

บทที่ 2



ตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ของมะขาม

มะขามมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus indica* Linn. เป็นไม้ยืนต้นและเป็นพืชมีฝัก โดยทั่วไปเติบโตได้ในเขตร้อนชื้นและในทุกสภาพดิน มะขามมีลำต้นสูงประมาณ 12 ฟุต(4 เมตร) โดยมีกิ่งก้านสาขาแผ่กว้างและทนทานต่อความแห้งแล้ง ดอกมะขามเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ฝักมะขามจะมีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลขาวนวล เนื้อข้างในฝักมีสีน้ำตาลเมื่อรับประทานจะมีรสเปรี้ยวและหวาน เมล็ดมะขามมีสีน้ำตาลแก่ เมื่อนำเปลือกออกและบดจะได้ผงเนื้อในเมล็ดมะขาม (Tamarind Kernel Powder : TKP)(3,6)

2.1.1 ผงเนื้อในเมล็ดมะขาม (Tamarind Kernel Powder : TKP)

ผงเนื้อในเมล็ดมะขามเป็นผงสีเหลืองนวล มีองค์ประกอบที่เป็นโปรตีน(protein) ร้อยละ 16.95–20.12 ไขมัน(fat) ร้อยละ 6.03–7.39 คาร์โบไฮเดรต(carbohydrate) ร้อยละ 46.82–48.39 เส้นใย(fiber) ร้อยละ 0.73–4.32 และเถ้า(ash) ร้อยละ 2.45–3.28 โดยที่ปริมาณองค์ประกอบนี้จะแตกต่างกันไปในแต่ละการทดลองเพราะขึ้นกับฤดูกาล ดินฟ้าอากาศและสภาพดินที่ปลูก(7)

ผงเนื้อในเมล็ดมะขามแบ่งเป็น 3 ส่วน ตามความสามารถในการละลายและการเกิดเจล(7)

ส่วนที่ 1 มีปริมาณร้อยละ 2 – 3 เป็นส่วนของโปรตีน สามารถละลายในน้ำเย็น(5 องศาเซลเซียส) ภายใน 2 – 3 นาที และไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล

ส่วนที่ 2 มีปริมาณร้อยละ 20 – 30 เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิห้อง แต่ค่อนข้างช้า ถ้าผสมน้ำ 10 เท่าและกวนแรงๆ เป็นเวลา 45 นาทีที่จะละลายได้ โพลีแซคคาไรด์ส่วนนี้มีคุณสมบัติในการเกิดเจลได้ดี

ส่วนที่ 3 มีปริมาณร้อยละ 30 – 35 เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายในน้ำเย็นแต่สามารถละลายได้ในน้ำเดือดภายใน 20 นาที และมีคุณสมบัติในการเกิดเจลได้ดี

หมายเหตุ การแบ่งประเภทดังกล่าวเป็นการแบ่งโดยประมาณและขึ้นกับความสามารถในการบด

2.1.2 โพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม (Tamarind Seed Polysaccharide : TSP)

โพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นกลางและเป็นผงสีขาวละเอียด ร่วน เมื่อกระจายตัวในน้ำจะให้สารละลายใสเป็นเจล ลักษณะเป็นเส้นใยและมีความหนืดสูงโดยความหนืดจะไม่ขึ้นกับความเป็นกรด – ด่าง ลักษณะของเจลจะคล้ายเพคตินจึงมักใช้แทนเพคตินและเรียกว่า เจลโลส(jellose)(2) โพลีโอส(polyose)(8) ทิกเกอร์โนส(tikernose)(9) และทามารินด์สอะไมลอยด์ (tamarindus amyloid)(10) เมื่ออยู่ในภาวะที่มีสารละลายน้ำตาล จะพบว่าโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามจะเกิดเป็นเจลตลอดช่วงความเป็นกรด – ด่าง

2.1.2.1 องค์ประกอบและโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม

องค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามยังไม่พบแน่นอน แต่ได้มีผู้ทำการศึกษา โดยวิธีการไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ (enzyme hydrolysis method) พบว่าโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามประกอบด้วย D-glucose , D-xylose และ D-galactose ในอัตราส่วนโดยโมลเป็น 3 : 2 : 1 ตามลำดับหรืออัตราส่วนร้อยละเป็น 53 : 30 : 17 ตามลำดับและมีสูตรโครงสร้างดังนี้(11-15)

1. วิธี viscosity(17) จะได้น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 52,350
2. วิธี osmometry(18) จะได้น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 54,600
3. วิธี copper number(18) จะได้น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 55,600
4. วิธี reduction ของ 3,5 – dinitrosalicylate(19) จะได้น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 115,000

2.1.2.3 คุณสมบัติด้านความหนืด

1. ผลของความเข้มข้นต่อความหนืด

Suttananta(20) พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามต่ำ ๆ คือน้อยกว่าร้อยละ 2 จะมีการไหลเป็นแบบ Newtonian แต่ถ้าความเข้มข้นของสารละลายโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 2 จะมีการไหลเป็นแบบ pseudoplastic

2. ผลของอุณหภูมิต่อความหนืด

Suttananta(20) และพวงเพชร นิธยานนท์(21) พบว่า ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลทำให้ความหนืดของสารละลายโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามลดลงโดยการลดลงจะเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล(exponential) ซึ่งเป็นไปตามสมการของ Arrhenius(22) คือ

$$\mu = Ae^{E/RT} \quad 2.1$$

เมื่อ μ = ความหนืดของสารละลาย

A = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลและ molar volume ของสารแต่ละตัว

E = ค่าพลังงานกระตุ้น

R = ค่าคงที่ของก๊าซ

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

3. ผลของความเป็นกรด – ต่างต่อความหนืด

ความหนืดของสารละลายโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามก่อนข้างคั่งที่ตลอดช่วงความเป็นกรด – ต่าง แต่ก็พบค่าความเป็นกรด – ต่างที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุด

Rao(23) พบว่าค่าความเป็นกรด – ต่างที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุดคือระหว่าง 2.5 – 3.0

พวงเพชร นิธยานนท์(21) พบว่าค่าความเป็นกรด – ต่างที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุดคือระหว่าง 2.4 – 3.6

Suttananta(20) พบว่าค่าความเป็นกรด – ต่างที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุดคือระหว่าง 4.0 – 5.0 และเมื่อความเป็นกรด – ต่างอยู่ในช่วงเบสแก่ ความหนืดจะลดลงเล็กน้อย

