นน้อยมาก คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญอีกประการที่มีผลต่อคุณสมบัติของเมมเบรน คือดีกรีของการเกิดโพลีเมอร์ไรซ์ของเซลลูโลส (degree of polymerization) ควรอยู่ในช่วง 100-200 หรือ 100-300 หรือมีมวลโมเลกุลประมาณ 25,000 - 80,000 เซลลูโลสอะซิเตตและอนุพันธ์ของเซลลูโลสอะซิเตตมีข้อดีข้อเสียดังนี้

#### ข้อดี

- Hydrophilicity คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากเพราะสามารถลดการเกิด fouling ของเมมเบรน
- สามารถผลิตให้มี pore size ขนาดต่าง ๆ ได้ ตั้งแต่ RO ถึง MF
- ผลิตได้ง่าย
- ต้นทุนการผลิตต่ำ

#### ข้อเสีย

- ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิแคบ อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถทำงานได้คือ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลเสียต่อ flux เพราะที่อุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดการแพร่มากขึ้น และทำให้ feed มีความหนืดลดลง ส่งผลให้ flux สูงขึ้น นอกจากนั้นที่อุณหภูมิดังกล่าวยังส่งเสริมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์
- ทนความเป็นกรด-ด่างได้ในช่วงแคบ คือตั้งแต่ 2-8 แต่จะทำงานได้ดีที่ความเป็นกรด-ด่างในช่วง 3-6 (ภาพที่ 2.9) การที่เซลลูโลสอะซิเตตไม่ทนทานต่อความเป็นกรด-ด่างทำให้มี

ปัญหาในการล้างเมมเบรน เพราะ cleaning solution ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่มักเป็นต่าง

- ไม่ทนทานต่อคลอรีน คลอรีนสามารถออกซิไดซ์เซลลูโลสอะซิเตตทำให้ pore size ขยายใหญ่ขึ้น และมีผลทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ด้วยคุณสมบัติที่ไม่ทนต่อคลอรีน จึงเป็นอุปสรรคสำคัญในการนำเมมเบรนชนิดนี้ไปใช้งาน ทั้งนี้เพราะคลอรีนเป็นสารที่นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อในอุตสาหกรรม
- เกิด compaction ได้ง่ายกว่าเมมเบรนชนิดอื่น ทำให้เมมเบรนสูญเสียคุณสมบัติ โดยเฉพาะ flux
- ถูกย่อยสลายโดยทางชีวภาพได้ง่าย เนื่องจากโครงสร้างของมันประกอบด้วยเซลลูโลส จึงถูกทำลายได้ง่ายด้วยจุลินทรีย์ ทั้งยังไม่สามารถฆ่าเชื้อโดยใช้คลอรีนได้ ทำให้อายุการใช้งานสั้น

#### โพลีเอไมด์ (Polyamide; PA)

คุณสมบัติของสารในกลุ่มโพลีเอไมด์ถูกกำหนดโดยพันธะเอไมด์ (-CONH-) ที่ปรากฏในโครงสร้าง คุณสมบัติของโพลีเอไมด์มีดังนี้

- สามารถใช้งานได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่กว้างกว่าเซลลูโลสอะซิเตต (ภาพที่ 2.9)
- ไม่ทนทานต่อคลอรีน (ภาพที่ 2.10)
- มีแนวโน้มที่จะเกิด biofouling สูง (ภาพที่ 2.11)
- สามารถใช้ได้กับ composite membrane

#### โพลีซัลโฟน (Polysulfone; PS)

เมมเบรนในกลุ่มโพลีซัลโฟนใช้แพร่หลายใน MF และ UF โดยเฉพาะโพลีอีเทอร์ซัลโฟน (polyethersulfone; PES) คุณสมบัติที่สำคัญของเมมเบรนในกลุ่มนี้ได้แก่

- ทนอุณหภูมิได้ในช่วงกว้าง (ภาพที่ 2.12) สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 75 องศาเซลเซียส บางชนิดอาจทนความร้อนได้ถึง 125 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะกับงานทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพและการหมัก
- ทนความเป็นกรด-ด่างได้ในช่วงกว้าง ทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่ความเป็นกรด-ด่างตั้งแต่ 1-13 ซึ่งเป็นผลดีต่อการทำความสะอาดเมมเบรน

- ทนต่อคลอรีนได้ค่อนข้างดี (ภาพที่ 2.10) แต่ การสัมผัสกับคลอรีนความเข้มข้นสูงเป็นเวลานานอาจทำให้เมมเบรนเสียหายได้
- ใช้ได้กับ membrane modules หลายชนิด
- มี pore size หลายขนาด ใช้ได้ทั้ง UF และ MF คืออยู่ในช่วง 10Å (1000 MWCO) ถึง 0.2μ
- ทนต่อสารเคมีพวก aliphatic hydrocarbons, fully halogenated hydrocarbons, alcohols และ acids แต่ไม่ทนต่อ aromatic hydrocarbons, ketones, ethers และ esters
- ไม่ทนต่อความดัน ทำงานได้ที่ความดันต่ำ (100 psig/7 bar สำหรับเมมเบรนแบบแผ่น และ 25 psig/1.7 bar สำหรับพวก hollow fiber)
- Hydrophobicity ทำให้เกิด fouling ได้ง่าย

