

การประยุกต์เทคนิคไดอะฟิลเตรชันและคอนเซนเตรชัน
เพื่อแยกโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้



นายสุชুম ภูมิรินทร์วรากุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4897-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF DIAFILTRATION AND CONCENTRATION
FOR PROTEIN SEPARATION
FROM TAMARIND KERNEL POWDER USING ROTATING FILTER

Mr.Sukhum Poommarintaravarakul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4897-3

สุขุม ภูมรินทร์วรากล : การประยุกต์เทคนิคไดอะฟิลเตรชันและคอนเซนเตรชันเพื่อแยกโปรตีนออกจาก
ผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ (APPLICATION OF DIAFILTRATION AND
CONCENTRATION FOR PROTEIN SEPARATION FROM TAMARIND KERNEL POWDER
USING ROTATING FILTER) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์, 123 หน้า ISBN
974-17-4897-3

การศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันและเทคนิคคอนเซนเตรชันเพื่อแยกโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ด
มะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือส่วนแรกศึกษาองค์ประกอบของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ขนาด
ของอนุภาคและคัดเลือกผ้ากรองเพื่อใช้ทำตัวกรอง พบว่าองค์ประกอบของผงเนื้อในเมล็ดมะขามประกอบด้วย โพลีแซคคา
ไรด์ร้อยละ 63.32-73.48 โปรตีนร้อยละ 14.71-16.09 และองค์ประกอบอื่นร้อยละ 6.35-14.14 และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเมื่อ
กระจายตัวในน้ำเท่ากับ 25.23 ไมโครเมตร ความหนืดของสารแขวนลอยเท่ากับ 2.24 เซนติปอยส์ เมื่อเติมเอนไซม์นิวเทรสใน
สารแขวนลอย พบว่าขนาดของอนุภาคมีขนาดเท่ากับ 19.33 ไมโครเมตร ความหนืดของสารแขวนลอยเท่ากับ 2.86 เซนติ
ปอยส์ ในการเพิ่มอุณหภูมิให้สารแขวนลอยที่ 30, 50, 70 และ 85 องศาเซลเซียส ทำให้โพลีแซคคาไรด์ละลายเพิ่มขึ้นร้อยละ
26.61, 42.45, 67.87 และ 92.64 ตามลำดับ สำหรับผ้ากรองที่ใช้ในการทำตัวกรองมีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 20 ไมโครเมตร ค่า
สัมประสิทธิ์รีเจกชันโพลีแซคคาไรด์และสัมประสิทธิ์รีเจกชันโปรตีนเท่ากับ 0.7850 และ 0.6356 ตามลำดับ

ส่วนที่ 2 ศึกษาการใช้เทคนิคคอนเซนเตรชันและเทคนิคไดอะฟิลเตรชันในการแยกโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ด
มะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ สำหรับการใช้นี้เทคนิคคอนเซนเตรชันพบว่าฟลักซ์ของการกรองมีค่าลดลงเมื่อปริมาตร
ของสารแขวนลอยลดลง โดยค่าฟลักซ์ของการกรองในกรณีที่ไม่เติมเอนไซม์ในสารแขวนลอยเท่ากับ $J = 733 \ln(68/C_0)$ และ
ในกรณีที่เติมเอนไซม์เท่ากับ $J = 616 \ln(75/C_0)$ ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าร้อยละ
การกำจัดโปรตีนพบว่าในกรณีที่ไม่เติมเอนไซม์ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนที่สูงกว่าในกรณีที่ไม่เติมเอนไซม์ ส่วนการใช้เทคนิค
ไดอะฟิลเตรชัน พบว่าฟลักซ์ของการกรองมีค่าลดลงและเริ่มคงที่เมื่อเติมน้ำในการทำไดอะฟิลเตรชันแบบต่อเนื่องมากกว่า 3
ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน อนุภาคขนาดเล็กที่กระจายอยู่ในสารแขวนลอยมีปริมาณลดลง ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์ ร้อย
ละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์และร้อยละการกำจัดโปรตีนเมื่อเติมน้ำ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชันในกรณีที่ไม่เติมเอนไซม์มีค่า
เท่ากับร้อยละ 85.98, 37.15 และ 61.60 และในกรณีที่ไม่เติมเอนไซม์เท่ากับ 93.35, 47.86 และ 88.12 ตามลำดับ

ส่วนที่ 3 การผสมผสานเทคนิคคอนเซนเตรชันและไดอะฟิลเตรชันการผสมผสานเทคนิคคอนเซนเตรชันและไดอะฟิลเตรชัน
ในการกรองสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ผ่านการเติมเอนไซม์เพื่อผลิตโพลีแซคคาไรด์โดยเลือกการทำคอนเซนเตรชัน
เท่ากับ 1.11, 1.25 และ 1.43 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์แล้วกรองต่อด้วย 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน พบว่า ความบริสุทธิ์ของโ
ลิแซคคาไรด์มีค่าลดลงโดยเท่ากับร้อยละ 85.56, 81.14 และ 78.81 และสามารถกำจัดโปรตีนได้ร้อยละ 90.32, 87.59 และ
85.08 ตามลำดับ สำหรับฟลักซ์ของการกรองในช่วงการทำไดอะฟิลเตรชันพบว่า ฟลักซ์ของการกรองที่เริ่มต้นจากการทำ 1.25
คอนเซนเตรชันแพคเตอร์มีค่าเฉลี่ยโดยรวมสูงที่สุด ในการผลิตโพลีแซคคาไรด์โดยกรองด้วยเทคนิค 1.25 คอนเซนเตรชันแพค
เตอร์ และ 5 ไดอะฟิลเตรชัน ต่อจากนั้นให้อุณหภูมิแก่สารแขวนลอยที่ 85 องศาเซลเซียส บั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลายมา
ตกตะกอนโพลีแซคคาไรด์ในสารละลายแอลกอฮอล์ 1.5 เท่าของปริมาตรสารละลาย ทำให้แห้งและบดผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากผง
เนื้อในเมล็ดมะขามเริ่มต้น 20 กรัมจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนัก 5.3247 กรัม มีผลได้ของผลิตภัณฑ์ร้อยละ 26.62 ประกอบด้วย
โพลีแซคคาไรด์ 5.0479 กรัม โปรตีน 0.0927 กรัม ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 96.71 มีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์
ร้อยละ 62.06 และการกำจัดโปรตีนร้อยละ 97.47

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2546.....

4370563921 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORD : TAMARIND KERNEL POWDER / PROTEIN SEPARATION / ROTATING FILTER / DIAFILTRATION / CONCENTRATION / PURIFICATION

SUKHUM POOMMARINVARAKUL : APPLICATION OF DIAFILTRATION AND CONCENTRATION FOR PROTEIN SEPARATION FROM TAMARIND KERNEL POWDER USING ROTATING FILTER. THESIS ADVISOR :

ASSOC.PROF. CHIRAKARN MUANGNAPOH, 123 pp. ISBN 974-17-4897-3

This research aimed at the study about the application of diafiltration and concentration techniques for the separation of protein from tamarind kernel powder (TKP) by using a rotating filter. The study can be categorized into three main sections. As the first section, three elementary aspects were examined; namely, the composition of tamarind kernel, the particle size, and the type of filter medium. It was found that the TKP consisted of polysaccharide 63.32-73.48 %, protein 14.71-16.09 %, and other ingredients 6.35-14.14 %. And its mean particle size when dispersed in water and the viscosity of the suspension were 25.23 μm and 2.24 centipoise, respectively. After the addition of neutrase enzyme, the mean particle size and the viscosity of the suspension were 19.33 μm and 2.86 centipoise, respectively. Next, the effect of the temperature of the suspension on the solubility of polysaccharide was investigated. It appeared that the solubilities were increased to 26.61, 42.45, 67.87, and 92.64 % at the temperature of 30, 50, 70, and 85 C, respectively. Then 20 μm -pore size medium was selected as the filter medium. Accordingly, its rejection coefficients of polysaccharide and protein were 0.7850 and 0.6356, respectively.

As for the second section, the application of concentration and diafiltration techniques were studied in more details. When applying the concentration technique, it was shown that the filtration flux decreased as the volume of the suspension decreased according to the following expressions; $J = 616 \ln(75.22/C_B)$ and $J = 733 \ln(68/C_B)$ for the case when whether the enzyme was or was not employed during the filtration, respectively. Correspondingly, the purity of the produced polysaccharide and the percentage protein removal were proved to be enhanced if the enzyme was added. Considering the application of diafiltration technique, the filtration flux decreased and tended to be constant as the amount of water which was continually added was more than 3 diafiltration volumes. In the case when water was added as much as 5 diafiltration volumes without the addition of enzyme, the purity of produced polysaccharide, the percentage polysaccharide loss, and the percentage protein removal were 85.98, 37.15, and 61.60 %, respectively. And these values of the case when the enzyme was added were 93.35, 47.86, and 88.12 %, respectively.

Regarding the last section of the study, the production of polysaccharide from the tamarind kernel powder suspension in which the enzyme was added was studied by consecutively applying the concentration and diafiltration techniques. At the same 5 diafiltration volumes, it was revealed that in response to the increasing concentration factor (1.11, 1.25, and 1.43, respectively), the purity of produced polysaccharide decreased (85.56, 81.14, and 78.81 %, respectively) as well as the percentage protein removal (90.32, 87.59, and 85.08 %, respectively). In terms of the filtration flux during the diafiltration, the flux of the case when the concentration factor of 1.25 was first employed was the highest. Therefore, the polysaccharide production was further carried out by applying the concentration and diafiltration factors of 1.25 and 5, respectively. Then the suspension was heated at 85 C and centrifuged. After precipitated in alcohol solution 1.5 volumes, the polysaccharide was then dried, and smashed. From 20 g of tamarind kernel, 5.3247 g product consisting of 5.0479 g polysaccharide and 0.0927 g protein was attained. Accordingly, the product yield, the purity of produced polysaccharide, the percentage polysaccharide loss, and the percentage protein removal were 26.62, 96.71, 62.06, and 97.47 %, respectively.