4. ผลของเวลาในการเก็บต่อความหนืด

Suttananta(20) พบว่าถ้าเก็บโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามเป็นเวลา 90 วันจะมีความหนืดต่ำกว่าโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามที่ไม่ได้เก็บ อาจเป็นเพราะเกิดการย่อยสลายตัวของโพลีแซคคาไรด์

5. ผลของสารอื่น ๆ ต่อความหนืด

พวงเพชร นิธยานนท์(21) พบว่าถ้าสารละลายโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม มีเกลือโซเดียมคลอไรด์(sodium chloride , NaCl)อยู่จะทำให้ความหนืดลดลง ในขณะที่ถ้ามีแคลเซียมคลอไรด์(calcium chloride , CaCl₂) และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต(sodium hexametaphosphate) จะทำให้ความหนืดสูงขึ้น

Suttananta(20) พบว่าถ้ามีตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์(alcohol) กลีเซอรอล(glycerol) พียูจี 400(PEG 400) โพรพิลีนไกลคอล(propylene glycol) และซอร์บิทอล(sorbitol) อยู่ในสารละลายโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามจะทำให้สารละลายมีความหนืดสูงขึ้นและถ้าความเข้มข้นของตัวทำละลายสูงขึ้นความหนืดของสารละลายโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามก็จะสูงขึ้นด้วย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม

กระบวนการที่ใช้ในการผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท(4)

1. aqueous process เป็นกระบวนการที่พยายามกำจัดโปรตีนออกจากโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยจะต้องหาตัวสกัดที่เหมาะสมจากนั้นทำให้โพลีแซคคาไรด์ตกตะกอนในแอลกอฮอล์หรืออบให้แห้ง พบว่าเป็นวิธีการที่ยากและราคาแพงเนื่องจากต้องใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณมาก

2. nonaqueous process เป็นกระบวนการที่ได้นำประโยชน์ของความแตกต่างของความหนาแน่นขององค์ประกอบในผงเนื้อในเมล็ดมะขามมาใช้ในการแยกองค์ประกอบในตัวทำละลายอินทรีย์ พบว่าวิธีนี้ดีกว่าวิธีแรก แต่มีข้อเสียคือจำเป็นต้องใช้ตัวทำละลายที่ไวไฟ

Rao(23) ได้ทำการผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามโดยทำให้ผงเนื้อในเมล็ดมะขามเกิดสารประกอบในรูปต่าง ๆ ดังนี้

1. ใช้ Fehling's solution เพื่อให้เกิด copper compound
2. ใช้ potassium plumbate เพื่อให้เกิด lead complex
3. ใช้สารละลายอิมิตัวของ barium hydroxide เพื่อให้เกิดสารประกอบ barium jellose
4. ใช้ strontium hydroxide เพื่อให้เกิด strontium complex
5. ใช้ calcium hydroxide เพื่อให้เกิด calcium compound

จากนั้นนำสารประกอบที่ได้มาตกตะกอนด้วยกรดแทนนิก(tannic acid) และสารละลายเอทานอล ตามลำดับ พบว่าจะได้เจลโลสที่มีการเกิดเจลได้ดี

Deguchi(24) ได้ทำการผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามโดยนำน้ำร้อนเติมลงไปผงเนื้อในเมล็ดมะขามเพื่อให้เกิดการสกัด จากนั้นตกตะกอนเจลโลสด้วยโซเดียมซัลเฟต แอมโมเนียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟตหรืออลูมิเนียมซัลเฟต นำตะกอนที่ได้มาล้างด้วยสารละลายแอลกอฮอล์ที่มี

ความเข้มข้นอยู่ระหว่างร้อยละ 20 – 40 โดยน้ำหนัก ซึ่งช่วงความเข้มข้นนี้จะละลายเกลือซัลเฟตออก แต่ไม่ละลายเจลโลส พบว่าเจลโลสที่ได้จะเป็นสีขาวหรือเป็นสีเทาโดยมีความแข็งของเจลมากกว่า 250 กรัมต่อตารางเซนติเมตร

Johansson และ Pichitakul(25) ได้ทำการสกัดเจลโลสในห้องปฏิบัติการโดยนำผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัม มาผสมกับโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต และน้ำ 450 มิลลิลิตร ปรับสภาพความเป็นกรด – ด่างให้เป็น 3.1 – 3.2 ด้วยกรดเกลือเข้มข้น ทำให้ร้อนจนถึง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที โดยมีการกวนตลอดเวลา นำสารผสมที่ได้มาเติมน้ำให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร กวนและทำการกรองโดยเติมสารช่วยกรองคือ ไดอะโตมาเซียสเอิร์ท(diatomaceous earth) 40 กรัม จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการกรองมาเติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นปริมาณ 2 เท่าของปริมาตรของสารละลายที่สกัดจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามและเติมกรดเกลือเข้มข้น 100 มิลลิลิตร ทำให้เย็นและตั้งทิ้งไว้ค้างคืน กรองเอาตะกอนเจลโลสมาอบในตู้อบให้แห้งและบด พบว่าได้เจลโลสประมาณร้อยละ 50 ของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

Rao(23) ได้รายงานถึงการผลิตเจลโลสในปริมาณมาก ๆ โดย

1. นำผงเนื้อในเมล็ดมะขามมาผสมกับน้ำเย็น ในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 และเติมน้ำเดือด 30 เท่า ใส่กรดซัลฟริกลงไปเล็กน้อยเพื่อระงับปฏิกิริยาของซัลเฟอไรด์ออกไซด์ที่มีต่อเจลโลส ซึ่งปฏิกิริยานี้จะทำให้คุณสมบัติการเป็นเจลเสียไป จากนั้นทำการต้มเป็นเวลา 20 – 30 นาที และเติมซัลเฟอไรด์ออกไซด์ทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อฟอกสี
2. ทำการตกตะกอนโปรตีนและไฟเบอร์ออกโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปประเหยให้ปริมาตรเหลือครึ่งหนึ่งและทำการกรองโดยเติมสารช่วยในการกรอง
3. ทำให้แห้งหรืออาจนำสารที่ได้จากการกรองมาตกตะกอนด้วยสารละลายเอทานอลและนำเจลโลสที่ได้มาอบแห้ง

4. บดด้วย ball mill พบว่าจะได้เจลโลสประมาณร้อยละ 50 ของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

Gordon(26) ได้ทำการผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามโดยขั้นแรกสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ คีโตนและอีเธอร์ เพื่อกำจัดรส กลิ่นหืน โปรตีนและไขมัน จากนั้นนำมากรอง ตะกอนที่ได้จะถูกนำไปอบและเติมน้ำอีก 25 – 35 เท่าของน้ำหนักน้ำที่ระเหยไป แล้วนำมากรองอีกครั้งจะได้ส่วนที่ละลายน้ำซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์ พบว่าโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามที่ได้จะเหนียวหนืด ไม่มีกลิ่นและรส