#### ไนลอน (Nylon)

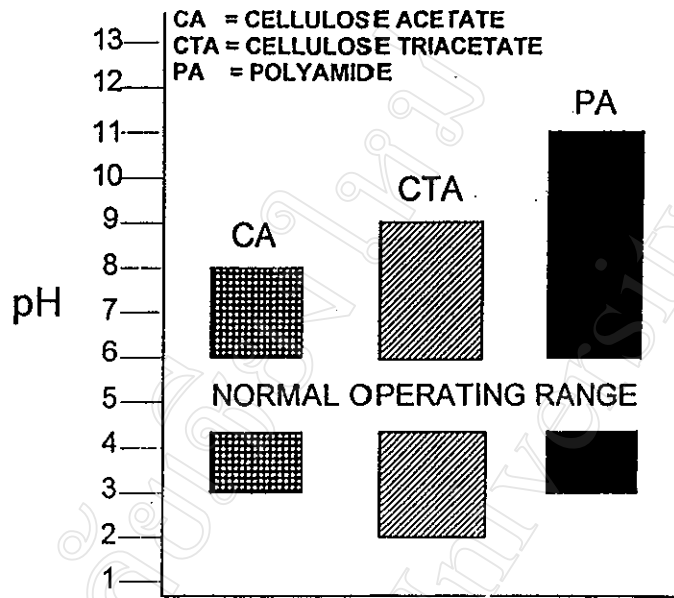
คุณสมบัติของไนลอน มีดังนี้

- Hydrophilicity
- สามารถนั่งฆ่าเชื้อได้
- สามารถจับกับชีวโมเลกุล เช่น กรดนิวคลีอิก และโปรตีน

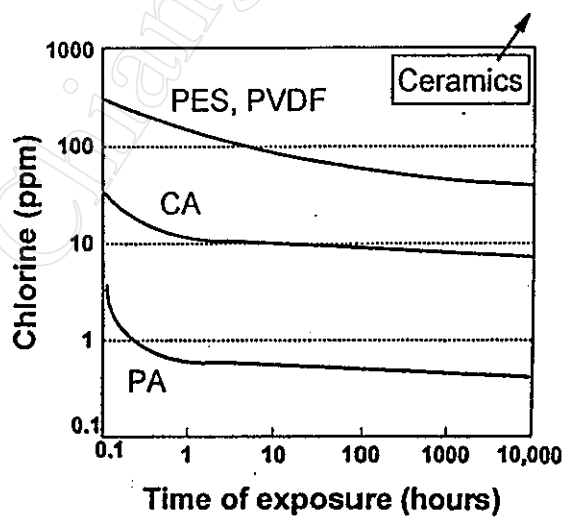
#### โพลีไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ (Polyvinylidene fluoride; PVDF)

คุณสมบัติของโพลีไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ มีดังนี้

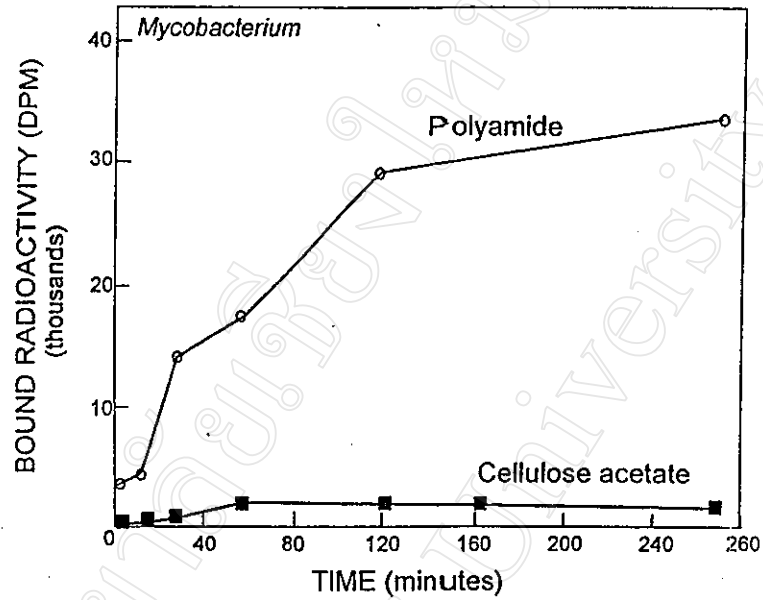
- สามารถนั่งฆ่าเชื้อได้
- ทนต่อตัวทำละลายได้ค่อนข้างดี
- Hydrophobicity แต่บางชนิดมีการดัดแปลงโครงสร้างโมเลกุลให้มี hydrophilicity เพิ่มขึ้น เพื่อให้คุณสมบัติดีขึ้น
- นิยมใช้ในการผลิตเมมเบรนสำหรับ MF และ UF
- ทนต่อคลอรีนได้ดีกว่าเมมเบรนในกลุ่มโพลีซัลโฟน
- นิยมใช้ในการทำน้ำผลไม้ให้ใส เพราะทนต่อ limonene



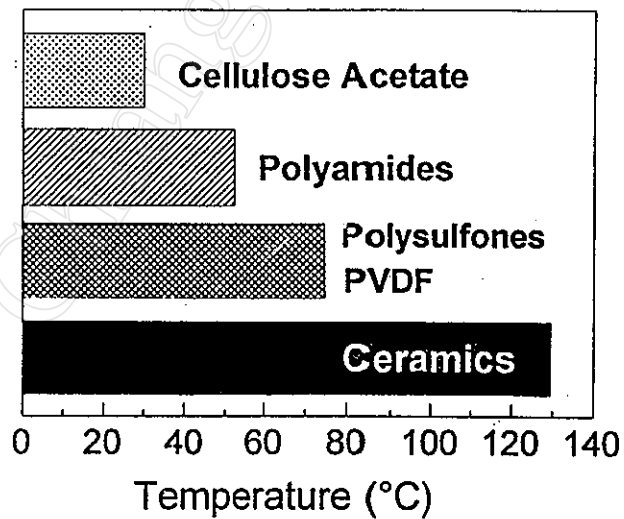
ภาพที่ 2.9 ความสามารถในการทนต่อความเป็นกรด-ด่างของเซลลูโลสอะซิเตตและโพลีเอไมด์  
เมมเบรน  
ที่มา : Munir (1998)



ภาพที่ 2.10 คุณสมบัติในการทนทานต่อคลอรีนของเมมเบรนชนิดต่าง ๆ  
ที่มา : Munir Cheryan (1998)



ภาพที่ 2.11 การเกิด biofouling ของโพลีเอไมด์และเซลลูโลสอะซิเตตเมมเบรน  
ที่มา : ดัดแปลงจาก Ridgway (1998)



ภาพที่ 2.12 ความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิของเมมเบรนชนิดต่าง ๆ  
ที่มา : Munir (1998)

### โพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene; PTFE)

คุณสมบัติของโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน มีดังนี้

- ทนต่อสภาวะกรดแก่ ด่างแก่และทนต่อตัวทำละลาย
- ทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง ตั้งแต่ -100 องศาเซลเซียส ถึง 260 องศาเซลเซียส
- Hydrophobicity สูง จึงใช้กับสารละลายอินทรีย์ ไขมันและก๊าซ
- โพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีนมี pore size เฉพาะในช่วงของ MF

### โพลีโพรพิลีน (Polypropylene; PP)

คุณสมบัติของโพลีโพรพิลีน มีดังนี้

- นิยมใช้ในรูป Hollow fiber
- Hydrophobicity
- ค่อนข้างเฉื่อย
- ทนอุณหภูมิสูงได้ปานกลาง

### Inorganic membrane

อาจเรียกว่า ceramic membrane หรือ mineral membrane เมมเบรนชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานในด้านอุตสาหกรรมอาหาร เพราะทนทานต่อกระบวนการแปรรูป การทำความสะอาดและการฆ่าเชื้อ โครงสร้างของ inorganic membrane จะประกอบด้วยแผ่นฟิล์มบาง ๆ ของสารอนินทรีย์เคลือบบนโลหะหรือเซรามิกเพื่อเกิดเป็นชั้นของเมมเบรน วัสดุที่ใช้ใน inorganic membrane ได้แก่ แก้ว โลหะ เซรามิก และโพลีเมอร์ของสารอนินทรีย์ ในปัจจุบัน inorganic membrane ใช้เฉพาะในงานของ MF และ UF เท่านั้น

### Composite Membrane

Composite membrane มีชื่อทางการค้าที่รู้จักแพร่หลาย คือ thin - film composite (TFC) เมมเบรนชนิดนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี 1970s เพื่อใช้ในงานของ RO และ NF โครงสร้างของเมมเบรนประกอบด้วยฟิล์มของโพลีเมอร์เคลือบอยู่บนวัสดุเสริมแรงที่มีรูพรุน (microporous support materials)

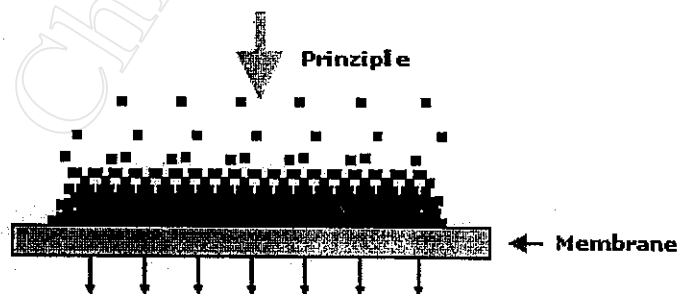


### Microfiltration (MF)

จัดเป็นหนึ่งใน unit operation ของเมมเบรน ซึ่งการแยกสารเกิดขึ้นโดยอาศัยความดันเป็น driving force ความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 10-25 psig อนุภาคหรือตัวถูกละลายที่ถูกแยกด้วย MF ต้องมีขนาดโมเลกุลตั้งแต่ 100 ถึง 10,000 nm (Hwang and Kammermeyer, 1984 ; David, 1995) การกรองด้วย MF มี 2 รูปแบบ ได้แก่ dead-end filtration และ cross-flow filtration

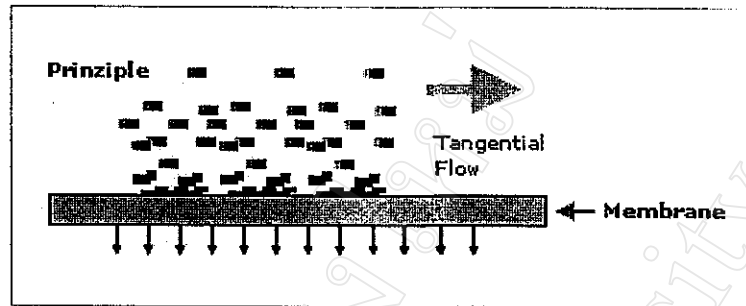
Dead-end filtration เป็นการกรองที่ของไหลและอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า pore size ของเมมเบรนสามารถทะลุผ่านเมมเบรนได้ ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะติดอยู่ที่ผิวหน้าของเมมเบรน ทำให้เกิดการสะสมของอนุภาค และเกิดเป็น filter cake ชั้นที่ผิวหน้าของเมมเบรน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกรองของเมมเบรนลดลง การกรองแบบนี้จะมี feed stream และ outlet stream (permeate) อย่างละหนึ่งสายเท่านั้น ภาพของ dead-end filtration แสดงดังภาพที่ 2.13

Cross-flow filtration เป็นการกรองที่ feed stream ไหลขนานกับเมมเบรน หรือ tangential flow การไหลแบบนี้จะทำให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า pore size ของเมมเบรนสามารถผ่านเมมเบรนได้ เกิดเป็น permeate ส่วนอนุภาคที่เหลือจะไหลผ่านเมมเบรนออกไปเป็น retentate ฉะนั้นในระบบ cross-flow จะมี outlet stream 2 สาย คือ permeate และ retentate ภาพของ cross-flow filtration แสดงดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.13 แผนภาพการกรองแบบ Dead-end filtration

ที่มา : Industrial Membrane Specialities (No date)



ภาพที่ 2.14 แผนภาพการกรองแบบ Cross-flow filtration

ที่มา : Industrial Membrane Specialities (No date)

การควบคุมการเกิด concentration polarization ใน MF

การควบคุมการเกิด concentration polarization ใน MF ทำได้หลายวิธี คือ

1. ใช้อัตราการไหล (flow rate) ต่ำ เพราะการใช้ flow rate ต่ำจะทำให้ตัวถูกละลายสามารถผ่านเมมเบรนได้โดยไม่เกิดการอุดตันในเมมเบรน ในขณะที่การใช้ flow rate สูงจะทำให้อนุภาคขนาดเล็กติดค้างในรูเมมเบรนได้ และเป็นไปได้ว่าการใช้ flow rate สูง จะทำให้อนุภาครวมตัวกันแน่นกว่าการใช้ flow rate ต่ำ