Department.....Chemical Engineering..... Student's signature.....
Field of study.....Chemical Engineering..... Advisor's signature.....
Academic year.....2003.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลือที่ดียิ่งจากหลายๆ ท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำวิธีการทำงานวิจัย ตลอดจนตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ภาวสันต์ และ ดร.ชฎา พิศาลพงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ และ แก้ไข เพิ่ม-เติมส่วนที่บกพร่องของงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท จี เอ็ม อีซีฮารา จำกัด ที่สนับสนุนวัสดุดิบในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี ที่คอยเป็นกำลังใจให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา และขอบคุณทุกๆคน ในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนทางการศึกษาตลอดมาจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฎ
สัญลักษณ์.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	3
1.2 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. ทฤษฎี และตรวจเอกสาร.....	5
2.1 การกรอง.....	5
2.2 การกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้.....	10
2.3 กระบวนการไดอะฟิลเตรชัน.....	14
2.4 กระบวนการคอนเซนเตรชัน.....	15
2.5 กระบวนการทำให้บริสุทธิ์.....	17
2.6 โปรตีน.....	18
2.7 ตรวจเอกสาร.....	20
2.7.1 มะขามและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตเจลโลสจากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม...	25
2.7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้.....	27
2.7.4 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน.....	30
3. อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย.....	32
3.1 อุปกรณ์.....	32
3.2 เคมีภัณฑ์.....	32

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
3.3 เอนไซม์.....	33
3.4 วิธีการทดลอง.....	33
4. ผลการทดลอง วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง.....	40
4.1 สมบัติของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม.....	40
4.2 ผลการทดสอบเพื่อคัดเลือกผ้ากรองใยสังเคราะห์ในการทำตัวกรอง.....	46
4.3 ผลการทดลองการใช้เทคนิคคอนเซนเตรชันในการกรองร่วมกับชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้.....	50
4.4 ผลการทดลองการใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันในการกรองร่วมกับชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้.....	58
4.5 ผลการทดลองการผสมผสานเทคนิคไดอะฟิลเตรชันและเทคนิคคอนเซนเตรชันประยุกต์ร่วมกับการกรองโดยใช้ชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้.....	71
5. สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ.....	82
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก.....	89
ภาคผนวก ข.....	95
ภาคผนวก ค.....	113
ภาคผนวก ง.....	115
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	123

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะขาม เนื้อในเมล็ดมะขาม และเปลือกของเมล็ดมะขาม (Shankarachaya, 1998).....	22
2.2 ผลการทดลองร้อยละการแยกโมเลกุลขนาดเล็กด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันของ Larry, 2003.....	31
3.1 ภาวะควบคุมของเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้.....	35
4.1 องค์ประกอบของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่เป็นวัตถุคิบในการทดลอง.....	40
4.2 ความหนืดของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่กระจายตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง.....	44
4.3 ค่าร้อยละการละลายของโพลีแซคคาไรด์ที่อยู่ในสารละลายและค่าร้อยละของโปรตีนที่อยู่ในสารละลาย.....	45
4.4 ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีน ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ ขนาดของอนุภาคในฟิลเตรต.....	47
4.5 ค่าคอนเซนเตรชันแพคเตอร์ในการทดลอง.....	50
4.6 ค่าปริมาตรไดอะฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลอง.....	58
4.7 ขนาดของอนุภาคสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามในถังป้อนที่ผ่านการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน.....	59
4.8 แสดงค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์และค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการไดอะฟิลเตรชัน.....	64
4.9 สรุปผลการทดลองการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ไม่เติมเอนไซม์นิวเทรส.....	69
4.10 สรุปผลการทดลองการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ผ่านการเติมเอนไซม์นิวเทรส.....	70
4.11 สรุปผลการทดลองการผสมผสานเทคนิคคอนเซนเตรชันและเทคนิคไดอะฟิลเตรชันที่ 1.11 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์ และ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน.....	72
4.12 สรุปผลการทดลองการผสมผสานเทคนิคคอนเซนเตรชันและเทคนิคไดอะฟิลเตรชันที่ 1.25 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์ และ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน.....	73
4.13 สรุปผลการทดลองการผสมผสานเทคนิคคอนเซนเตรชันและเทคนิคไดอะฟิลเตรชันที่ 1.43 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์ และ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน.....	74

สารบัญญัตราสาร (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 ร้อยละความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์เมื่อผ่านการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันและเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน.....	75
4.15 สรุปลผลการผลิตโพลีแซคคาไรด์จากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม.....	80
4.16 ตารางเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์โพลีแซคคาไรด์จากผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ได้จากการผลิตวิธีต่าง ๆ.....	81



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบการกรอง (Svarovsky, 1990)	5
2.2 การกรองแบบไหลผ่านตัวกรอง.....	6
2.3 การกรองแบบไหลขนานตัวกรอง.....	6
2.4 แสดงการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน.....	7
2.5 แสดงทิศทางการไหลของของไหลในกระบวนการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ (Belfort et.al., 1993)	11
2.6 แสดงการเกิดการหมุนวนแบบเทย์เลอร์ (Taylor vortice) (Hermert van, P.A., 1987)....	12
2.7 แสดงรูปแบบการหมุนวนของเทย์เลอร์ในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ในแนวแกน (Kataoka และคณะ, 1977).....	12
2.8 การดำเนินการแบบไดอะฟิลเตรชัน.....	14
2.9 การดำเนินการแบบคอนเซนเตรชัน.....	16
2.10 การดำเนินการแบบเพียวริฟิเคชัน.....	17
2.11 โครงสร้างโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ที่ศึกษาโดย Savur , 1956, Srivastava และ Singh, 1967.....	24
2.12 โครงสร้างโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ที่ศึกษาโดย lain และ Edward, 1984.....	24
3.1 แผนภาพชุดการกรองเพื่อทดสอบผ้ากรองใยสังเคราะห์.....	38
3.2 แผนภาพชุดเครื่องมือการกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้.....	38
3.3 ชุดเครื่องมือการกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้.....	39
3.4 ตัวกรองที่ใช้ในการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้.....	39
4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม.....	41
4.2 ภาพถ่ายผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่กระจายตัวในน้ำที่กำลังขยาย 100 เท่า.....	42
4.3 ภาพถ่ายผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่กระจายตัวในน้ำที่กำลังขยาย 400 เท่า.....	43
4.4 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เป็น 30, 50, 70 และ 85 องศาเซลเซียส.....	46
4.5 ภาพถ่ายผ้ากรองใยสังเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายภาพ 100 เท่า.....	48
4.6 ภาพถ่ายลักษณะของอนุภาคที่ผ่านผ้ากรองที่กำลังขยาย 100 เท่า.....	48
4.7 กราฟขนาดอนุภาคที่ผ่านผ้ากรองชนิดต่าง ๆ.....	49
4.8 แสดงความหนืดของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามกับค่าคอนเซนเตรชัน.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

4.9	หลักการของการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชัน.....	52
4.10	ความเข้มข้นของโพลีแซคคาไรด์ในถังป้อน.....	53
4.11	ร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ในฟิลเตรต.....	54
4.12	ร้อยละของโพลีแซคคาไรด์ โปรตีนและสารอื่น ๆ ในถังผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกรองด้วยกระบวนการคอนเซนเตรชัน.....	54
4.13	หลักการเชิงมวลโพลีแซคคาไรด์และหลักการเชิงมวลโปรตีนในกระบวนการคอนเซนเตรชัน..	55
4.14	เปรียบเทียบความเข้มข้นของอนุภาคในถังป้อนที่ได้จากทฤษฎีกับการทดลองสำหรับการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชัน.....	57
4.15	การกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการไดอะฟิลเตรชัน.....	60
4.16	การกระจายตัวของอนุภาคผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่เติมเอนไซม์นิวเทรสและผ่านกระบวนการไดอะฟิลเตรชัน.....	61
4.17	ความหนืดของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการไดอะฟิลเตรชัน..	62
4.18	ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ในสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการไดอะฟิลเตรชัน.....	62
4.19	หลักการของการกรองสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน...	63
4.20	เปรียบเทียบปริมาณโพลีแซคคาไรด์สูญเสียในถังป้อนกับปริมาณโพลีแซคคาไรด์ที่สูญเสียไปในฟิลเตรต.....	64
4.21	ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์เมื่อผ่านการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน.....	65
4.22	ร้อยละของโปรตีนในถังป้อนที่ผ่านการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน.....	66
4.23	เปรียบเทียบความเข้มข้นของอนุภาคในถังป้อนที่ได้จากทฤษฎีกับการทดลองสำหรับการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน.....	68
4.24	ร้อยละความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์, ปริมาณน้ำที่ใช้กับปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน.....	75
4.25	หลักการของการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันหลังจากผ่านการทำคอนเซนเตรชันแพคเตอร์ต่าง ๆ.....	76
4.26	การผลิตโพลีแซคคาไรด์จากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม.....	77

สัญลักษณ์

A	พื้นที่การกรอง (ตารางเมตร)
C	ความเข้มข้นของของแข็งในสารแขวนลอย (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
d_h	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (เมตร)
d	ระยะห่างระหว่างของผิวหน้าของตัวกรองกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก (เมตร)
J	ฟิลเตรตฟลักซ์ (ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง)
K	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (เมตรต่อวินาที)
N	จำนวนรอบการหมุนของมอเตอร์ (รอบต่อวินาที)
R_c	ความต้านทานการกรองของเค้ก (ต่อเมตร)
R_m	ความต้านทานการกรองของตัวกรอง (ต่อเมตร)
R_t	ความต้านทานรวม (ต่อเมตร)
R_1	รัศมีของตัวกรอง (เมตร)
R_2	รัศมีภายในของท่อทรงกระบอก (เมตร)
Re_a	ค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์ตามแนวแกน (-)
Re_t	ค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์ที่ผิวของเยื่อแผ่น (-)
T_a	ค่าเทย์เลอร์นับเบอร์ (-)
$T_{a,crit}$	ค่าเทย์เลอร์นับเบอร์วิกฤต (-)
v	ปริมาตรของฟิลเตรต (ลูกบาศก์เมตร)

สัญลักษณ์ (ต่อ)

w	มวลของเค้กที่สะสมต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)
ΔP	ความดันคร่อมตัวกรอง (บาร์)
α	ความต้านทานจำเพาะของเค้ก (เมตรต่อกิโลกรัม)
ρ	ความหนาแน่นของสารละลาย (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
v	ความเร็วของสารละลาย (เมตรต่อวินาที)
μ	ความหนืดของสารละลาย (กิโลกรัมต่อเมตร-วินาที)
τ	แรงเฉือนที่ผิวเยื่อแผ่น (ต่อวินาที)
ω	ความเร็วเชิงมุม (ต่อวินาที)
U	ความหนืดคิเนมาติก (ตารางเมตรต่อวินาที)
δ	ความหนาของชั้นเค้กที่ผิวหน้าตัวกรอง(เมตร)
σ	สัมประสิทธิ์รีเจคชัน(-)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมหลายประเภทมีการนำสารที่แยกได้จากธรรมชาติและไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และสภาพแวดล้อมมาใช้กันในปริมาณที่สูงขึ้นมาก เจลโลส (Jellose) ก็เป็นสารอีกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเส้นใย, อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง, อุตสาหกรรมอาหาร, เภสัชกรรม และอื่น ๆ โดยใช้เป็นสารให้ความหนืด (thickening) สารรักษาความคงตัว (stabilizer) สารเสถียรน้ำและน้ำมันให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (emulsifier) สารช่วยในการรวมตัวกับน้ำ (water binder) และสารช่วยการแขวนลอย (suspending agent) (Rao.Ps,1993) เป็นต้น

เจลโลส (Tamarind Seed Polysaccharide, TSP) เป็นสารที่ได้มาจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามซึ่งเป็นสิ่งที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปมะขาม โดยทั่วไปเมล็ดมะขามมีประมาณร้อยละ 34 ในมะขาม 1 ผล และเมล็ดมะขามนี้มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโพลีแซคคาไรด์อยู่ถึงมากกว่าร้อยละ 60 บริษัท จีเอ็ม อิชิตาร่า จำกัด (GM Ichihara Company Limited) เป็นบริษัทในประเทศไทยที่มีการนำเมล็ดมะขามมาใช้ประโยชน์ โดยผลิตเป็นผงเนื้อในเมล็ดมะขาม (Tamarind Kernel Powder, TKP) มีการรับซื้อเมล็ดมะขามจากที่ต่างๆ ในประเทศไทย นำมาผ่านกระบวนการแยกเปลือกเมล็ดออก แล้วบดเนื้อในเมล็ดมะขามจนได้ขนาดที่ต้องการ ได้เป็นผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ที่มีชื่อทางการค้าว่า MAKAM 200