พวงเพชร(21) ได้ทำการสกัดเจลโลสโดยนำวิธีการสกัดของ Deguchi , Farber , Gordon Johansson และ Rao รวมถึงการเติมเอนไซม์เพื่อช่วยในการสกัดซึ่งเป็นวิธีของ Lawrence มาประยุกต์เข้าด้วยกัน โดยเริ่มจากการนำผงเนื้อในเมล็ดมะขามจำนวน 20 กรัมมาผสมกับโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต 0.8 กรัม และน้ำ 450 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน แล้วให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่อุณหภูมิค่านี้นี้เป็นเวลา 50 นาทีในอ่างควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นทำให้เย็นจนได้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เติมเอนไซม์ไดแอสเทส(diastase) ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 โดยปริมาตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วตักตะกอนสารละลายนี้ด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นปริมาณ 1.5 เท่าของปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้และเติมกรดเกลือเข้มข้นลงไป 100 มิลลิลิตร ทำให้เย็นแล้วเก็บไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง จะได้ตะกอนเจลโลส นำตะกอนที่ได้มาแช่ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 จำนวน 2 ครั้ง ๆ ละประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นนำตะกอนมาอบที่อุณหภูมิ 40 – 50 องศาเซลเซียส เมื่อแห้งจึงนำมาบด พบว่าจะได้เจลโลสที่มีความเป็นกรด – ด่าง 2.8 ซึ่งค่อนข้างต่ำและไม่เหมาะในการผสมลงไปในอาหารบางประเภท ดังนั้นจึงได้ปรับความเป็นกรด – ด่างของสารละลายเอทานอลที่ใช้ตักตะกอนเจลโลสให้ได้ประมาณ 4.0 พบว่าเจลโลสที่ได้มีความเป็นกรด – ด่างประมาณ 4.0

Sandford(27) ได้ทำการผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามโดยนำผงเนื้อในเมล็ดมะขามมาผสมกับเบสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยให้สารละลายมีความเป็นกรด – ด่างอยู่ระหว่าง 10 - 14 จากนั้นเติมน้ำลงไป 5 เท่าของสารละลายและกวนอีกประมาณ 2 ชั่วโมง ทำสารละลายให้เป็นกลางด้วยกรดและตกตะกอนโพลีแซคคาไรด์โดยใช้ไอโซโพรพานอลเป็นปริมาณ 3 เท่า นำโพลีแซคคาไรด์ที่ได้มาทำแห้งเป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียสและบด พบว่าโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามที่ได้สามารถละลายน้ำได้ดี มีโปรตีนประมาณร้อยละ 2 – 10 และสารละลายที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.25 มีความโปร่งแสงประมาณร้อยละ 70 – 80 ที่ 485 นาโนเมตร

Veluraja(28) ได้ผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามโดยการนำผงเนื้อในเมล็ดมะขามมาเติมน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 80 - 100 องศาเซลเซียสและกวนให้สม่ำเสมอ หลังจากนั้นทำการกรองขณะร้อน พบว่าสารละลายโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามที่ได้มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีคุณสมบัติการไหลดีและมีความหนืดสูง

Jones(4) ได้ทำการผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามด้วยวิธีแอร์คลาสซิฟิเคชัน (air classification) โดยมี 3 ขั้นตอนคือ

1. การเติมสารซิลิกาลงในผงเนื้อในเมล็ดมะขามเพื่อให้เกิดการไหลได้ดีหรือการกำจัดไขมันของผงเนื้อในเมล็ดมะขามออกก่อนเพื่อไม่ให้อนุภาคเหนียวติดกันโดยใช้ตัวทำละลายที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอนจากนั้นนำไปกรองหรือปั่นเหวี่ยงแยกและทำแห้ง ซึ่งสารที่ได้จะมีคุณสมบัติในการไหลดีและบดได้ง่าย

2. ทำการบดอนุภาคให้ได้ประมาณ 100 ไมโครเมตรหรือต่ำกว่า เพราะกระบวนการแอร์-คลาสซิฟิเคชันสามารถแยกอนุภาคในช่วง 5 – 100 ไมโครเมตร

3. ทำการแยกองค์ประกอบของผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้แอร์คลาสซิฟิเคชัน ซึ่งจะแยกได้ 3 สัดส่วน

สัดส่วนที่ 1 มีประมาณร้อยละ 10 – 20 ของปริมาณผงเนื้อในเมล็ดมะขาม โดยส่วนใหญ่จะเป็นสารพวกโปรตีน

สัดส่วนที่ 2 มีประมาณร้อยละ 60 – 80 ของปริมาณผงเนื้อในเมล็ดมะขาม โดยส่วนใหญ่จะเป็นสารพวกโพลีแซคคาไรด์

สัดส่วนที่ 3 มีประมาณร้อยละ 10 – 20 ของปริมาณผงเนื้อในเมล็ดมะขาม โดยพบว่ามีปริมาณโปรตีนน้อยแต่มีสิ่งเจือปนอื่น ๆ มาก โพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามที่ได้จากกระบวนการนี้พบว่า ถ้าไม่มีการกำจัดไขมันจะลดโปรตีนได้ประมาณร้อยละ 50 แต่ถ้ามีการกำจัดไขมันจะลดโปรตีนได้ประมาณร้อยละ 75

Teraoka(5) ได้ทำการผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามโดยใช้ไฮโดรไซโคลน ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

1. บดผงเนื้อในเมล็ดมะขามให้มีขนาดที่เหมาะสมต่อการแยกโปรตีน ไขมัน และสิ่งเจือปนอื่น ๆ โดยให้อยู่ในช่วง 5 – 80 ไมโครเมตร ทั้งนี้เป็นเพราะว่าถ้าบดให้มีขนาดต่ำกว่า 5 ไมโครเมตรอนุภาคจะมีแนวโน้มรวมตัวกับโปรตีนซึ่งมีขนาด 1 – 2 ไมโครเมตร มีผลทำให้ยากต่อการแยก

2. นำผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่บดแล้วมาเติมลงในตัวกลางที่ประกอบด้วยน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์(เช่น methanol , ethanol , propanol , isopropanol และ acetone เป็นต้น)ที่สามารถละลายเข้ากันได้ดีกับน้ำอย่างน้อย 1 ชนิด ในปริมาณร้อยละ 5 – 60 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจาก

2.1 ถ้าตัวทำละลายอินทรีย์มีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก พบว่าอนุภาคโพลีแซคคาไรด์จะบวมในขณะที่ไขมันจะไม่สามารถละลายได้ในตัวกลาง ซึ่งมีผลทำให้ยากต่อการแยกไขมันออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์

2.2 ถ้าตัวทำละลายอินทรีย์มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก พบว่าไขมันจะไม่สามารถละลายในตัวกลาง องค์ประกอบอื่น ๆ ที่สามารถละลายได้ในน้ำจะละลายได้น้อยในตัวกลางนี้และโปรตีนจะเหนียวติดกันเองหรือติดกับอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ โดยจะไม่แยกเป็นอนุภาคเดี่ยว ๆ ในตัวกลาง

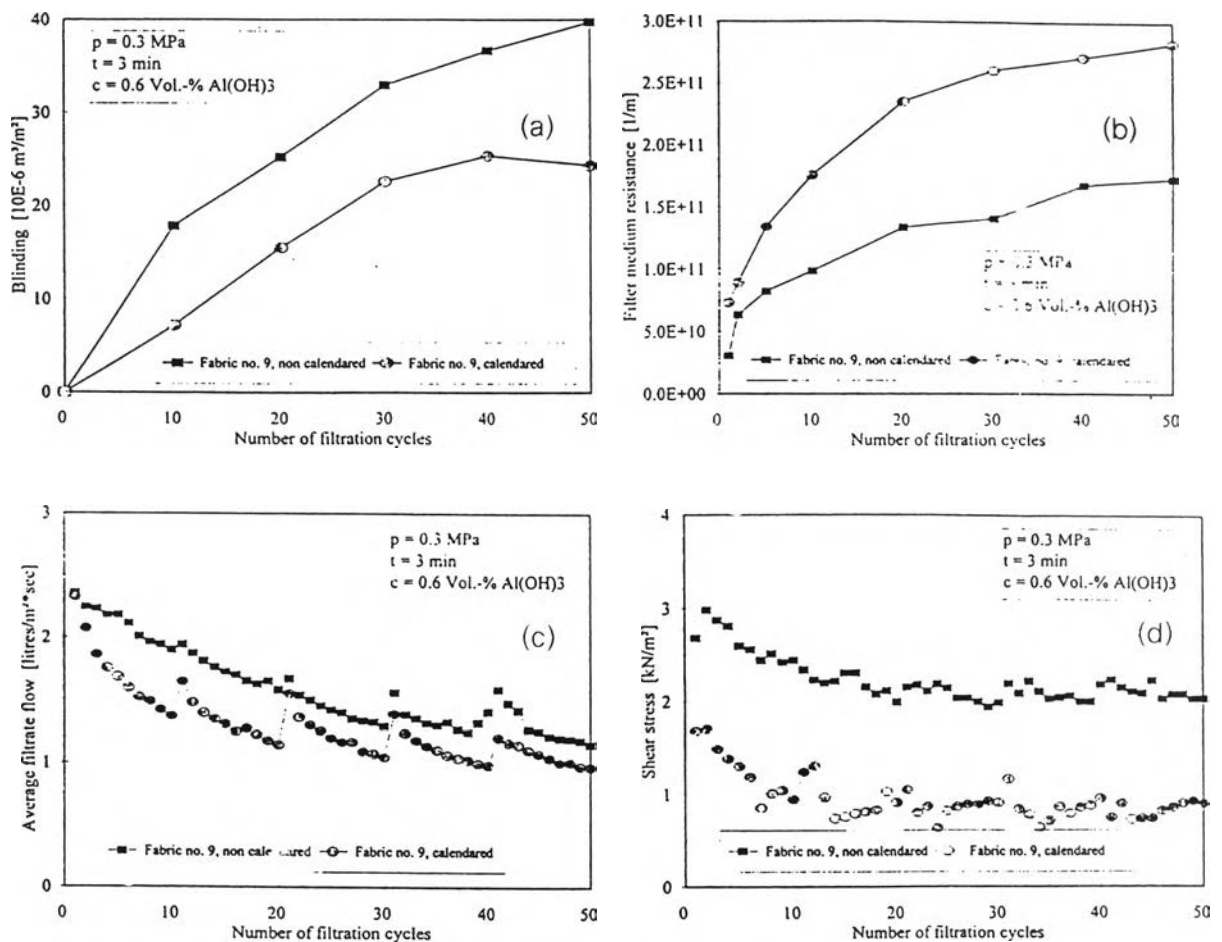
3. ป้อนสารผสมเข้าไปในไฮโดรไซโคลน พบว่าจะได้อนุภาคของโพลีแซคคาไรด์ออกที่ส่วนล่างของไฮโดรไซโคลน ในขณะที่อนุภาคขององค์ประกอบอื่น ๆ จะออกที่ส่วนบนของไฮโดรไซโคลน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ พบว่าจะได้โพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามมากกว่าร้อยละ 94 โดยน้ำหนัก

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกรอง

กระบวนการกรองเป็นกระบวนการแยกสารทางกายภาพ โดยจะเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการแยกอนุภาคสารแขวนลอยออกจากของไหลและเป็นวิธีที่ประหยัด

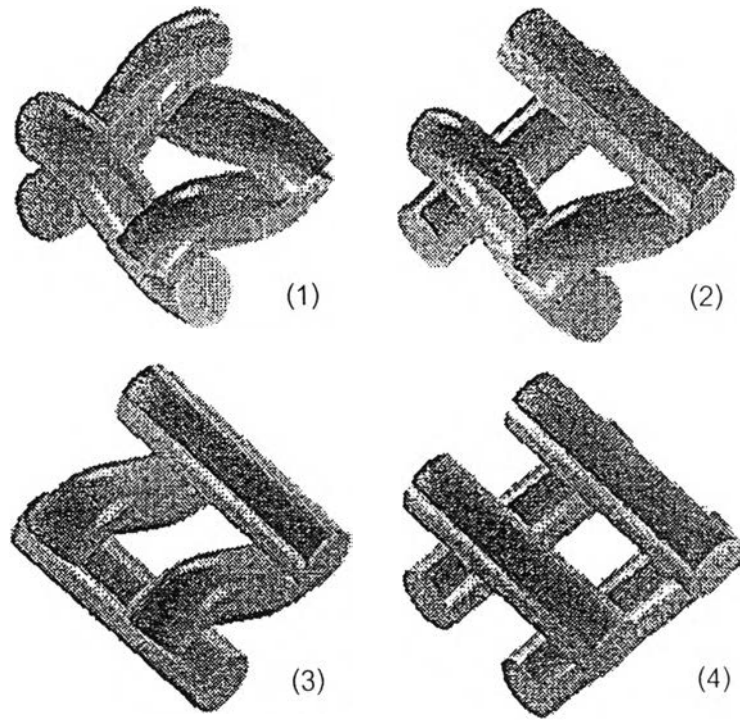
Weigert และ Ripperger(29) ได้ศึกษาการอุดตัน(blinding) ของตัวกรองต่อการกรองชนิด cake filtration โดยใช้ตัวกรองเป็นผ้าซาตินที่มีเส้นใยแบบเรียบ(noncalender) และแบบกลม(calender) ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 2.4 จากรูปที่ 2.4(a) แสดงจำนวนรอบในการกรองซึ่งก็คือเวลาในการกรองกับการอุดตันของตัวกรอง พบว่าถ้าจำนวนรอบในการกรองเพิ่มขึ้นการอุดตันจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีอนุภาคติดอยู่บนตัวกรองและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยแบบเรียบและแบบกลมจะพบว่าเส้นใยแบบกลมจะมีการอุดตันรูพรุนน้อยกว่าเส้นใยแบบเรียบอาจเป็นเพราะเมื่อเส้นใยแบบกลมถูกใช้กันเป็นเวลานาน ความเสถียรของเส้นใยจะเสียไปโดยเส้นใยอาจเกิดการกัดกร่อน จากรูปที่ 2.4(b) แสดงจำนวนรอบในการกรองกับความต้านทานการกรอง พบว่าถ้าจำนวนรอบในการกรองเพิ่มขึ้น