2. Back washing หากการสะสมของอนุภาคเกิดบริเวณผิวหน้าเมมเบรน การทำ back wash เป็นระยะ ๆ จะสามารถขจัดอนุภาคที่อยู่บริเวณผิวหน้าเมมเบรนออกได้ ทั้งนี้การทำ back wash สามารถทำได้กับเมมเบรนชนิดเซรามิกและ hollow fiber เท่านั้น และจะได้ผลดีในเมมเบรนที่มีโครงสร้างแบบ anisotropic มากกว่าแบบ isotropic เพราะอนุภาคติดอยู่โครงสร้างของเมมเบรน จึงถูกกำจัดออกได้ยาก สิ่งสำคัญในการทำ back wash คือ การกำจัดอนุภาคที่หลุดออกมาให้ออกจากระบบการกรอง หากไม่ได้กำจัดอนุภาคเหล่านั้นออกจากระบบ อนุภาคจะสามารถรวมตัวกับอนุภาคในสารละลายเริ่มต้น เป็นผลให้ flux ลดลงอย่างรวดเร็ว

3. ใช้การกรองแบบ cross-flow การกรองแบบนี้ retentate จะถูก recirculate กลับมายัง feed tank จึงไม่ค่อยเกิดการสะสมของอนุภาคบริเวณผิวหน้าเมมเบรน การกรองแบบนี้ยังช่วยยืดอายุการใช้งานของเมมเบรนให้ยาวขึ้น และเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการทำงาน

4. ใช้ ultrasonic energy โดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงทำให้อนุภาคที่สะสมบริเวณผิวหน้าเมมเบรนกระจายกลับไปสู่ bulk solution

#### การใช้เมมเบรนในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้

การใช้เทคโนโลยีเมมเบรนในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ เริ่มมีการใช้ตั้งแต่ช่วงปลายทศวรรษ 1970 เพื่อใช้ในการทำน้ำผลไม้ให้ใสโดยใช้กระบวนการ UF การผลิตด้วยวิธีนี้สามารถผลิตแบบต่อเนื่องได้ และนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำผลไม้พร้อมดื่ม (single - strength) และน้ำผลไม้เข้มข้น การผลิตน้ำผลไม้ด้วยเมมเบรนยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย น้ำผลไม้ที่นิยมผ่าน UF ได้แก่ น้ำแอปเปิ้ล น้ำผลไม้ชนิดอื่นที่สามารถใช้กระบวนการนี้ในการผลิต เช่น องุ่น ลูกแพร์ สับปะรด แครนเบอร์รี่ และผลไม้ตระกูลส้ม กระบวนการแยกด้วยเมมเบรนยังใช้ในการทำให้น้ำส้มสายชูและน้ำที่เหลือจากการดองผักใส สำหรับการใช้น้ำ MF ในการทำน้ำผลไม้ให้ใสนั้นมีการพัฒนาหลังจาก UF

#### การใช้เทคโนโลยีเมมเบรนในกระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้

เทคโนโลยีเมมเบรนที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้ สามารถใช้ในงาน 3 ด้านที่เป็นงานหลัก ได้แก่

1. ใช้ในการทำให้น้ำผลไม้ใส เช่น การผลิตเครื่องดื่มแบบใส (sparkling clear beverage) โดยใช้ MF หรือ UF
2. ใช้ในการทำให้เข้มข้น เช่น การทำน้ำผลไม้เข้มข้น โดยใช้ RO
3. ใช้ลดความเป็นกรด เช่น การลดความเป็นกรดในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม โดยใช้ Electrodialysis หรือ Nanofiltration

ในกรณีนี้จะกล่าวเฉพาะการทำน้ำผลไม้ให้ใสเท่านั้น ในการผลิตน้ำผลไม้แบบใสด้วยวิธีดั้งเดิมนั้นประกอบด้วยหลายขั้นตอน ซึ่งเป็นการใช้แรงงานและเวลามาก เริ่มตั้งแต่การแยกประเภท การล้าง และการปอกเปลือก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ จากนั้นจึงทำการบด บีบคั้นน้ำ และแยกอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ออก ทำการพาสเจอร์ไรซ์น้ำผลไม้ แล้วเติมเอนไซม์เพคตินเนสเพื่อย่อยสลายเพคตินและลดความขุ่น การใช้เอนไซม์ยังช่วยให้กรองได้ง่ายขึ้น เนื่องจากความหนืดของน้ำผลไม้ลดลง การใช้เอนไซม์เป็นขั้นตอนเบื้องต้นในการทำให้ใส ขั้นตอนต่อไปคือการตกตะกอนด้วยสารช่วยตกตะกอน เช่น เจลาติน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20-30 ชั่วโมง กรองด้วย diatomaceous earth เพื่อแยกสารแขวนลอย อนุภาคคอลลอยด์ โปรตีนและสารโพลีฟีนอล (condensed polyphenols) ออก ทำการพาสเจอร์ไรซ์น้ำผลไม้อีกครั้งแล้วจึงบรรจุ การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำแอปเปิ้ลด้วยวิธีแบบดั้งเดิมและวิธีใช้ UF แสดงดังภาพที่ 2.15

ขั้นตอนการทำน้ำผลไม้	วิธีดั้งเดิม	UF
การกำจัดสารแขวนลอย	การหมุนเวียน	ไม่มี
การกำจัดเพคตินหรือ	↓	↓
การไฮโดรไลซ์แป้ง	ใช้เอนไซม์	ไม่จำเป็น
การกำจัดคอลลอยด์	↓	↓
และสารที่ทำให้ขุ่น	การตกตะกอน	
การกำจัดสารช่วย	↓	
ตกตะกอน	กรองด้วย diatomaceous earth	
การกรองขั้นสุดท้าย	การกรอง	
น้ำผลไม้แบบใส	↓	เมมเบรน
ร้อยละปริมาณผลผลิต	80-94	95-99
เวลาที่ใช้ในการผลิต	12-36 ชั่วโมง	2-4 ชั่วโมง