จากการศึกษาองค์ประกอบของเมล็ดมะขามพบว่าคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 65-72 และมีโปรตีนกับไขมันเป็นองค์ประกอบรองลงมาร้อยละ 15-20 และ 4-8 ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบรองทั้ง 2 ประเภทนี้ส่งผลทางลบแก่เจลโลส โดยโปรตีนจะส่งผลให้เจลโลสมีการเปลี่ยนแปลงคือ สีเปลี่ยนไปและเมื่อนำไปกระจายตัวในน้ำก็จะส่งผลให้เกิดฟองขึ้นสำหรับไขมันจะส่งผลให้เกิดกลิ่นหืนและสีของเจลโลสเปลี่ยนไปด้วย (Shankaracharya, 1998) ดังนั้นในการผลิตเจลโลสจึงจำเป็นต้องกำจัดโปรตีนและไขมัน สำหรับโปรตีนในเมล็ดมะขามส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอัลบูมิน (Albumin) และโกลบูลิน (Globulin) ซึ่งลักษณะของโปรตีนทั้ง 2 กลุ่มนี้มีลักษณะเป็นก้อนกลมไม่ละลายในน้ำและยึดติดอยู่กับอนุภาคของโพลีแซคคาไรด์ (Sila และคณะ, 1994) ดังนั้นในการที่จะแยกอนุภาคโปรตีนและอนุภาคอื่น ๆ จึงต้องทำ 2 ขั้นตอนคือทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโปรตีนกับ โพลีแซคคาไรด์ หลังจากนั้นจึงแยกโปรตีนและอนุภาคอิสระอื่นๆ ออกจากโพลีแซคคาไรด์ ส่วนขั้นตอนในการแยกไขมันนั้นส่วนใหญ่จะใช้สารละลายกลุ่มแอลกอฮอล์ในการแยก เพราะไขมันโดยทั่วไปสามารถละลายในแอลกอฮอล์ แต่การใช้สารละลายกลุ่มแอลกอฮอล์นั้นยังส่งผลต่อโพลีแซคคาไรด์ ทำให้โพลีแซคคาไรด์รวมตัวกันและ

ตกตะกอนลงมา ดังนั้นในขั้นตอนการแยกไขมันจะทำหลังจากที่แยกโปรตีนออกแล้ว หลังจากนั้นนำโพลีแซคคาไรด์ที่ตกตะกอนมาแยกออกจากสารละลาย

ขั้นตอนการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคโปรตีนกับโพลีแซคคาไรด์สามารถทำได้หลายวิธี อาจใช้วิธีทางกายภาพ เช่น การใช้คลื่นเหนือเสียง คลื่นเหนือเสียงจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุลและเกิดแรงที่ทำลายพันธะระหว่างโมเลกุล ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโปรตีนกับโพลีแซคคาไรด์จะถูกทำลายทำให้อนุภาคทั้ง 2 แยกจากกัน แต่มีข้อเสียคือเมื่อใช้คลื่นเหนือเสียง พันธะระหว่างโพลีแซคคาไรด์กับโพลีแซคคาไรด์ด้วยกันก็จะถูกทำลายด้วยทำให้อนุภาคของโพลีแซคคาไรด์มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้การแยกโปรตีนกับโพลีแซคคาไรด์มีความยากขึ้น (วาริ จารุพัฒนายนต์, 2543) การใช้ตัวทำละลายเพื่อใช้สมบัติการละลายของอนุภาคมีข้อเสียคือยังไม่สามารถหาตัวทำละลายที่สามารถละลายโปรตีนได้เพียงอย่างเดียว หรือหาตัวทำละลายที่สามารถละลายโพลีแซคคาไรด์ได้อย่างเดียว หรือใช้วิธีทางเคมี เช่น การใช้เอนไซม์กลุ่มโปรติโอไลติกเพื่อย่อยโปรตีนออกเป็นกรดอะมิโนสายสั้น ๆ โดยที่โพลีแซคคาไรด์ยังมีขนาดคงเดิม แต่มีข้อเสียคือต้องเพิ่มกระบวนการแยกเอนไซม์ออกจากผลิตภัณฑ์ เพราะเอนไซม์เองก็เป็นโปรตีนประเภทหนึ่งและมีราคาสูงและมีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์อยู่บ้าง (พวงเพชร นิธิยานนท์, 2521) สำหรับในขั้นตอนการแยกอนุภาคอิสระของโพลีแซคคาไรด์และอนุภาคอื่น ๆ ออกจากกันจะใช้หลักการแยกโดยอาศัยความแตกต่างของขนาดอนุภาคมาใช้ในการแยกด้วยการกรองหรือใช้ความแตกต่างของความหนาแน่นของอนุภาคมาแยกด้วยหลักการหมุนเหวี่ยง ซึ่งการหมุนเหวี่ยงนั้นจะส่งผลให้เกิดการชนกันระหว่างโมเลกุลทำให้โมเลกุลที่เกาะกันอยู่หลุดออกจากกันได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาการแยกด้วยเครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยงเช่นไฮโดรไซโคลอนต้องใช้จำนวนถึง 36 ตัว จึงจะสามารถแยกได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ และมีข้อเสียคือต้องใช้พื้นที่มากและใช้พลังงานสูง (Jones และ Jodan, 1978)

ส่วนการแยกโดยใช้ตัวกรองด้วยวิธีการกรองแบบไหลผ่านตัวกรองที่มีตัวกวาดผิวหน้าด้วยใบกวาด จะมีการสะสมของอนุภาคบนผิวหน้าของตัวกรองที่เรียกว่าเค้กทำให้ประสิทธิภาพของการกรองลดลงและไม่สามารถดำเนินการแบบต่อเนื่องได้ (วาริ จารุพัฒนายนต์, 2543) การใช้การกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้นั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของฟลักซ์ของการกรอง เพราะการกรองวิธีนี้จะมีการไหลแบบหมุนวนลักษณะคล้ายวงแหวนรอบผิวหน้าตัวกรอง ซึ่งการเกิดการหมุนวนนี้จะส่งผลให้เกิดแรงเฉือนที่บริเวณผิวหน้าของตัวกรองทำให้อนุภาคที่เกาะอยู่ที่ผิวหน้าตัวกรองมีจำนวนลดลง ฟลักซ์ของการกรองที่ได้จึงมีค่าสูงกว่าการกรองแบบไหลผ่านตัวกรอง การหมุนวนนี้ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงส่งผลให้อนุภาคที่เกาะติดกันแยกออกจากกันด้วยและสามารถดำเนินการแบบต่อเนื่องได้ (กิติพงษ์ รัตนภรณ์, 2544)

การใช้เอนไซม์กลุ่มโปรติเอสสามารถตัดพันธะระหว่างโปรตีนกับโปรตีนด้วยกันทำให้โปรตีนมีขนาดเล็กลงและทำให้โปรตีนบางส่วนหลุดจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ และเมื่อเอนไซม์ทำปฏิกิริยากับโปรตีนตรงส่วนที่เป็นผิวสัมผัสอยู่กับโพลีแซคคาไรด์ จะทำให้อนุภาคทั้ง 2 หลุดออกจากกันได้ ส่งผลให้อนุภาคโปรตีนมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ทำให้สามารถที่จะแบ่งช่วงขนาดระหว่างอนุภาคโพลีแซคคาไรด์และขนาดอนุภาคโปรตีน (นิภาวดี แสงยนต์, 2545) เมื่อคัดเลือกตัวกรองที่มีขนาดเหมาะสมมีรูที่ใหญ่กว่าขนาดอนุภาคโปรตีน โดยที่ขนาดของรูตัวกรองเล็กกว่าอนุภาคส่วนใหญ่ของโพลีแซคคาไรด์ ก็จะทำให้สามารถแยกอนุภาคทั้งสองได้ ทำให้ได้โพลีแซคคาไรด์ที่มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น โดยอาศัยข้อดีของเอนไซม์เพื่อย่อยโปรตีนให้มีขนาดเล็กกว่าอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ และใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันร่วมกับคอนเซนเตรชันเพื่อแยกโปรตีนและเอนไซม์ที่ใช้แล้วออกจากสารแขวนลอยให้มากที่สุด

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการแยกโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันร่วมกับคอนเซนเตรชันโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

1.2.1 ใช้สารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ผ่านการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์โปรติเอสแล้ว

1.2.2 ศึกษารูปแบบกระบวนการกรองในการแยกสารแขวนลอยโดยมีรูปแบบที่ศึกษา คือ

1.2.2.1 ศึกษาผลของการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน

1.2.2.2 ศึกษาผลของการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชัน

1.2.2.3 ศึกษาผลของการใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันร่วมกับเทคนิคคอนเซนเตรชัน

1.2.3 แปรผลการศึกษาที่ได้ในรูปของร้อยละการกำจัดโปรตีน ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ และฟลักซ์ของการกรอง

1.2.4 ศึกษาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการแยกโปรตีนออกจากผนังในเมล็ดมะขามในรูปแบบการใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้

1.3.2 เป็นการนำสิ่งเหลือจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกระบวนการอุตสาหกรรมการเกษตร มาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่า



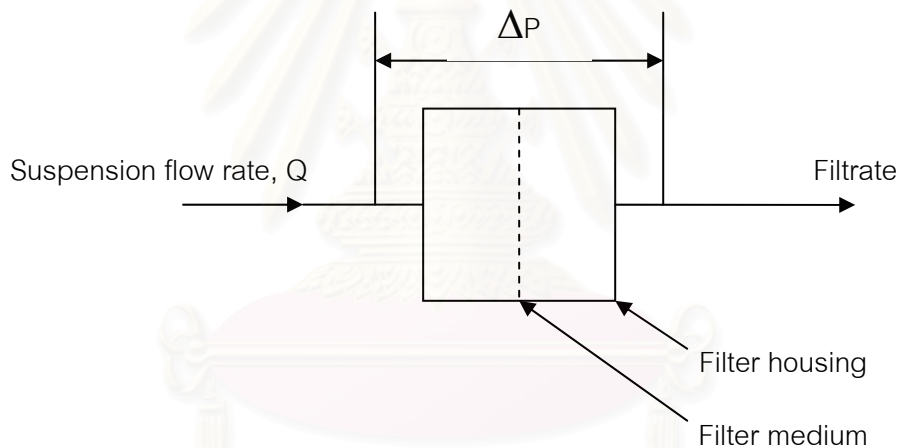
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี และ ตรวจสอบเอกสาร

2.1 การกรอง (Filtration)

การกรอง คือการแยกอนุภาคที่เป็นของแข็งซึ่งแขวนลอยอยู่ในของเหลว ให้ออกจากของเหลวด้วยแรงขับ (Driving force, ΔP) โดยผ่านแผ่นกรองหรือเยื่อแผ่นซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุน อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนไว้บนแผ่นกรอง ซึ่งอนุภาคที่ถูกกักไว้บนแผ่นกรองเรียกว่าเค้ก (cake) และสำหรับของเหลวที่ไหลผ่านแผ่นกรองเรียกฟิลเตรท (Filtrate) ดังรูปที่ 2.1 (Svarovsky, 1990)



รูปที่ 2.1 ระบบการกรอง

2.1.1 ประเภทของการกรอง

ลักษณะของการกรองสามารถแบ่งได้ตามทิศทางการป้อนของสารละลายหรือสารแขวนลอย (Suspension) ซึ่งเราจะเรียกว่าสายป้อนได้ 2 แบบ