ความต้านทานการกรองจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสะสมของอนุภาค รูปที่ 2.4(c) แสดงจำนวนรอบในการกรองกับฟลักซ์ของการกรอง พบว่าถ้าจำนวนรอบในการกรองเพิ่มขึ้นฟลักซ์ของการกรองจะลดลงจนกระทั่งเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง เนื่องจากการอุดตันของอนุภาคในรูพรุนของตัวกรอง และรูปที่ 2.4(d) แสดงจำนวนรอบในการกรองกับความเค้นเฉือน(shear stress)เมื่อนำเค้กออก พบว่าในช่วงแรกของการกรองความเค้นเฉือนจะลดลงเล็กน้อยเมื่อจำนวนรอบในการกรองเพิ่มขึ้น และเมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้นอีกค่าความเค้นเฉือนจะเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ทั้งนี้เป็นเพราะว่าของเหลวจะเชื่อมโยงอนุภาคทำให้อนุภาคติดอยู่บนตัวกรองด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals)



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการอุดตันของตัวกรอง(รูป a) ความต้านทานการกรอง(รูป b) ฟลักซ์ของการกรอง(รูป c) และความเค้นเฉือนเมื่อนำเค้กออก(รูป d) กับจำนวนรอบในการกรอง(29)

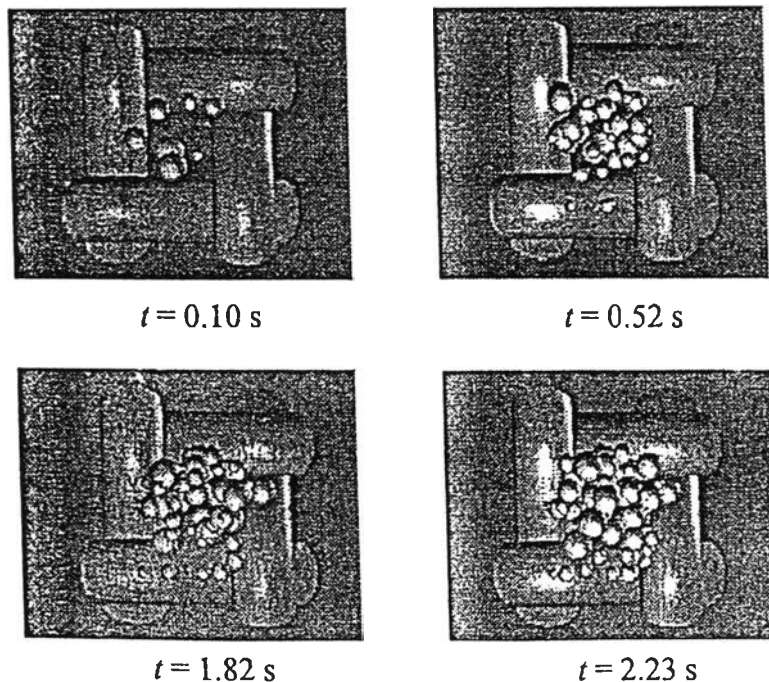
Lu และคณะ(30) ได้ศึกษาผลของโครงสร้างของตัวกรองต่อลักษณะการกรองแบบ cake filtration โดยใช้เส้นใย 4 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.5