ภาพที่ 2.15 การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำแอปเปิ้ลด้วยวิธีแบบดั้งเดิมกับวิธีใช้ UF

ที่มา : Munir (1998)

จุดมุ่งหมายสำคัญในการใช้เมมเบรนในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ คือ ใช้แทนขั้นตอนการ holding การกรอง และ decantation ซึ่งจากการวิจัย พบว่า MF และ UF สามารถใช้แทนกระบวนการที่กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม การใช้เมมเบรนไม่มีความเหมาะสมกับการผลิตน้ำผลไม้ทุกประเภท

การผลิตน้ำผลไม้ด้วยวิธีการกรองด้วยเมมเบรนมีข้อดีกว่าวิธีดั้งเดิม ดังนี้

- สามารถทำให้ใสและตกตะกอนได้ในขั้นตอนเดียว ในขณะที่วิธีแบบเดิมต้องใช้สารช่วยตกตะกอน (เบนโทไนท์ เจลาติน เป็นต้น) เอนไซม์ (เพคตินเนส อะมัยเลส) การหมุนเหวี่ยง และการกรองโดยใช้ diatomaceous earth ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 12-36 ชั่วโมง แต่การกรองด้วยเมมเบรนแบบ cross-flow ไม่ต้องผ่านขั้นตอนดังกล่าว จึงสามารถผลิตน้ำผลไม้ได้ในเวลาเพียง 2-4 ชั่วโมง
- สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิต คือได้ผลผลิตประมาณร้อยละ 96-98 การที่ได้ปริมาณน้ำผลไม้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้ diatomaceous earth และสารช่วยตกตะกอนในการกรอง สารเหล่านี้จะดูดซับน้ำผลไม้บางส่วนไว้ ทำให้ปริมาณผลผลิตลดลง
- กำจัดการใช้สารช่วยกรองและสารช่วยตกตะกอน โดยจะประหยัดเงินถึง 10-25 ดอลลาร์ ต่อ น้ำผลไม้ 1000 แกลลอน และกำจัดปัญหาในเรื่องการกำจัด diatomaceous earth และสารช่วยตกตะกอน
- ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้น เพราะสามารถกำจัดสารที่ทำให้เกิดความขุ่น ซึ่งได้แก่ สารแขวนลอย คอลลอยด์ โปรตีนและโพลีฟีนอล ทำให้น้ำผลไม้ที่ผลิตได้มีคุณภาพดีขึ้น และมีความขุ่นต่ำ (0.1-0.3 nephelometric turbidity units ; NTU) เมื่อเทียบกับการผลิตแบบเดิม (2-5 NTU) ในการผลิต sparkling clear juice นอกจากจะต้องกำจัดเพคตินและคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่แล้ว ยังต้องกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนของแทนนินกับโปรตีนด้วย หากเมมเบรนที่ใช้มี MWCO สูงกว่า 25,000 แล้ว จะไม่สามารถกำจัดแทนนินได้ น้ำผลไม้ที่ผลิตได้จะเป็นเพียง clarified juice

- ลดการใช้เอนไซม์ แม้ว่าการผลิตน้ำผลไม้โดยใช้เมมเบรนจะไม่ต้องอาศัยเอนไซม์ แต่การใช้เอนไซม์ในการทำ pretreatment จะสามารถลดความหนืดของน้ำผลไม้และลดการเกิด fouling ได้ ทำให้ flux สูง และลดพลังงานที่จะใช้กับปั๊ม
- สามารถทำการผลิตแบบต่อเนื่องได้

แม้ว่าการใช้ UF ในการทำน้ำผลไม้ให้ไม่มีการพัฒนาก่อน MF แต่ในบางกรณีการใช้ MF ก็เหมาะสมกับงานมากกว่า โดยเฉพาะ MF ที่ใช้เมมเบรนชนิดเซรามิก เพราะเซรามิกเมมเบรนมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเมมเบรนชนิดโพลีเมอร์หลายประการ (Grohmann and Feuerpeil, 1987 ; Feuerpeil, 1993) คือ

- สามารถทนความเป็นกรด-ด่าง ความร้อน ไขมัน และสารเคมีได้ดี
- สามารถทำ back-pulse หรือ back-flush ได้
- ให้ permeate flux สูง
- อายุการใช้งานยาว
- สามารถตัดปัญหาเรื่องการทำลายเมมเบรนชนิดที่เป็นโพลีเมอร์
- ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อแบบเย็นได้ (Cold sterilization)

แต่เมมเบรนชนิดนี้มีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเมมเบรนชนิดที่เป็นโพลีเมอร์

#### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chang et al. (1994) ศึกษาผลของการใช้เอนไซม์และการตกตะกอน (fining) ต่อคุณภาพของน้ำพลัม โดยใช้พลัม (*Prunus domestica* L.) 6 ชนิด คือ Au Red, Abundance, Plbeda, Shiro, Peach Plum และ Early Golden จะสกัดโดยใช้ Clarex L pectinase ร้อยละ 0.2 โดยแบ่งกระบวนการผลิตเป็น 2 วิธี คือ ใช้อุณหภูมิสูง ระยะเวลาสั้น (High temperature short time : HTST) แบบผ่านหรือไม่ผ่านการตกตะกอน (HTST – unfined juice และ HTST – fined juice) จากนั้นจะนำไปวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต ความใส ปริมาณเพคติน ของแข็งที่ละลายได้ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดที่สามารถไตเตรตได้ สี น้ำตาล แอนโทไซยานินทั้งหมด และฟีนอลิกทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่า การใช้เพคตินเอสจะช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตถึงร้อยละ 41-214 โดยพลัมพันธุ์ Au Red จะมีปริมาณสูงสุด การใช้เอนไซม์ในการสกัดจะทำให้มีปริมาณเพคติน

น้อยกว่า control โดยเฉลี่ยร้อยละ 54 นอกจากนั้นยังเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้และช่วยให้สีดีขึ้น สำหรับการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิม พบว่าพลัมพันธุ์ Abundance, Pibeda และ Peach Plum ให้กลิ่นรส และการยอมรับที่ดีที่สุด