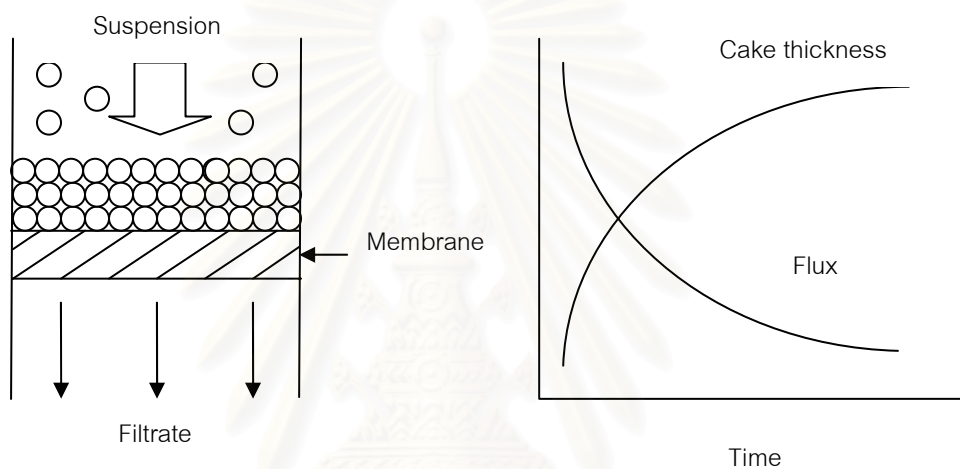
2.1.1.1 การกรองแบบไหลผ่านตัวกรอง (dead – end filtration)

การกรองแบบไหลผ่านตัวกรอง เป็นการป้อนสายป้อนในทิศทางที่ตั้งฉากกับเยื่อแผ่นทำให้เกิดเค้กที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่น เมื่อดำเนินกระบวนการกรองไปเรื่อย ๆ จะเกิดการสะสมของเค้ก ทำให้มีความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น และทำให้ฟลักซ์มีค่าลดลง ดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นเมื่อกระบวนการกรองดำเนินไปได้ระยะเวลาหนึ่งจึงต้องหยุดการกรองเพื่อกำจัดชั้นเค้กที่เกิดขึ้น

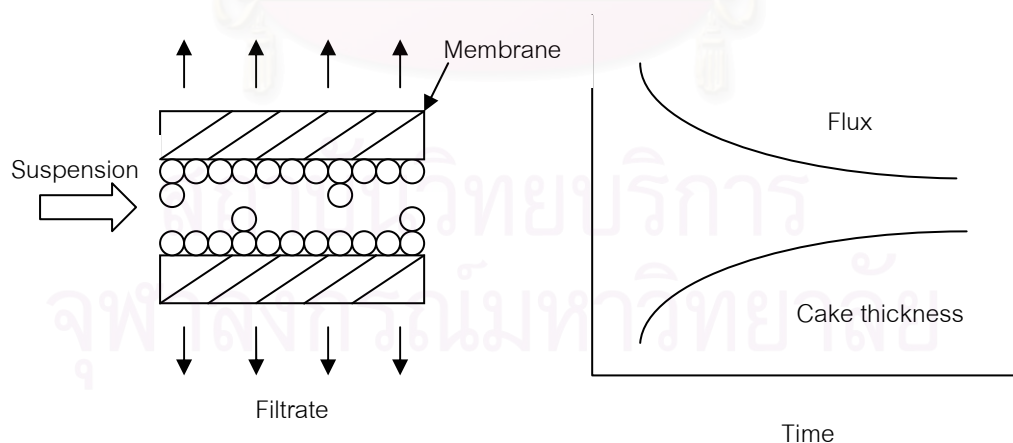
โดยทั่วไปการใช้การกรองชนิดนี้นิยมใช้กับสารละลายที่มีขนาดเล็กและมีความเข้มข้นต่ำ และดำเนินงานแบบไม่ต่อเนื่อง

2.1.1.2 การกรองแบบไหลขนานตัวกรอง (crossflow หรือ tangential flow)

การกรองแบบไหลขนานตัวกรอง เป็นการป้อนสายป้อนในทิศทางขนานกับเยื่อแผ่น หรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของฟิลเตรท การไหลแบบขวางมีผลให้เกิดแรงเฉือนที่บริเวณผิวหน้าของเยื่อแผ่น ทำให้ของไหลที่เข้ามาใหม่กวาดเค้กที่ผิวหน้าของตัวกรองดังนั้นจึงลดการเกิดการสะสมของเค้กบนตัวกรอง เกิดชั้นเค้กเพียงบาง ๆ และมีความหนาคงที่ ทำให้ฟิลเตรทฟลักซ์มีค่าลดลงและคงที่ดังนั้นสามารถที่จะดำเนินการแบบต่อเนื่องได้ ดังรูปที่ 2.3



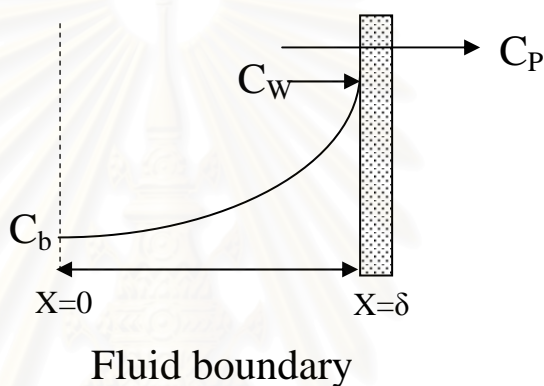
รูปที่ 2.2 การกรองแบบไหลผ่านตัวกรอง



รูปที่ 2.3 การกรองแบบไหลขนานตัวกรอง

การแยกสารโดยใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชันเมื่อใช้งานไปได้ระยะหนึ่งจะพบปัญหา ค่าฟลักซ์ที่ลดลงเนื่องจากการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น และภายในรูพรุน โดยลักษณะ การอุดตันของเยื่อแผ่นสามารถอธิบายได้จากแบบจำลองคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน (Concentration polarization)

คอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันเกิดขึ้นเมื่อตัวถูกละลายหรืออนุภาคขนาดเล็กต่างถูกพาสู่ เยื่อแผ่น ตัวถูกละลายหรืออนุภาคขนาดเล็กที่ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ จะถูกกักกันและสะสมอยู่ ที่ผิวเยื่อแผ่น ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยที่ผิวเยื่อแผ่น (C_w) จะมีค่าสูงกว่าความเข้มข้น ของอนุภาคที่แขวนลอยในสายป้อน (C_b)



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน

สมการดุลมวลของตัวถูกละลายที่สภาวะการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันเขียนได้ดังนี้

$$\left[\begin{array}{c} \text{อัตราการพาสู่เยื่อแผ่นของ} \\ \text{ตัวถูกละลาย} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{อัตราการแพร่กลับ} \\ \text{ของตัวถูกละลาย} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{อัตราการผ่านเยื่อแผ่นของ} \\ \text{ตัวถูกละลาย} \end{array} \right]$$

$$J_V C - D \frac{dC}{dX} = J_V C_P \quad (2.1)$$

อินทิเกรตโดยใช้สภาวะขอบเขตคือ ที่ $X = 0, C = C_b$ และที่ $X = \delta, C = C_w$ จะได้

$$J_V = \frac{D}{\delta} \ln \frac{C_w - C_P}{C_b - C_P} \quad (2.2)$$

หรือ
$$J_v = k \ln \frac{C_w - C_p}{C_b - C_p} \quad (2.3)$$

ถ้า $C_p = 0$, ความเข้มข้นที่ผิวเยื่อแผ่น $C_w = C_b \exp(J_v/k)$ (2.4)

เมื่อ C, C_b, C_w, C_p = ความเข้มข้นของสารละลาย, ในสายป้อน, ที่ผิวเยื่อแผ่น และในเพอร์มิเททตามลำดับ (กรัมต่อลิตร)

J_v = เพอมิเอชันฟลักซ์ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง)

X = ระยะห่างจากชั้นขอบเขต (เมตร)

k = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของอนุภาค (เมตรต่อชั่วโมง)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ (ตารางเมตรต่อชั่วโมง)

δ = ความหนาของชั้นขอบเขต (เมตร)

การเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชันทำให้ฟลักซ์ลดลงค่าการกักกันตัวถูกละลายจะเปลี่ยนแปลงและส่งผลให้เกิดสเกล (fouling) ทำให้ประสิทธิภาพในการกรองลดลง ซึ่งแบบจำลองนี้จะใช้อธิบายฟลักซ์ที่สภาวะคงตัว

2.1.2 ข้อดีของกระบวนการกรอง

กระบวนการกรองมีข้อได้เปรียบกระบวนการแยกอื่นๆ คือ

2.1.2.1 เป็นการแยกตามขนาดของอนุภาค (หรือรูปร่าง หรือชนิดของประจุ) ซึ่งทำให้สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิปกติ จึงเหมาะสมสำหรับการแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้

2.1.2.2 กระบวนการกรองส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำ เนื่องจากสามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะ

2.1.2.3 สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ง่าย

2.1.2.4 สามารถดำเนินการแบบไม่ต่อเนื่อง หรือแบบต่อเนื่อง ตลอดจนถึงติดตั้งระบบควบคุมการปฏิบัติการไม่ยาก

2.1.2.5 เป็นกระบวนการที่มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่ เพราะอุปกรณ์การกรองมีการออกแบบให้มีพื้นที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของการกรองสูง

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการกรอง

2.1.3.1 ความดัน ความดันในระบบจะแปรผันตรงกับค่าฟลักซ์ของสารแขวนลอยที่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ ซึ่งค่าฟลักซ์นี้จะบอกถึงประสิทธิภาพการกรองโดยแสดงในรูปปริมาตรของเพอร์มิเอทที่ผ่านรูพรุนของเยื่อแผ่นดังสมการที่ 2.5 จากสมการเมื่อเพิ่มความดันฟลักซ์ของการกรองเพิ่มสูงขึ้นด้วยจนถึงจุด ๆ หนึ่ง ความดันจะไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์เนื่องจากเกิดความต้านทานของอนุภาคที่สะสมที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่น

$$J_v = \frac{\Delta P T M}{\mu R_T} \quad (2.5)$$

2.1.3.2 ความหนืดของของไหล เมื่อความหนืดของของไหลมีค่าสูงทำให้อัตราการกรองลดลง ดังนั้นในกระบวนการกรองที่มีความหนืดสูงจึงควรลดความหนืดก่อนทำการกรอง อาจทำได้โดยการเจือจางหรือการเพิ่มอุณหภูมิให้กับของไหลนั้น เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดมีค่าลดลง

2.1.3.3 ความเร็วในกระแสนวนกลับ โดยค่า K สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลจะเพิ่มขึ้นและแปรผันตรงกับค่าความเร็วในกระแสนวนกลับซึ่งอยู่ในเทอมของเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ดังสมการที่ 2.6

$$Sh = \frac{Kd}{D_v} = A Re^B Sc^{1/3} \quad (2.6)$$

เมื่อเพิ่มความเร็วในกระแสนวนกลับจะทำให้ความหนาของชั้นขอบเขตลดลง ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลจะมีค่าเพิ่มขึ้น

2.1.3.4 ความหนาของเค้ก เมื่อดำเนินการกรองทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าของตัวกรองทำให้มีความหนามากขึ้นส่งผลให้อัตราการกรองมีค่าลดลง

2.1.3.5 ชนิดของตัวกรอง มีผลต่อความต้านทานของตัวกรอง ตัวกรองที่มีขนาดของรูพรุนขนาดเล็กจะมีค่าความต้านทานของตัวกรองที่สูงกว่าตัวกรองที่มีรูขนาดใหญ่ แต่ประสิทธิภาพในการแยกก็สูงขึ้นด้วย

2.1.3.6 ขนาดของอนุภาค อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะทำให้อัตราการกรองลดลง เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กอาจไปอุดตันภายในรูพรุนของตัวกรอง