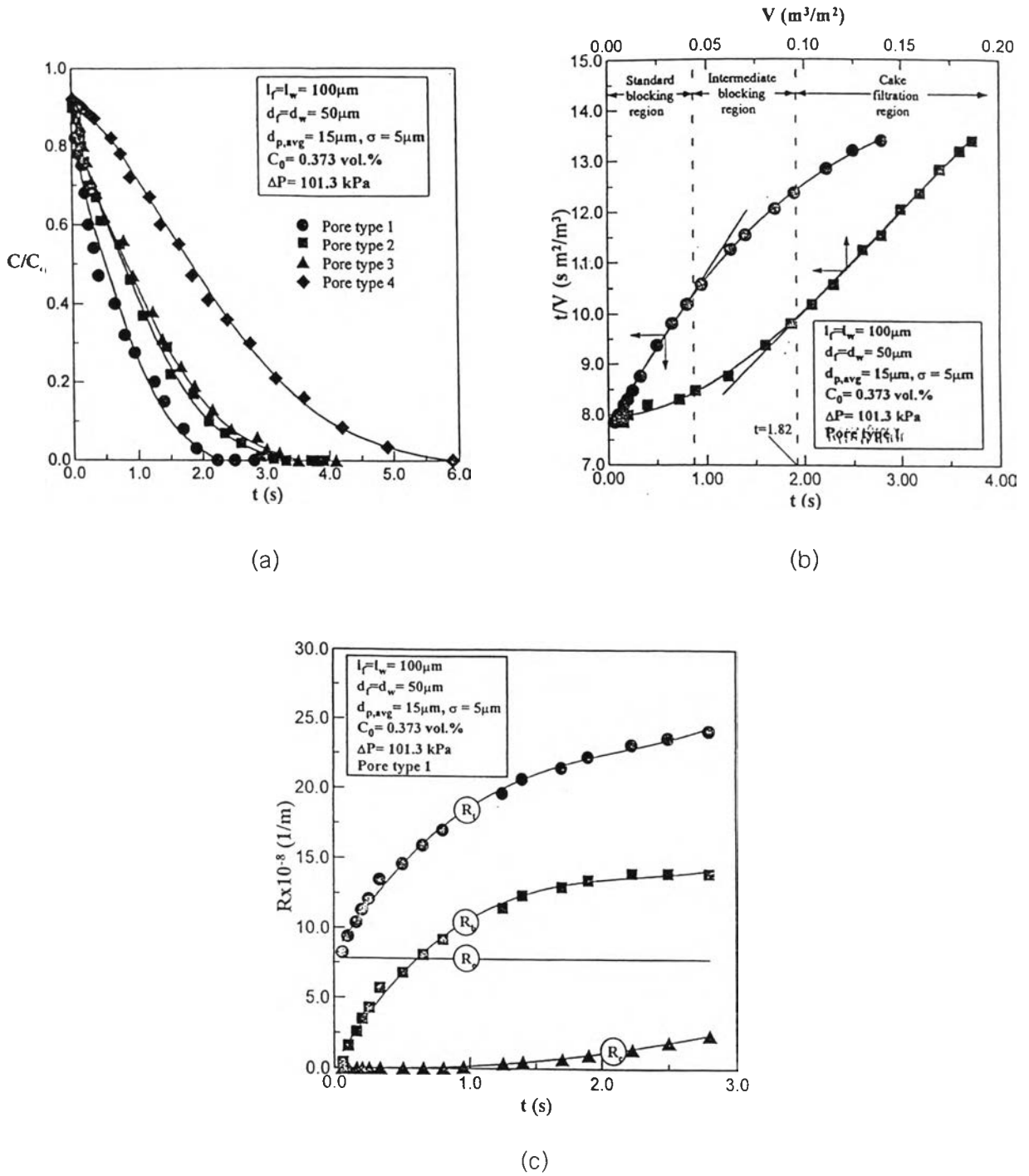
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของเส้นใยของตัวกรองที่ใช้ในการทดลอง(30)

ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 2.6 จากรูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการอุดตันของอนุภาคที่รูพรุนของตัวกรอง โดยพบว่าในช่วงแรกของการกรองจะมีอนุภาคขนาดเล็กติดอยู่บนตัวกรองและอนุภาคเหล่านี้จะเกิดการเชื่อมโยงกันในช่องว่างของรูพรุนของตัวกรองและเมื่อมีการกรองต่อไปเรื่อย ๆ อนุภาคจะอุดตันรูพรุนจนไม่สามารถกรองได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอุดตันคือโครงสร้างของเส้นใย อัตราส่วนระหว่างขนาดของอนุภาคกับขนาดของรูพรุนของตัวกรองและความเข้มข้นของสารแขวนลอย จากรูปที่ 2.7(a) แสดงผลของเวลาในการกรองกับความเข้มข้นของสารแขวนลอยในฟิวเทรต(filtrate) พบว่าเมื่อเวลาในการกรองเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของสารแขวนลอยในฟิวเทรตจะลดลงเนื่องจากเกิดการอุดตันรูพรุนของตัวกรองจึงทำให้สารแขวนลอยไม่สามารถไหลผ่านได้และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกรองทั้ง 4 ชนิดพบว่าตัวกรองชนิดที่ 1 จะใช้เวลาในการกรองน้อยที่สุดทั้งนี้เพราะตัวกรองมีโครงสร้างที่สานกันของเส้นใยที่คดงอมากจึงทำให้อัตราการไหลของฟิวเทรตต่ำที่สุดและส่งผลให้อนุภาคไปอุดตันรูพรุนได้ง่าย

ในขณะที่ตัวกรองชนิดที่ 4 จะใช้เวลาในการกรองนานที่สุดทั้งนี้เพราะตัวกรองมีโครงสร้างที่สานกันของเส้นใยที่เป็นเส้นตรงจึงทำให้อัตราการไหลของฟิวเทรตสูงที่สุดและส่งผลให้เวลาในการกรองจนกระทั่งอุดตันนานที่สุด จากรูปที่ 2.7(b) แสดงลักษณะการกรองโดยในช่วงแรกของการกรองเรียกว่า standard blocking region ซึ่งเป็นช่วงที่อนุภาคขนาดเล็กสามารถผ่านตัวกรองได้ ช่วงที่สองของการกรองเรียกว่า intermediate blocking region ซึ่งพบว่าช่วงนี้เป็นช่วงที่มีการอุดตันของอนุภาคเกิดขึ้นบางส่วน และช่วงที่สามของการกรองเรียกว่า cake filtration region จะเป็นช่วงที่เกิดการกรองทั้งนี้เพราะเมื่ออนุภาคไปอุดตันรูพรุนของตัวกรองจนหมดทำให้ฟิวเทรตที่ออกมามีแต่ของเหลวเท่านั้น จากรูปที่ 2.7(c) แสดงผลของเวลาในการกรองกับความต้านทานของตัวกรอง 4 ชนิด พบว่าตัวกรองทุกชนิดแสดงพฤติกรรมที่คล้ายกันคือเมื่อเวลาในการกรองเพิ่มขึ้นความต้านทานการกรองจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการอุดตันของอนุภาคที่รูพรุนของตัวกรอง(30)



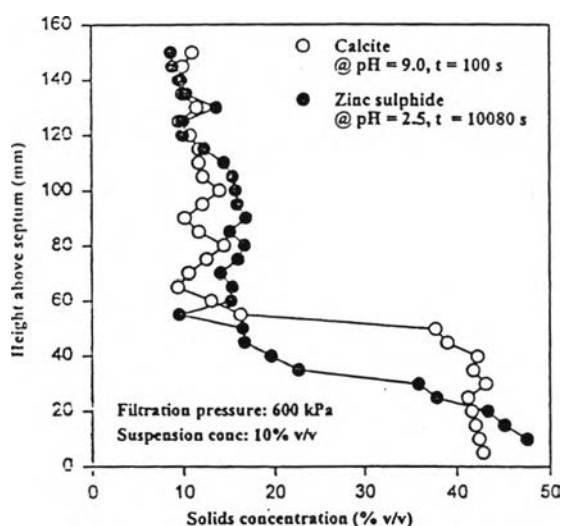
รูปที่ 2.7 แสดงผลของเวลาในการกรองกับความเข้มข้นของสารแขวนลอยในฟิวเทรต(รูปa)

แสดงลักษณะการกรองโดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง (รูปb)และแสดงผลของเวลาในการ

กรองกับความต้านทานของตัวกรอง 4 ชนิด(รูปc)(30)