Chang *et al.* (1995) รายงานถึงผลการศึกษาประสิทธิภาพของเอนไซม์เพคตินเนสต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิต (yield) ของน้ำพลัมพันธุ์ Stanley โดยใช้เอนไซม์ดังกล่าวที่ผลิตเป็นการค้า 5 ชนิด พบว่าเพคตินเนสที่มีดีกรีของการเอสเทอร์ไฟต์ต่างกัน สามารถเพิ่มปริมาณ ช่วยให้สีจากแอนโทไซยานินดีขึ้น และทำให้น้ำผลไม้มีความใสมากขึ้น เมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคตินเนสในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 0.60 (v/w) ประสิทธิภาพในการปรับปรุงลักษณะต่าง ๆ ที่กล่าวมาก็เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความเข้มข้นของเอนไซม์มากกว่าร้อยละ 0.20 น้ำพลัมที่ได้จะมีรสขม และในบรรดาเอนไซม์ทั้ง 5 ชนิด Clarex L ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.20 ให้ผลผลิตสูงและไม่ทำให้น้ำผลไม้เกิดตะกอน

McLellan *et al.* (1985) ได้ศึกษาการทำให้น้ำแอปเปิ้ลใสโดยใช้น้ำผึ้งและเอนไซม์ รวมถึงการใช้ส่วนผสมน้ำผึ้งและเอนไซม์ร่วมกัน พบว่าการใช้ทั้งน้ำผึ้งและเอนไซม์เพคตินเนสจะมีผลร่วมกันต่อเวลาเริ่มต้นของการรวมตัว (flocculation) โดยทำให้เกิดการรวมตัวเร็วกว่าการใช้เอนไซม์เพียงอย่างเดียวทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง การใช้น้ำผึ้งเพียงอย่างเดียวจะทำให้แอปเปิ้ลใสแต่มีความหนืดคล้ายกับไซเดอร์

อรุณี และ ปราณี (2536) ศึกษาการใช้เอนไซม์เพคตินเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส (Pectinex Ultra SP-L, Celluclast 1.5L และ Ban 240L ตามลำดับ จาก Novo Industri A/S) เพื่อช่วยในการสกัดน้ำกล้วยโดยใช้กล้วยที่มีความสุกระดับ 7-8 พบว่า การใช้เอนไซม์เซลลูเลส ร้อยละ 0.06 ร่วมกับเพคตินเนสร้อยละ 0.05 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายเนื้อกล้วยหอม โดยพิจารณาจากร้อยละของความหนืดของเนื้อกล้วยหอมที่ลดลง ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะดังกล่าวสามารถสกัดน้ำกล้วยได้ผลผลิตประมาณร้อยละ 73 โดยน้ำหนัก (น้ำหนักกล้วยหอมทั้งหมด) สำหรับเอนไซม์อะมัยเลส พบว่าไม่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของน้ำกล้วยหอม

วิภาดา และ ปราวณี (2537) ได้ศึกษาการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นโดยการใช้น้ำเอนไซม์ทางการค้า 3 ชนิด ได้แก่ เพคตินเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องและแบบตามลำดับ พบว่าเมื่อใช้น้ำเอนไซม์ร่วมกัน 3 ชนิดในเนื้อทุเรียนบดโดยไม่ผสมน้ำภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง โดยใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์แต่ละชนิดเป็นร้อยละ 0.5 (v/w) บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะให้ปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนร้อยละ 32.19 ส่วนเมื่อสกัดภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบตามลำดับ พบว่าเมื่อบ่มเนื้อทุเรียนบดด้วยเอนไซม์เพคตินเนสร้อยละ 0.5 (v/w) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นตามด้วยปฏิกิริยาของการย่อยสลายเซลลูเลสด้วยเอนไซม์เซลลูเลสร้อยละ 0.5 (v/w) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปฏิกิริยาของการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์อะมัยเลสร้อยละ 0.5 (v/w) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ จะได้ปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนถึงร้อยละ 44.49

Howard *et al.* (1996) ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนต่อองค์ประกอบทางเคมีและสีของน้ำแครอท (strained carrots) พบว่า holding temperature ก่อนเข้า retort และอุณหภูมิใน retort มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและสีของน้ำแครอท โดยค่า L, chroma และ hue รวมถึงระดับของน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสมีค่าลดลง เมื่อมีการเคลื่อนย้ายจาก batch tank ไปยัง holding tank โดยน้ำแครอทใน batch tank ที่ควบคุมอุณหภูมิ 93.3 องศาเซลเซียส มีฟีนอลิกที่ละลายได้ทั้งหมด กลูโคสและฟรุคโตส ต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 87.8 และ 82.2 องศาเซลเซียส การฆ่าเชื้อแครอทที่อุณหภูมิ 123.9 องศาเซลเซียส จะทำให้มีค่า L และค่า chroma ต่ำกว่า แต่มีปริมาณฟีนอลิกที่ละลายได้สูงกว่าเมื่อฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 118.3 และ 121.1 องศาเซลเซียส

Bao and Chang (1994) ได้ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปน้ำแครอทต่อสี ปริมาณแอลฟาและเบต้าแคโรทีน และโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (non-starchy polysaccharides : NSP) แครอทที่ไม่ผ่านการลวกจะให้ปริมาณน้ำมากที่สุดและมีปริมาณเนื้อ (pulp) น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบสีของน้ำแครอทสดกับน้ำแครอทบรรจุกระป๋องจากแครอทที่ลวกด้วยกรดอะซิติกพบว่า น้ำแครอทกระป๋องจะคงสีแดงอยู่มากกว่าแครอทที่ไม่ได้ผ่านการลวก สำหรับปริมาณแคโรทีนทั้งหมด พบว่า แครอทที่ไม่ได้ลวกจะมีปริมาณแคโรทีนเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มากที่สุด กระบวนการผลิตโดยใช้การฆ่าเชื้อด้วย retort การทำให้เข้มข้น และการทำแห้งแบบเยือกแข็ง จะส่งผลให้