2.1.3.7 ความสามารถในการกักเก็บของเยื่อแผ่น (รีเจคชัน, Rejection, σ) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการกักเก็บสารของเยื่อแผ่นโดยสามารถแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์รีเจคชันดังสมการที่ 2.7

$$R = \sigma \times 100 \quad (2.7)$$

$$\sigma = 1 - (C_p / C_B) \quad (2.8)$$

ถ้าเยื่อแผ่นมีความสามารถในการกักเก็บอย่างสมบูรณ์ค่า σ จะเท่ากับ 1

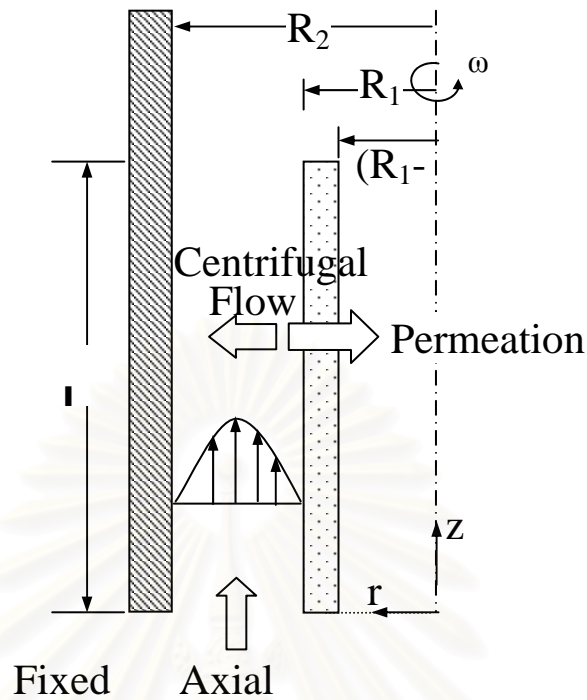
2.2 การกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ (Rotating filtration)

เมื่อของไหลไหลเข้าสู่ปริมาตรวงแหวนระหว่างทรงกระบอกสองชั้น ทรงกระบอกชั้นในมีการหมุนและทรงกระบอกชั้นนอกหยุดนิ่งกับที่ โดยทรงกระบอกชั้นในมีตัวกรองห่อหุ้มอยู่ เมื่อทรงกระบอกชั้นในมีการหมุนจะเกิดการไหลของของไหล 3 ทิศทาง ดังรูปที่ การไหลในแนวแกน (Axial flow) การไหลในทิศทางการหมุนเหวี่ยง (Centrifugal flow) และการไหลผ่านตัวกรองในแนวรัศมี (Permeation flow) ดังรูปที่ 2.5 ลักษณะการไหลของของไหลระหว่างทรงกระบอกชั้นในและชั้นนอกเป็นลักษณะการไหลแบบไม่คงที่ เนื่องจากมีแรงหมุนเหวี่ยงที่เกิดจากการหมุนของทรงกระบอกชั้นในทำให้ของไหลบริเวณที่อยู่ใกล้ผนังของทรงกระบอกชั้นในมีแรงหมุนเหวี่ยงสูง จึงเคลื่อนที่ออกจากผนังของทรงกระบอกชั้นในไปยังทรงกระบอกชั้นนอกที่หยุดนิ่ง เกิดเป็นการไหลลักษณะไม่คงที่เป็นวงแหวนรอบๆผนังของทรงกระบอกชั้นใน เรียกการไหลในลักษณะนี้ว่าการหมุนวนของเทย์เลอร์ (Taylor vortice) การกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ จะเกิดการหมุนวนของเทย์เลอร์บริเวณผิวหน้าของตัวกรอง ทำให้เกิดแรงเฉือนตลอดผิวหน้าของตัวกรอง ทำให้อนุภาคที่เกาะบริเวณผิวหน้าตัวกรองลดลง ดังนั้นฟิลเตรตฟลักซ์จึงมีค่าสูงขึ้น (Leos, 1996)

การกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุน นี้เป็นการประยุกต์จากการกรองแบบปกติเพื่อเพิ่มอัตราการไหลผ่านตัวกรอง โดยจะใช้แรงที่เกิดจากการไหลของของไหลด้วยการเพิ่มความเร็วยของสายปั่นทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนที่ผิวหน้าของตัวกรองเกิดแรงเฉือนที่ผิวหน้าตัวกรองทำให้เค้กที่อยู่ผิวหน้าตัวกรองหลุดออก

จากลักษณะการหมุนวนของเทย์เลอร์จะกำหนดลักษณะของการไหลได้จากค่าเทเลอร์นัมเบอร์ (Taylor number)

$$Ta = \frac{2\pi n R_1 d}{\nu} \cdot \frac{d}{R_1}^{0.5} \quad (2.9)$$



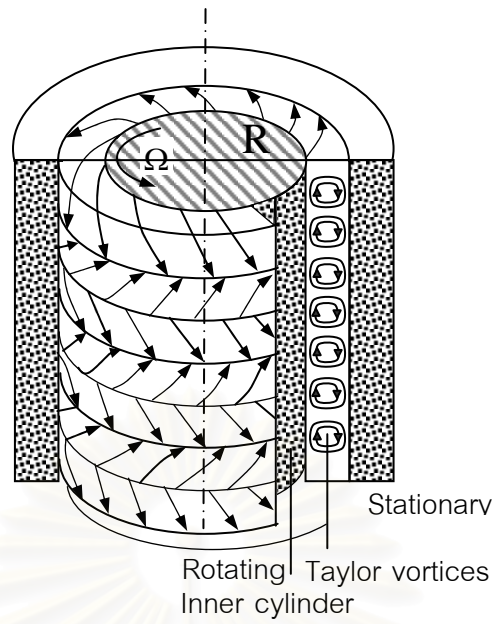
รูปที่ 2.5 ทิศทางการไหลของของไหลในกระบวนการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดตัวกรองหมุนได้ (Belfort et.al., 1993)

รูปแบบของการหมุนวนของเทย์เลอร์ สามารถแบ่งโดยใช้ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์เป็นตัวกำหนดได้ 5 ช่วง ดังนี้

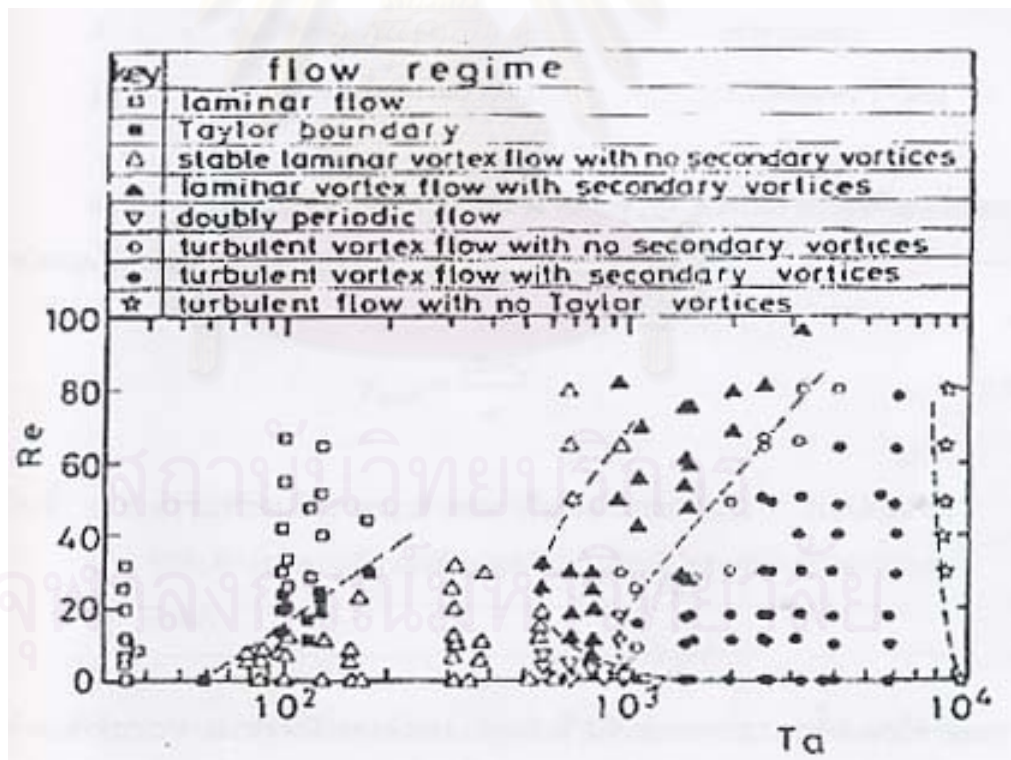
การไหลแบบราบเรียบ	(Laminar flow)	$Ta \leq Ta, crit$
การหมุนวนแบบราบเรียบ	(Laminar vortex flow)	$Ta, crit < Ta < 800$
ช่วงการเปลี่ยนแปลง	(Transition flow)	$800 < Ta < 2000$
การหมุนวนแบบปั่นป่วน	(Turbulent vortex flow)	$2000 < Ta < 10,000$
การไหลแบบปั่นป่วน	(Turbulent flow)	$Ta > 15,000$

$$\text{กำหนดให้} \quad Ta, crit = 41.3 + \frac{13.1d}{R_1} \quad (2.10)$$

เมื่อพิจารณาการไหลระหว่างทรงกระบอกชั้นนอกและตัวกรองที่หมุนได้ พบว่ามีการไหลเกิดในแนวแกนจากการป้อนของสายป้อนและการไหลที่เกิดจากการหมุนของตัวกรอง ดังนั้นค่าบอกลักษณะการไหลหรือ เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold number) จึงต้องพิจารณาทั้งสองลักษณะคือเรย์โนลด์นัมเบอร์ตามแนวแกน (Axial Reynold number, Re_a) และเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เกิดจากการหมุนของตัวกรอง (Tangential Reynold number, Re_t)



รูปที่ 2.6 การเกิดการหมุนวนแบบเทย์เลอร์ (Taylor vortice) (Hermert van, P.A., 1987)



รูปที่ 2.7 รูปแบบการหมุนวนของเทย์เลอร์ในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ในแนวแกน (Kataoka และคณะ, 1977)

$$\text{Re}_a = \frac{\rho d_h v}{\mu} \quad (2.11)$$

$$\text{Re}_t = \frac{\omega R_1 d_h \rho}{\mu} \quad (2.12)$$

จากลักษณะของการหมุนวนที่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของตัวกรอง ส่งผลให้เกิดแรงเฉือนจากการหมุนวนทำให้อุณหภูมิที่อยู่บริเวณผิวหน้าของตัวกรองลดลง โดยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นนี้สามารถหาได้

$$\tau = 0.23\sqrt{Ta} \left[\frac{\omega R_1}{R_2 R_1} \right] \quad (2.13)$$

จากสมการที่ 2.9 และ 2.13 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความเร็วรอบของตัวกรองจะส่งผลผลให้ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์สูงขึ้น และยังส่งผลต่อเนื่องไปถึงแรงเฉือนที่เกิดที่บริเวณผิวหน้าของตัวกรองด้วย แต่การเพิ่มความเร็วรอบให้มากขึ้นก็จะทำให้ลักษณะการหมุนวนเปลี่ยนไปด้วย ดังรูปที่ 2.7 ช่วงของค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ที่สัมพันธ์กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์จากการหมุนของตัวกรอง ตามการหมุนลักษณะต่าง ๆ