Tarleton และ Willmer(31) ได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการกรองชนิด cake filtration โดยทำการกรองสาร 2 ชนิดคือ สารแขวนลอยของแคลไซต์(calcite)ในน้ำและสารแขวนลอยของซิงค์ซัลไฟด์(zinc sulphide)ในน้ำ ผลการทดลองมีดังนี้

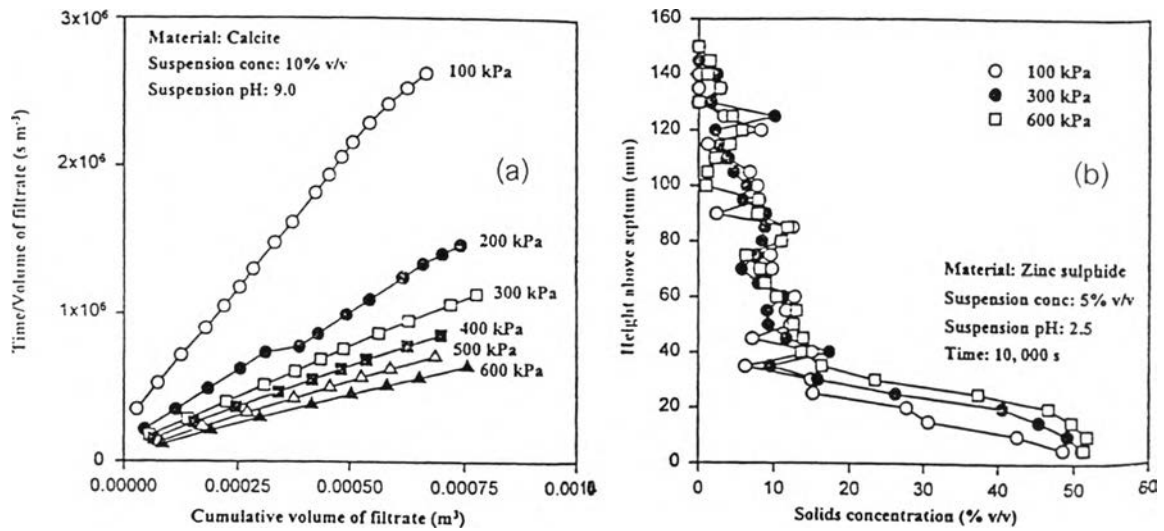
ชนิดของเค้ก จากรูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของของแข็งซึ่งเกิดเป็นเค้กกับความสูงของเค้กพบว่าเค้กของแคลไซต์บนตัวกรองเป็นเค้กที่ไม่สามารถกดอัดได้ซึ่งจะเห็นว่าความเข้มข้นค่อนข้างคงที่ตลอดความสูงของเค้กและใช้เวลาในการกรองสั้น ขณะที่เค้กของซิงค์ซัลไฟด์เป็นเค้กที่สามารถกดอัดได้โดยจะเห็นได้จากความเข้มข้นของซิงค์ซัลไฟด์มีการกระจายตัวตลอดความสูงของเค้กและเวลาที่ใช้ในการกรองจะนานกว่าแคลไซต์



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของของแข็งซึ่งเกิดเป็นเค้กกับความสูงของเค้ก(31)

ผลของความดันต่อการกรอง จากรูปที่ 2.9(a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของเวลาต่อปริมาตรของพิวเทรตที่ได้กับปริมาตรพิวเทรตที่ได้ที่ความดันต่าง ๆ กัน พบว่าเมื่อความดันของสารแขวนลอยของแคลไซต์สูงขึ้นค่าความชันของกราฟจะลดลงโดยที่ในช่วงความดัน 100 – 200 kPa จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากของความชัน แต่เมื่อความดันอยู่ในช่วง 200 – 600 kPa ความชันจะลดลงเล็กน้อยเมื่อความดันสูงขึ้น ดังนั้นจึงไม่เกิดประโยชน์ในการทำการกรองที่ความดันสูง ๆ จากรูปที่

2.9(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของของแข็งที่เกิดขึ้นเป็นเค้กกับความสูงของเค้ก พบว่า สำหรับสารแขวนลอยของซิงค์ซัลไฟด์ เมื่อความดันสูงขึ้นความสูงและความเข้มข้นของเค้กจะสูงขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของทั้งแคลไซต์และซิงค์ซัลไฟด์สูงขึ้นจะทำให้ความหนาของเค้กมากขึ้นซึ่งส่งผลให้อัตราการกรองต่ำลง



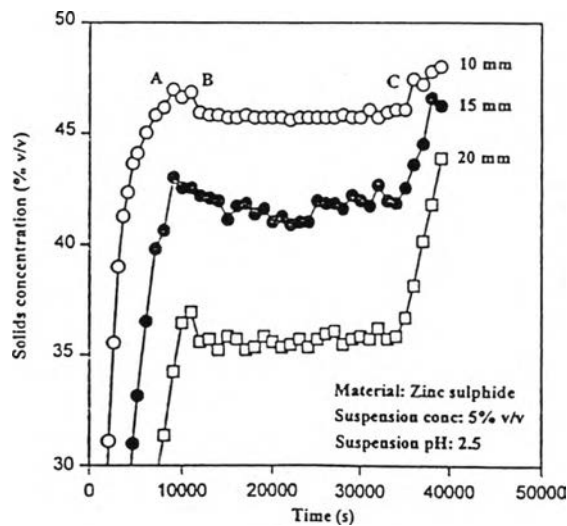
รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของเวลาต่อปริมาตรของฟิวเทรตที่ได้กับปริมาตร

ฟิวเทรตที่ได้ที่ความดันต่าง ๆ กัน (รูป a) และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของของแข็งที่เกิดขึ้นเป็นเค้กกับความสูงของเค้ก (รูป b)(31)

ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารแขวนลอยต่อการกรอง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของทั้งสารแขวนลอยแคลไซต์ในน้ำและซิงค์ซัลไฟด์ในน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาของเค้กมากขึ้นซึ่งส่งผลให้อัตราการกรองต่ำลง

ผลของเวลาต่อการกรอง พบว่าทั้งแคลไซต์และซิงค์ซัลไฟด์จะให้ความสูงของเค้กเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการกรองเพิ่มขึ้น แต่การเกิดเค้กของซิงค์ซัลไฟด์เป็นการรวมกันของเค้กจากการกรองและเค้กจากการตกตะกอนดังแสดงในรูปที่ 2.10 จากรูปจะเห็นว่าระหว่างจุด B และจุด C ยังคงมีอัตราการ

กรองสูง แต่เมื่อเลยจุด C พบว่าจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับที่จุด A แสดงว่ายังคงมีสารแขวนลอยอยู่เหนือเค้ก