ปริมาณแคโรทีนในผลิตภัณฑ์ลดลง โดยปริมาณเบต้าแคโรทีนสูญเสียมากกว่าแอลฟาแคโรทีน ส่วนปริมาณ NSP ในผลิตภัณฑ์จะเหลืออยู่ในช่วงร้อยละ 1.1 ถึง 1.5

Sime *et al.* (1993) ได้ศึกษาผลของความร้อน ความเป็นกรด และการใช้เอนไซม์ต่อ ความคงตัวของสีและความขุ่นของน้ำแครอท พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียส ก่อนบดและคั้นแครอทจะช่วยให้สีน้ำแครอทมีสีที่ขึ้นกว่าการให้ความร้อนหลังบดแครอท แต่จะให้ ปริมาณน้ำแครอทต่ำกว่า และการใช้กรดซิตริกร่วมกับการบดแครอททำให้มี pH 4-5 จะทำให้สี ดีขึ้น แครอทที่ได้รับความร้อนก่อนการบดโดยไม่ใช้กรดร่วมด้วยจะทำให้สีน้ำแครอทใสเร็วขึ้น ส่วน น้ำแครอทที่สกัดได้หากนำมาเพิ่มความเป็นกรด (ลด pH) จะไม่มีผลต่อ cloud stability ในทาง การค้าจะใช้ Pectinase/Hemicellulase ช่วยทำให้สีดีขึ้น แต่จะไม่เพิ่มปริมาณ นอกจากนี้ยังพบว่า ระหว่างการคั้นแครอทสามารถสกัดเบต้าแคโรทีนได้เพียงร้อยละ 20 ซึ่งจะมีปริมาณสูงกว่าแอลฟา แคโรทีน

สุจินดา และ เกรียงศักดิ์ (2530) ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการทำน้ำแครอท พบว่าเมื่อนำ แครอทสดมาบด กรอง ต้มให้ร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส แล้วบรรจุขวดหรือกระป๋อง น้ำแครอทที่ได้จะมีการแยกชั้น คือ ชั้นของน้ำเป็นสีส้มจาง และชั้นของตะกอนมีสีส้มสด จากการ ทดลองพบว่าวิธีที่เหมาะสมในการผลิตคือ นำแครอทสดมาต้มในสารละลายกรดน้ำส้ม 0.05 N ก่อนนำไปบด ซึ่งจะให้น้ำแครอทที่ได้มีสีส้มและมีการกระจายตัวของอนุภาคดี แต่ยังมีตะกอน บ้างเล็กน้อย การที่น้ำแครอทซึ่งเตรียมจากการต้มแครอทในสารละลายกรดน้ำส้มมีสีส้มสดและมี ตะกอนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากผลของความร้อนและกรดที่มีต่อ protoplasmic liquid ของเซลล์ก่อนที่เซลล์จะแตกหรือทันทีที่เซลล์แตก

Lashley and Wiley (1979) ได้ศึกษา betacyanine decolorizing enzyme ในเนื้อเยื่อบีท ซึ่งสันนิษฐานว่าเอนไซม์นี้อยู่ที่ผนังเซลล์ชั้นในของบีท พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของ เอนไซม์ คือที่ pH 3.4 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เอนไซม์นี้มีความสำคัญมากในช่วงการสกัดบีท และในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ใช้น้ำบีทเป็นส่วนผสม เพราะเอนไซม์จะทำให้เกิดการ เปลี่ยนสีโดยทำให้เบต้าไซยานินเกิดการสลายตัว เอนไซม์นี้พบในน้ำบีทที่สกัดโดยวิธี diffusion-type

Saguy (1979) ศึกษาองค์ประกอบที่ทนความร้อน (betanine และ vulgaxanthin I) ในน้ำบีท ภายใต้บรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 61.5, 75.5 และ 85.5 องศาเซลเซียส ในช่วง pH 4.8-6.2 พบว่าการสลายตัวขององค์ประกอบทั้งสองเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first-order reaction kinetics) โดยพลังงานกระตุ้น (energies of activation) ของ betanine มีค่า  $19.2 \pm 0.5$  kcal/mole ส่วน vulgaxanthin I มีค่า  $16.3 \pm 0.6$  kcal/mole และยิ่งขึ้นกับ pH โดยที่ pH 5.8 องค์ประกอบจะสามารถทนความร้อนได้มากที่สุด vulgaxanthin I จะมีความไวต่อบรรยากาศมากกว่า betanine

Singer and von Elbe (1980) ได้แยกองค์ประกอบสีเหลือง vulgaxanthin I ออกจากหัวบีทสีเหลือง (*Beta vulgaris* variety lutea) และทำให้บริสุทธิ์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะใช้เป็นสารแต่งสีในอาหาร vulgaxanthin I มีความคงตัวที่ pH 5.0 มากกว่าที่ pH 3.0 และ 7.0 สารดังกล่าวในรูปบริสุทธิ์จะมีความคงตัวน้อยกว่าในรูปที่เป็นน้ำบีท ครึ่งชีวิตของ vulgaxanthin I มีค่าเท่ากับ 27, 100 และ 282 นาที ที่อุณหภูมิ 65, 55 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พลังงานกระตุ้นมีค่าเท่ากับ  $25.2 \pm 3.9$  kcal/mole แสดงว่า vulgaxanthin I จะไม่เสถียรต่อความร้อนในภาวะที่ปราศจากออกซิเจน

Porretta et al. (1995) ศึกษาถึงผลของการใช้ความดันสูง (ultra - high hydrostatic pressure: UHP) ต่อคุณสมบัติด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์และทางประสาทสัมผัสของน้ำมะเขือเทศพร้อมดื่ม พบว่าการใช้ UHP จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวด้านจุลินทรีย์ ช่วยปรับปรุงความหนืดและสีของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการผลิตแบบเดิมที่มีการใช้ความร้อน แต่วิธีนี้จะสามารถยับยั้งเอนไซม์ได้น้อยกว่าวิธีที่ใช้ความร้อน (hot - break treatment) นอกจากนี้ในกระบวนการ UHP ยังทำให้เกิดการออกซิเดชันของกรดไขมันอิสระเป็นผลให้ความเข้มข้นของ *n*-hexanal และ *cis*-3-hexenal เพิ่มขึ้น