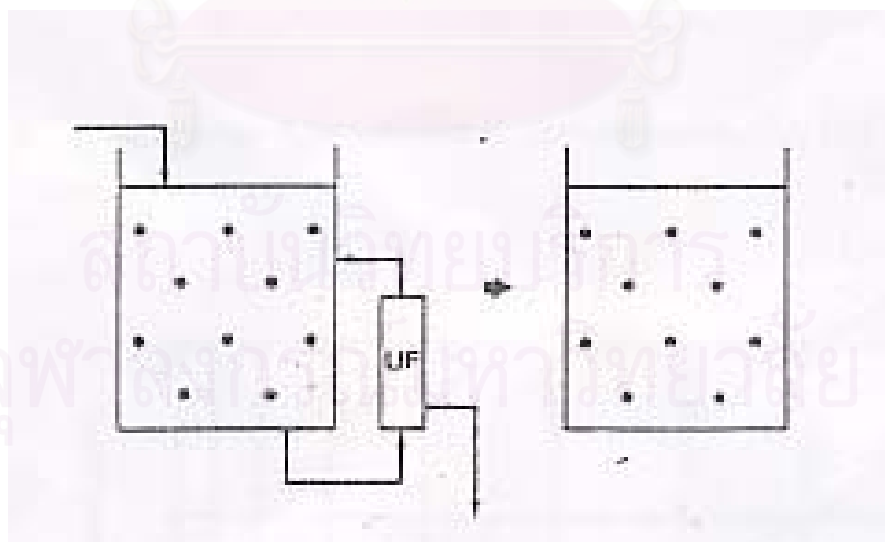
ปัจจัยที่มีผลต่อการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้

1. ความเร็วรอบในการหมุนเยื่อแผ่นจะแปรผันตรงกับค่าแรงเฉือนตามสมการ 2.13 ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการหมุนเยื่อแผ่นจะทำให้แรงเฉือนที่เกิดบริเวณผิวเยื่อแผ่นมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงสามารถควบคุมการสร้างเจลบนผิวเยื่อแผ่นได้เป็นอย่างดี ทำให้ค่าฟลักซ์ที่ได้มีค่าสูงขึ้น
2. ช่องว่างระหว่างผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านในจะแปรผกผันกับแรงเฉือนที่เกิดบริเวณผิวเยื่อแผ่นตามสมการ 2.10 เมื่อช่องว่างระหว่างผนังเยื่อแผ่นกับผนังท่อด้านในลดลงจะทำให้แรงเฉือนบริเวณผิวเยื่อแผ่นมีค่าสูงขึ้น เมื่อแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นก็จะทำให้อุณหภูมิที่จุดตันบริเวณผิวเยื่อแผ่นสามารถหลุดกลับเข้าไปในสารละลายได้มากขึ้น ดังนั้นความต้านทานการกรองของเยื่อแผ่นจึงมีค่าลดลง ฟลักซ์ที่ได้จึงมีค่าเพิ่มขึ้น
3. อัตราการบ่อนสารจะมีผลต่อลักษณะการไหลของสารละลายในช่องว่างระหว่างผนังท่อด้านในกับผนังเยื่อแผ่นด้านนอก โดยจะอยู่ในเทอมของเรย์โนลด์นัมเบอร์ ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่อยู่ในช่วง 0-100 จะมีความสัมพันธ์กับค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เมื่อเทย์

เทอร์นัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ลักษณะการหมุนวนของเทย์เลอร์ปั่นป่วน ดังนั้นจะสามารถกวาดอนุภาคที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นได้ดี แต่เมื่อเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่ามากกว่า 100 และเทย์เลอร์นัมเบอร์มีค่ามากกว่า 2000 จะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) แต่จะไม่เกิดการหมุนวนของเทย์เลอร์ขึ้น ดังนั้นอนุภาคจะถูกกวาดออกจากผิวหน้าเยื่อแผ่นได้น้อยกว่าการไหลที่เกิดการหมุนวนของเทย์เลอร์

2.3 กระบวนการไดอะฟิลเตรชัน (Diafiltration) (Leos, 1996)

กระบวนการไดอะฟิลเตรชันเป็นเทคนิคหนึ่งของการกรอง ที่ขณะดำเนินการมีการเติมน้ำหรือสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer) เข้าไปในสารละลายป้อนเพื่อทดแทนเพอมีเอทที่ถูกแยกออกไปโดยอาจเติมเป็นช่วง ๆ หรือเติมอย่างต่อเนื่อง ถ้าสารป้อนกำหนดมีปริมาตรเริ่มต้น V_0 และประกอบด้วยสารอนุภาคขนาดใหญ่ (ที่ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้) และสารอนุภาคขนาดเล็กที่ผ่านเยื่อแผ่นได้ เมื่อเติมน้ำลงไปจะทำให้ความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่คงที่ และพาสารอนุภาคขนาดเล็กที่กระจายตัวในน้ำสามารถผ่านเยื่อแผ่นได้มากขึ้น ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของการใช้ไดอะฟิลเตรชันก็เพื่อกำจัดสารอนุภาคขนาดเล็กออกจากสารอนุภาคขนาดใหญ่ให้ได้มากที่สุด โดยความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่ในถังป้อนยังคงเท่าเดิม เพราะโดยปกติจะเติมน้ำเท่า ๆ กับเพอมีเอทที่ถูกแยกออก หรือถ้าเป็นการทำแบบต่อเนื่องหมายความว่าอัตราการป้อนน้ำเท่ากับอัตราการไหลของเพอมีเอทดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การดำเนินการแบบไดอะฟิลเตรชัน

พิจารณาสมมูลมวลของอนุภาคขนาดเล็ก

การสะสมของอนุภาคขนาดเล็ก = อัตราเข้าของอนุภาคขนาดเล็ก - อัตราออกของอนุภาคขนาดเล็ก
(2.14)

จากสมการที่ (2.14) จะได้ว่า

$$V_0 \{dC_s/dt\} = F_{in} C_{s,in} - F_{out} C_s \quad (2.15)$$

ในระบบดำเนินการสารละลายหรือน้ำที่เติมจะไม่มีอนุภาคขนาดเล็กอยู่ (ความเข้มข้น $C_{s,in} = 0$)

อินทิเกรตสมการที่ (2.15) โดย

$$\text{ที่เวลา } t = t_1, C_s = C_{s1}$$

$$\text{ที่เวลา } t = t_2, C_s = C_{s2}$$

เมื่อพิจารณาที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$) ความเข้มข้นเริ่มต้น ($C_s = C_{s0}$)

และที่เวลาใด ๆ ($t = t$) ความเข้มข้นที่เวลาใด ๆ (C_s)

จะได้

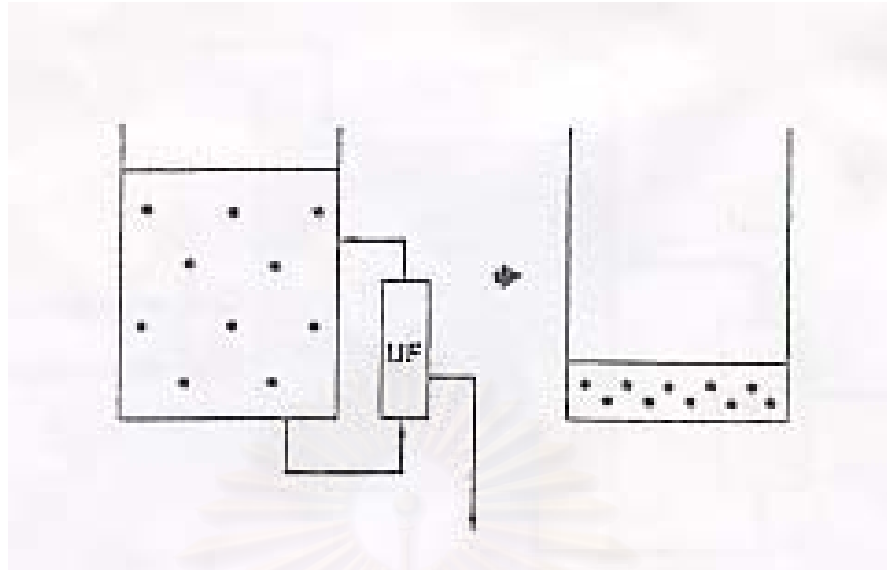
$$C_s = C_{s0} \exp(-V_D / V_0) \quad (2.16)$$

จากสมการที่ (2.16) เราจะได้ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นอนุภาคขนาดเล็กกับปริมาตรของน้ำที่เติม เมื่อเราเติมน้ำลงไป ในอัตราเท่ากับปริมาตรน้ำที่ออกจะทำให้ความเข้มข้นของอนุภาคขนาดเล็กมีค่าลดลง

ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ง

2.4 กระบวนการคอนเซนเตรชัน (Concentration)

เทคนิคการทำคอนเซนเตรชันหรือการทำให้เข้มข้น โดยทั่วไปกระบวนการทำให้เข้มข้นนี้จะใช้ในการทำให้สารที่มีอนุภาคขนาดใหญ่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ด้วยการผ่านไปในตัวกลางแยกหรือตัวกรอง อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูของตัวกรองและของเหลวบางส่วนจะถูกแยกออก ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และของเหลวที่เหลือจะถูกส่งกลับไปในถังพักก็จะมีมีความเข้มข้นของอนุภาคใหญ่ที่สูงขึ้นดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การดำเนินงานแบบคอนเซนเตรชั่น
พิจารณาสมดุลของปริมาณของสารละลาย

$$V_F = V_0 - V_P \quad (2.17)$$

พิจารณาสมดุลของอนุภาคใหญ่ในสารละลาย

$$V_F C_F = V_0 C_0 - V_P C_P \quad (2.18)$$

จากการกรอเรากำหนดให้อนุภาคขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านรูของตัวกรองได้เพราะฉะนั้นความเข้มข้นของอนุภาคใหญ่ในเพอมีเอทมีค่าเท่ากับศูนย์ ($C_P = 0$) จากสมการที่ 2.18 จะได้

$$C_F = \{V_0 / V_F\} C_0 \quad (2.19)$$

กำหนดให้

$$CF = \text{concentration factor}$$

$$CF = V_0 / V_F$$

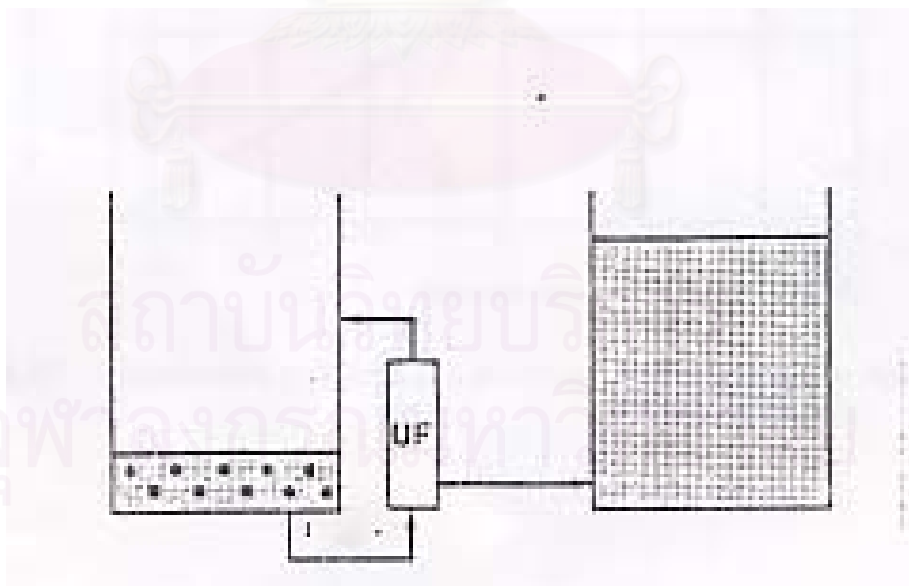
$$C_F = C_0 (CF)^{-(1-\sigma)} \quad (2.20)$$