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของของแข็งกับเวลาในการกรอง(31)

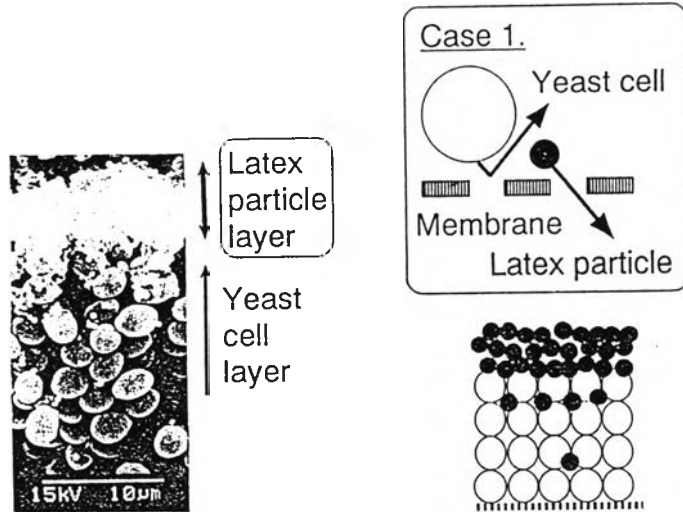
ผลของประจุบนผิวของอนุภาคของสารแขวนลอย พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็น

กรด - ด่างของสารแขวนลอยแคลไซต์ในน้ำจะไม่มีผลต่อการกรอง แต่สำหรับซิงค์ซัลไฟด์พบว่าที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง 10.5 ความเข้มข้นของของแข็งจะสูงที่สุดซึ่งมีผลทำให้อัตราการกรองต่ำที่สุดในขณะที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง 6.0 ความเข้มข้นของของแข็งจะต่ำที่สุดมีผลทำให้อัตราการกรองสูงสุดและที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง 2.5 ความเข้มข้นของของแข็งและอัตราการไหลจะอยู่ระหว่างค่าความเป็นกรด - ด่างทั้งสองค่าข้างต้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อค่าความเป็นกรด - ด่างสูงขึ้นอนุภาคในสารแขวนลอยจะแยกจากกันโดยแรงผลักทางไฟฟ้าและเมื่อมีการกรองพบว่าอนุภาคจะอัดตัวชิดกันทำให้ความเข้มข้นของเค้กสูงซึ่งมีผลทำให้อัตราการกรองต่ำ แต่เมื่อค่าความเป็นกรด - ด่างต่ำ คือมีค่าใกล้ 6.0 ทำให้แรงผลักลดลงและเกิดแรงดึงดูดซึ่งเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์มีผลทำให้อนุภาครวมตัวกันอย่างหลวม ๆ และเกิดการกรองได้ง่ายขึ้น แต่เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้กับจุดไอโซอิเล็กทริก(isoelectric point) อนุภาคจะเกิดการอัดตัวกันอีกครั้งด้วยแรงดึงดูด

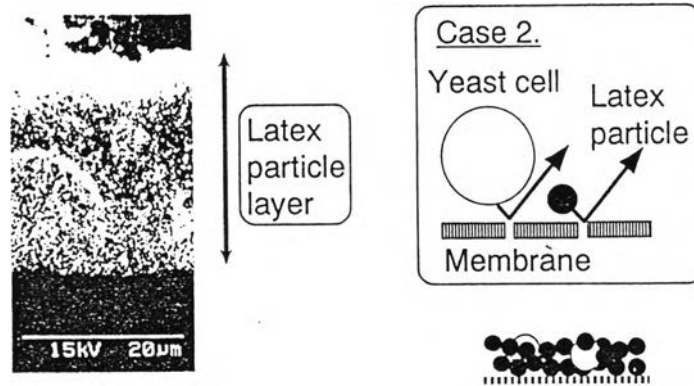
Tanaka และคณะ(32) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเค้กระหว่างการกรองเซลล์ยีสต์ที่มีอนุภาคขนาดเล็กของโพลีสไตรีนปนอยู่ โดยที่เซลล์ยีสต์มีขนาด 5 ไมโครเมตรและโพลีสไตรีนมีขนาด 0.5 ไมโครเมตรและทำการกรองโดยใช้ตัวกรองที่ทำจากเซลลูโลสอะซิเตท(cellulose acetate)ที่มีขนาดรูพรุน 4 ขนาดคือ 0.2 0.45 0.8 และ 3 ไมโครเมตร ผลการทดลองมีดังนี้

1. เมื่อรูพรุนของตัวกรองมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของโพลีสไตรีน พบว่าในช่วงแรกของการกรองจะเห็นอนุภาคของเซลล์ยีสต์เกิดเป็นเค้กอยู่บนตัวกรองและอนุภาคของโพลีสไตรีนจะสามารถผ่านชั้นของเซลล์ยีสต์และรูพรุนของตัวกรองแต่เมื่อเวลาในการกรองมากขึ้นพบว่าฟลักซ์ของการกรองจะลดลงและอนุภาคของโพลีสไตรีนจะติดอยู่บนชั้นของเซลล์ยีสต์ดังแสดงในรูปที่ 2.11(a) รูปที่ 2.11(a) แสดงภาพภาคตัดขวางของเค้กที่ได้จากการกรองเมื่อรูพรุนของตัวกรองมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของโพลีสไตรีน การเกิดเค้กของชั้นอนุภาคของโพลีสไตรีนบนชั้นของเซลล์ยีสต์จะเพิ่มความต้านทานในการกรองสูงมากแม้ว่าชั้นของโพลีสไตรีนจะเป็นชั้นบาง ๆ ก็ตาม

2. เมื่อรูพรุนของตัวกรองมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคของโพลีสไตรีน พบว่าทั้งเซลล์ยีสต์และอนุภาคโพลีสไตรีนจะเกิดเป็นเค้กบนตัวกรองตั้งแต่ช่วงแรกของการกรองและอนุภาคของโพลีสไตรีนจะผ่านชั้นของเซลล์ยีสต์และติดบนตัวกรองดังแสดงในรูปที่ 2.11(b) รูปที่ 2.11(b) แสดงภาพภาคตัดขวางของเค้กที่ได้จากการกรองเมื่อรูพรุนของตัวกรองมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคของโพลีสไตรีน



(a)



(b)

รูปที่ 2.11 แสดงภาพภาคตัดขวางของเค็กที่ได้จากการกรองเมือรุกรุ่นของตัวกรองมีขนาดใหญ่กว่า
อนุภาคโพลีสไตรีน(a) และรุกรุ่นของตัวกรองมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคโพลีสไตรีน(b)(32)