Bizri and Wahem (1995) ศึกษาผลของกรดซิตริกและสารต้านจุลินทรีย์ในรูปแบบไดเมทิลไดคาร์บอเนต และสารผสมระหว่างโปแตสเซียมซอร์เบตและโซเดียมเบนโซเอตต่อความต้านทานเชื้อจุลินทรีย์และคุณภาพของน้ำมะเขือเทศเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส พบว่า ไดเมทิลไดคาร์บอเนตและซอร์เบต/เบนโซเอตสามารถยับยั้งเชื้อราและยีสต์ในน้ำมะเขือเทศ (acidified และ nonacidified) ได้เป็นอย่างดี ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส ส่วนการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย น้ำมะเขือเทศที่ใช้ไดเมทิลไดคาร์บอเนตและมีการ acidified ให้มีค่า

ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.7 ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียสสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด รองลงมาคือน้ำมะเขือเทศในรูป acidified ที่ใช้ซอร์เบต/เบนโซเอต ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5 และ 20 องศาเซลเซียส และพบว่าน้ำมะเขือเทศที่ใช้ไดเมทิลไดคาร์บอเนตจะมีปริมาณกรดแอสคอร์บิก กรดอะมิโนทั้งหมด ฟรุคโตส กลูโคส ไลโคปีน และเบต้า-แคโรทีนต่ำกว่าน้ำมะเขือเทศที่ใช้ซอร์เบต/เบนโซเอต

Padilla and McLellan (1993) พบว่าในการกรองน้ำแอมป์ด้วย MF (0.2  $\mu$  ceramic membrane) flux ของน้ำแอมป์ที่ผ่านการย่อยเพคตินจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความเร็วของ feed และใช้อุณหภูมิสูง ส่วนน้ำแอมป์ที่ไม่ได้กำจัดเพคตินจะทำให้ flux ลดลงร้อยละ 40-50 และการทำ periodic back-flushing ในระหว่างการทำงานของเครื่อง ไม่ทำให้ flux ของน้ำผลไม้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Su *et al.* (1993) ศึกษาการใช้ cross-flow microfiltration ในการทำให้น้ำแอมป์ใสโดยเปรียบเทียบน้ำแอมป์ทางการค้าและน้ำแอมป์เทียมที่มีการเติมเพคติน ใช้ความดันขาเข้า 35 kPa ถึง 209 kPa และทำ gas backwash (โดยใช้อากาศหรือก๊าซไนโตรเจน) เป็นช่วง ๆ จากด้านนอกของ hollow fiber แล้ววัด flux และความขุ่นในรูป NTU พบว่า น้ำแอมป์ที่ผลิตทางการค้าหลังจากผ่านการกรองแบบสุญญากาศและผ่าน MF แล้ว มี flux 100-110 L/m<sup>2</sup>/hr ตลอดระยะเวลา 2 ชั่วโมง น้ำแอมป์เทียมที่มีเพคตินร้อยละ 1 มี flux ประมาณ 70 L/m<sup>2</sup>/hr ตลอดระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง น้ำแอมป์ที่ได้จากทุกการทดลองมีความขุ่นน้อยกว่า 0.69 NTU

Fukumoto *et al.* (1998) ศึกษาการกรองน้ำแอมป์ด้วย MF (0.2  $\mu$ ) และ UF (0.02  $\mu$ ) โดยใช้เซรามิกเมมเบรน พบว่า ภายใต้สภาวะการทำงานที่เหมาะสม (8 m/s, 414 kPa, 50 องศาเซลเซียส) flux ของ UF มีค่าคงที่มากกว่า และเกิด fouling น้อยกว่าการกรองแบบ MF ทั้งในน้ำแอมป์ที่ผ่านการย่อยเพคตินและน้ำแอมป์ที่ผ่านการย่อยเพคตินและมีการเติมกรดแอสคอร์บิก เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

Jaeger de Carvalho *et.al.* (1998) พบว่าการทำน้ำส้มประรดที่เตรียมจากน้ำส้มประรดเข้มข้นให้ใสโดยใช้ UF (โพลีซัลโฟน) และ MF (เซรามิกเมมเบรน) นั้น โพลีซัลโฟนเมมเบรนที่มี MWCO 50,000 ดาลตัน จะให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใช้เซรามิกเมมเบรน แต่การใช้เซรามิกเมมเบรนจะสามารถคงปริมาณองค์ประกอบของน้ำส้มประรดได้มากกว่า และมี flow rate สูงกว่าโพลีซัลโฟนเมมเบรน

จากการศึกษาโครงสร้างของเมมเบรนต่อลักษณะของ fouling layer ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทำน้ำแอปเปิ้ลให้ใสด้วยกระบวนการ MF โดยใช้เมมเบรน 4 ชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ได้แก่ โพลีซัลโฟน โพลีไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ ไนลอนและโพลีเอสเตอร์ซัลโฟน พบว่าเมมเบรนชนิดโพลีเอสเตอร์ซัลโฟนและโพลีไวนิลลิดีนฟลูออไรด์จะทำงานได้ดีกว่าไนลอนและโพลีซัลโฟน เนื่องจากเมมเบรนชนิดโพลีเอสเตอร์ซัลโฟนและโพลีไวนิลลิดีนฟลูออไรด์จะเกิด fouling layer ที่เกาะตัวกันหลวม ๆ ทำให้ความต้านทานการไหลต่อความหนาของ foulant ต่ำและให้ flux สูงกว่าเมมเบรนที่เป็นไนลอนและโพลีซัลโฟน ซึ่งเกิด fouling layer ที่อัดตัวแน่น เมื่อพิจารณาโครงสร้างของเมมเบรนทั้ง 4 ชนิด พบว่าเมมเบรนที่มีผิวเรียบเช่นไนลอนและโพลีซัลโฟนจะเกิด fouling layer ที่แน่นและมี resistance fouling layer สูง (Riedl *et.al.*, 1996; Riedl *et.al.*, 1998)