จากสมการที่ (2.20) จะสามารถหาความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายได้เมื่อทราบปริมาณสารละลายที่ออกไป
ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ง

2.5 กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Purification)

กระบวนการเพียวริฟิเคชัน เป็นการทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น โดยอาศัยเทคนิคที่ประยุกต์รวมระหว่างเทคนิคไดอะฟิลเตรชันและเทคนิคคอนเซนเตรชัน เพื่อใช้ในกระบวนการแยกสารอนุภาคขนาดเล็กออกจากอนุภาคขนาดใหญ่และทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเข้มข้นมากขึ้นดังรูปที่ 2.10 การใช้เทคนิคทำให้บริสุทธิ์นั้นสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาคือ การดำเนินการระหว่างการทำไดอะฟิลเตรชันและคอนเซนเตรชัน เช่นจะทำไดอะฟิลเตรชันที่ปริมาตรของสารละลายแล้วจึงทำคอนเซนเตรชันเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารแขวนลอย หรือต้องทำคอนเซนเตรชันให้เข้มข้นเท่าใดแล้วจึงทำไดอะฟิลเตรชัน ไม่ว่าจะเลือกทำกระบวนการใดก่อนหรือหลัง ก็จะทำให้ความเข้มข้นสุดท้ายของสารอนุภาคขนาดใหญ่และสารอนุภาคขนาดเล็กในสายรีเทนเททเท่ากัน ทั้งสองวิธีจะให้ค่าฟลักซ์ที่ต่างกัน การเลือกทำไดอะฟิลเตรชันที่ความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่มีค่าต่ำจะให้ฟลักซ์ของการกรองที่มีค่าสูง แต่ในกระบวนการต้องใช้ปริมาตรของสารที่เติมมากตามไปด้วย การทำไดอะฟิลเตรชันที่ความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่สูงจะใช้ปริมาตรของสารละลายที่เติมน้อย แต่จะให้ฟลักซ์ของการกรองที่มีค่าต่ำ ดังนั้นการเลือกภาวะที่เหมาะสมของการทำไดอะฟิลเตรชันจึงอยู่ระหว่างความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่ที่เริ่มต้นกับความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่สุดท้าย เพื่อที่จะให้เวลาของการดำเนินงานมีค่าน้อย

คู่มือการคำนวณในภาคผนวก ง



รูปที่ 2.10 การดำเนินงานแบบเพียวริฟิเคชัน

2.6 โปรตีน (Protein)

โปรตีน (มนตรี จุฬาวัดมนพล, 2542) เป็นสารชีวโมเลกุลที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ภายในโมเลกุลประกอบด้วย คาร์บอน , ออกซิเจน , ไฮโดรเจน , ไนโตรเจน และธาตุชนิดอื่น มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 2,000-3,000 ถึงหลายล้าน โครงสร้างของโมเลกุลโปรตีนประกอบด้วยหน่วยของกรดอะมิโนต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ สามารถแบ่งประเภทโปรตีนออกได้ตามสมบัติต่าง ๆ

1. สมบัติการละลาย
2. องค์ประกอบทางเคมี
3. หน้าที่ทางชีวภาพ
4. โครงสร้างของโปรตีน

การแยกโปรตีนจะอาศัยสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของโปรตีนเป็นหลักซึ่งจะแบ่งได้ 3 วิธีคือ

1. สมบัติทางประจุ
2. สมบัติในการละลาย
3. ขนาดของโมเลกุล

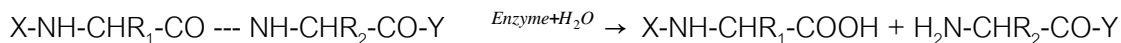
2.6.1 เอนไซม์ (Enzyme)

เอนไซม์ (ปราณี อานเป็รื่อง, 2543) คือกลุ่มโปรตีนที่มีหน้าที่แตกต่างจากโปรตีนและชีวโมเลกุลทั่วไป โดยมีความสามารถเร่งปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ภายใต้ภาวะไม่รุนแรง รวมถึงมีความจำเพาะต่อสับสเตรตสูงมากคือ เอนไซม์ที่มีหน้าที่ย่อยโปรตีนจะไม่สลายพันธะไกลโคซิดของคาร์โบไฮเดรต หรือ เอสเทอร์ในลิพิด และจะไม่ย่อยสลายพันธะเปปไทด์ของโปรตีนทั้งหมด ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ก็มีการใช้เอนไซม์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของสารต่าง ๆ เช่น อะไมเลส ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล หรือเดกซ์ทริน เซลลูเลส ใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทผงซักฟอกเพื่อขยายเส้นใยของผ้าทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกได้ง่ายขึ้น โปรติเอสใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภทเช่น ในผลิตภัณฑ์ขนมอบเพื่อเพิ่มความนุ่มในแป้งนวด ในเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองทำให้ใส หรือในผงซักฟอกเพื่อละลายสิ่งสกปรกที่เป็นโปรตีน เป็นต้น

2.6.2 เอนไซม์ โปรติเอส (Protease)

โปรติเอส (ปราณี อานเป็รื่อง, 2543) เป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยโปรตีนซึ่งสำคัญในระบบย่อยอาหาร เช่น เปปซิน ทริปซิน ไคโมทริปซิน เปปติเดส และในอุตสาหกรรมก็มี

การใช้โปรติเอสเพื่อช่วยในการย่อยโปรตีน เช่นในอุตสาหกรรมอาหารจำพวกเนยแข็ง เบียร์ ัณูชาติ สารปรุงแต่งรส หรือในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ก็มีการใช้โปรติเอสเช่นอุตสาหกรรมฟอกหนัง ผงซักฟอก อาหารสัตว์ เป็นต้น โดยลักษณะที่สำคัญของโปรติเอสคือจะย่อยสลายพันธะเปปไทด์ (-CO-NH) ในน้ำดังปฏิกิริยารวมดังนี้



ประเภทของโปรติเอส สามารถแบ่งได้ 4 กลุ่มตามกลไกการทำงาน

2.6.2.1 โปรติเอสเซรีน (The serine protease) หรือ อัลคาไลโปรติเอส (pH 7-11) จะมีการทำงานแบบเอนโดเปปติเดสทั้งหมด และจะถูกยับยั้งปฏิกิริยาโดย DFP (Diisopropylphospho-fluoridate)

2.6.2.2 โปรติเอสซัลไฟดริล (The sulfhydryl protease) หรือ นิวทรอลโปรติเอส (pH 6-7.5) ส่วนใหญ่จะสกัดได้จากพืชชั้นสูงเช่นมะละกอ สับปะรด จะถูกยับยั้งโดย ซัลไฟดริลเอเจนท์

2.6.2.3 โปรติเอสมีโลหะ (Metal containing protease) คือโปรติเอสที่มีอิออนของโลหะอยู่ในกลุ่มเอนไซม์หรือมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการย่อยสลาย (co-factor) ส่วนใหญ่จะทำงานแบบเอกโซเปปติเดส เป็นนิวทรอลโปรติเอสอีกชนิดหนึ่ง (pH 6-7.5) จะถูกยับยั้งการทำงานโดยสารจับอิออนโลหะ (Meta; chrlating agent) เช่น EDTA เป็นต้น

2.6.2.4 โปรติเอสกรด (The acid protease) เป็นกลุ่มของโปรติเอสที่มีปฏิกิริยาการย่อยสลายในช่วงพีเอชของกรด (pH < 7) โดยมีช่วงพีเอชที่เหมาะสมคือ พีเอช 2-4

2.7 ตรวจเอกสาร

2.7.1 มะขามและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มะขาม (Tamarind) (ประสิทธิ์ ชูติชูเดช, 2538) เป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่ง มีชื่อสามัญ Tamarind สำหรับชื่อทางวิทยาศาสตร์เรียก *Tamarindus indica* Linn. อยู่ในวงศ์ Caesalpiniaceae ซึ่งในประเทศไทยมีชื่อเรียกตามท้องถิ่นไม่เหมือนกัน มะขามจะเป็นชื่อที่ใช้เรียกโดยทั่วไป ทางภาคเหนือเรียกหลายชื่อเช่น หมากแกง, ส่ามอเกล, มอดเล หรือทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณนครราชสีมาเรียก ตะลูป ที่สุรินทร์เรียกอำเปยล ซึ่งเป็นภาษาเขมร การใช้ประโยชน์จากมะขามนั้นเราสามารถนำส่วนต่าง ๆ ของมะขามมาใช้ได้แทบทุกส่วน เช่นใช้ในการรักษาโรค รากมะขามก็มีการนำใช้รักษาโรคเรื้อน เปลือกใช้ทำเป็นยาแก้ท้องร่วง ท้องเดินและโรคหืด ใบอ่อนและดอกใช้รักษาโรคไขข้ออักเสบ ผลใช้เป็นยาช่วยระบายและแก้หวัด หรือนำมาใช้ประโยชน์ทางอาหาร เช่นใบอ่อนและดอกจะใช้เพื่อให้มีรสเปรี้ยวแทนมะนาว ฝักใช้ทำอาหารประเภทน้ำพริก หรือนำลำต้นของมะขามมาทำเป็นเครื่องครัวเรื้อนและอุปกรณ์การเกษตรเพราะลักษณะเนื้อไม้มีความละเอียด และเหนียว ลักษณะของมะขามเป็นพืชยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่มีลักษณะทั่วไปดังนี้

ราก มะขามจะมีลักษณะรากเป็นระบบรากแก้ว มีการแผ่กระจายของรากดีและหยั่งลึกลงไป ในดินได้มากทำให้มีความทนต่อสภาวะแห้งแล้ง

ลำต้น โดยทั่วไปความสูงของลำต้นมะขามประมาณ 6-20 เมตร ทรงพุ่มแน่นและแผ่ออกเป็นวงกลม เปลือกลำต้นมีสีน้ำตาลอ่อนและจะเปลี่ยนเป็นสีเทาดำเมื่อมีอายุมากขึ้น เปลือกลำต้นมีลักษณะหนาขรุขระ มีริ้วรอยมากและแตกเป็นร่องเป็นสะเก็ดเล็ก ๆ ตามแนวทาง ลำต้นแตกกิ่งมากมายไม่มีหนาม กิ่งก้านเหนียวและหักยาก ส่วนปลายกิ่งจะห้อยย้อยลงมา

ใบ ลักษณะใบของมะขามคล้ายขนนกเป็นใบประกอบประเภท Pinnately compound leaves ใบยาวประมาณ 7-15 เซนติเมตร มีใบย่อยประมาณ 10-15 คู่โดยเรียงตัวแบบ Even pinnate ใบย่อยมีลักษณะยาวปลายใบย่อยมนกลมหรือเว้าเล็กน้อย ก้านใบย่อยยาวเพียงเล็กน้อยเกือบจะไม่เห็น แผ่นใบเรียบไม่มีขน ด้านล่างของแผ่นใบมีสีเขียวซีดกว่าด้านบน ใบย่อยมีขนาดยาวประมาณ 1-2.4 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 4.5-9 มิลลิเมตร

ดอก ออกตามซอกใบ ออกเป็นช่อ ช่อดอกหนึ่ง ๆ ประกอบด้วยดอกย่อยประมาณ 10-15 ดอก ดอกย่อยแต่ละดอกมีขนาดเล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร ดอกมีกลีบหุ้มดอกอ่อนสีแดง 1 กลีบ กลีบเลี้ยงสีเหลืองมี 4 กลีบ ปลายกลีบเลี้ยงแหลมมีสีแดงเรื่อ ๆ ดอกแต่ละดอกมี

กลีบดอก 5 กลีบซึ่งมีขนาดไม่เท่ากัน โดย 2 กลีบล่างจะเล็กฝอยหายไปเกษตรตัวผู้มี 3 อันติดกันปรากฏ อยู่ใต้กลีบดอกครั้งใหม่ 1 อัน

ผล ออกเป็นฝักทรงกระบอกแบนเล็กน้อยฝักมะขามมีความยาวประมาณ 3-14 เซนติเมตร มีความกว้างประมาณ 2 เซนติเมตร ฝักอ่อนมีสีเขียวสดเนื้อในมีสีขาวนวล มีรสเปรี้ยวจัด ที่ผิวเปลือกมี นวลหรือละอองสีน้ำตาลทำให้เห็นเป็นสีเขียวปนน้ำตาล ซึ่งเมื่อฝักแก่เนื้อในจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองนวล และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม เปลือกฝักจะแห้งมีสีน้ำตาลอ่อนปนเทาเนื้อในฝักจะยุบตัวไม่ติดกับฝัก เนื้อหุ้มเมล็ดติดกันไปตลอดทั้งฝักมีเส้นใยยึดอยู่ 3 เส้นตามความยาวของฝักซึ่งเรียกว่า รก

เมล็ด ขณะเมื่อเมล็ดยังอ่อนอยู่เปลือกหุ้มเมล็ดจะมีสีขาวครั้นเมื่อเมล็ดจะเปลี่ยนเป็นสี น้ำตาลเข้มเป็นมันเงาเมื่อแกะเปลือกหุ้มเมล็ดออกจะพบเนื้อในเมล็ดซึ่งมีสีขาวมีเมื่อนำมาบดจะได้ผง มีลักษณะสีขาวเมื่อละลายน้ำจะได้ของเหลวที่มีความหนืดที่สูง

2.7.1.1 ลักษณะของมะขาม

สามารถแบ่งมะขามออกได้ 2 ลักษณะคือ แบ่งตามรสชาติและแบ่งตามลักษณะฝัก

2.7.1.1.1 แบ่งชนิดตามรสชาติ สามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ มะขามเปรี้ยว และมะขามหวาน

2.7.1.1.2 แบ่งชนิดตามลักษณะของฝัก สามารถแบ่งได้ 4 ชนิด

2.7.1.1.2.1 มะขามชนิดฝักดาบ ลักษณะฝักจะโค้งเล็กน้อยคล้ายรูปดาบ

2.7.1.1.2.2 มะขามชนิดฝักฆ้อง ลักษณะฝักจะโค้งจนเกือบจรดเป็นวงกลม

2.7.1.1.2.3 มะขามชนิดฝักดิ่ง ลักษณะฝักจะยาวไม่โค้งงอมาก

2.7.1.1.2.4 มะขามชนิดฝักกระดุก ลักษณะฝักจะโค้งเล็กน้อย และมีลักษณะเป็นปล้อง ๆ

เมล็ดมะขามในฝักมีปริมาณถึงร้อยละ 30 ของเมื่อเทียบกับปริมาณเนื้อมะขามทั้งหมด องค์ประกอบประกอบส่วนใหญ่ของเนื้อในเมล็ดมะขามเป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีปริมาณร้อยละ 65.1 – 72.2 ซึ่งเมล็ดมะขามนี้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผงเนื้อในเมล็ดมะขาม Tamarind kernel powder (TKP) , โพลีแซคคาไรด์ที่เรียกว่า เจลโลส (Jellose) องค์ประกอบต่าง ๆ จะมีปริมาณต่างกันเนื่องจาก ฤดูกาล สภาพดินที่ปลูก และพันธุ์ของมะขาม สำหรับโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบมาเป็นปัญหาที่เรา ต้องยกออกเพราะโปรตีนจะส่งผลให้สีของเจลโลสที่ได้มีสีเปลี่ยนไปและทำให้เกิดฟองในระหว่าง การละลาย

ส่วนประกอบของเมล็ดมะขามส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีถึงร้อยละ 50.0-57.0 และคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่เป็นสารที่มีสมบัติทำให้สารละลายมีความหนืด หรือเป็นสารให้ความหนืด (Mucilaginous material) และนอกจากนี้ยังมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 13.3-26.9 ซึ่งโปรตีนจำพวกอัลบูมิน และโกลบูลิน ส่วนไขมันที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในเมล็ดมะขามเป็นกรดไขมันอิ่มตัวประมาณร้อยละ 65-75 ของไขมันทั้งหมด เป็นกรดไขมันที่มีลักษณะโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาว ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) และกรดโอเลอิก (Oleic acid)

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดมะขาม เนื้อในเมล็ดมะขาม และเปลือกของเมล็ดมะขาม (Shankarachaya, 1998)

องค์ประกอบ	เมล็ดมะขามทั้งเมล็ด	เนื้อในเมล็ดมะขาม	เปลือกของเมล็ดมะขาม
ความชื้น (%)	9.4-11.3	11.4-22.7	11.0
โปรตีน (%)	13.3-26.9	15.0-20.9	-
ไขมัน/น้ำมัน (%)	4.5-16.2	3.9-8.0	-
เส้นใย (%)	7.4-8.8	2.5-8.2	21.6
คาร์โบไฮเดรต (%)	50.0-57.0	65.1-72.2	-
เถ้า (%)	1.60-4.2	2.4-4.2	7.4
ไนโตรเจนอิสระ (%)	59.0	-	-
ผลได้ของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม (%)	50.0-60.0	-	-
พลังงาน (แคลอรี/100 กรัม)	340.3	-	-
น้ำตาลทั้งหมด (%)	11.3-25.3	-	-
น้ำตาลรีดิวิซ์ (%)	7.43	-	-
แป้ง (%)	33.1	-	-
แทนนิน (%)	-	-	20.2

2.7.1.2 ผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

ผงเนื้อในเมล็ดมะขามมีลักษณะเป็นผงสีขาวนวล เนื้อละเอียด ใช้ในอุตสาหกรรมเส้นใยและสิ่งทอ อุตสาหกรรมอาหาร ในการผลิตผงเนื้อในเมล็ดมะขามประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือการแยกเปลือกเมล็ดมะขามและการบดเนื้อในเมล็ดมะขาม ผงเนื้อในเมล็ดมะขามเมื่อนำมาละลายน้ำพบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 มีปริมาณ ร้อยละ 2 – 4 สามารถละลายในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสได้ภายใน 2-3 นาที ส่วนนี้ไม่ใช่โพลีแซคคาไรด์ที่แท้จริงแต่เป็น polyuronide ซึ่งไม่มีคุณสมบัติในการเป็นเจลและมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโปรตีน

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่สามารถละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้องแต่ค่อนข้างช้า สามารถเกิดเจลได้ในส่วนนี้จะมียังมีองค์ประกอบเป็นโพลีแซคคาไรด์ประมาณร้อยละ 20-22

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่ไม่ละลายในน้ำเย็นแต่ละลายในน้ำเดือด มีคุณสมบัติในการเกิดเจล ส่วนนี้มีองค์ประกอบเป็นโพลีแซคคาไรด์ประมาณร้อยละ 30-34

ผงเนื้อในเมล็ดมะขามประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 16.95-20.12 ไขมันร้อยละ 6.03-7.39 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 46.82-48.39 เส้นใยร้อยละ 0.73-4.32 และเถ้าร้อยละ 2.45-3.28 โดยองค์ประกอบต่างๆจะมีปริมาณต่างกันในแต่ละการทดลอง เนื่องจากขึ้นอยู่กับฤดูกาล ดินฟ้าอากาศ และสภาพดินที่ปลูก (Somsiri, 1997) คาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบในผงเนื้อในเมล็ดมะขามเป็นสารพอลิแซคคาไรด์ชนิดไม่มีประจุ ประกอบด้วย กลูโคส (D-Glucose) ไชโลส (D-Xylose), กาแลกโทส (D-Galactose) และ อาราบิโนส (L-Arabinose) มีชื่อเฉพาะเรียกว่าเจลโลส (Jellose) มีสมบัติในการเกิดเจลและการทำให้สารละลายมีความเหนียวหนืด สามารถคงตัวในสารละลายที่มีพีเอชเป็นกรดและกลางได้ดี และมีสมบัติใกล้เคียงกับเพ็คติน (พวงเพ็ชร, 2521)

2.7.1.3 องค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขาม

โพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามหรือกัมจากเมล็ดมะขามมีลักษณะเป็นผงสีขาวที่มีความละเอียด เมื่อกะจ่ายตัวในน้ำทำให้ได้ของไหลที่มีความหนืดสูง มีสมบัติการเกิดเจลเหมือนเพ็คตินจากผลไม้ ซึ่งโพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามนี้สามารถเกิดเจลได้ในสารละลายน้ำตาลในช่วงพีเอชที่กว้าง

และคงตัวได้ในพีเอชที่เป็นกลางและกรด ต่างจากสารให้ความหนืดจากพืชทั่วไปที่เป็นสารประเภทโพลี ยูโรไนด์ (Polyuronide) มีสมบัติเป็นกรด โพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามหรือเจลโลสมีชื่อเรียกอื่น ๆ อีกหลายชื่อเช่น โพลีโอส (Polyose) , ทิเคอโนส (Tikernose) และ แทมมารินด์ส อะมิลอยด์ (Tamaridus amyloid)

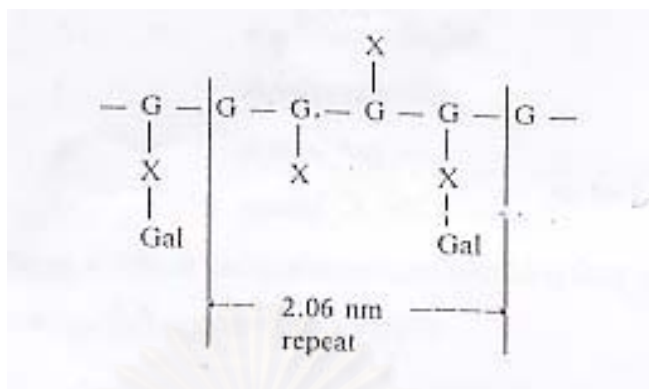
จากการศึกษาองค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามพบว่าโดยส่วนใหญ่ องค์ประกอบหลักจะประกอบด้วย กลูโคส (D-glucose) , ไชโลส (D-xylose) และ กาแลคโทส (D-galactose) และก็มีอะราบิโนส (L-arabinose) อยู่ด้วยในปริมาณที่น้อย ซึ่งโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จะสามารถได้อีกชื่อว่า ไชโลกูแคน

Savur, 1956, Srivastava และ Singh 1967 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของโพลีแซคคาไรด์ โดยการย่อยด้วยกรด เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยวิธีฟินอล-ซัลฟิวริกพบว่าสารละลายที่ได้จากการย่อยประกอบด้วย กลูโคส ไชโลส กาแลคโทสและอะราบิโนสในอัตราส่วน 8:4:2:1 โดยมีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ที่ศึกษาโดย Savur, 1956, Srivastava และ Singh 1967

Iain และ Edward, 1984 ตรวจสอบโครงสร้างของไชโลกูแคนด้วยวิธีเอกซ์เรย์ พบว่า โครงสร้างสายหลักประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ $\beta(1-4)$ และที่ตำแหน่ง 6 ของกลูโคส จะต่อกับไชโลสด้วยพันธะ $\alpha(1-6)$ ในปริมาณ 60-75 % ของปริมาณกลูโคส ส่วนในโมเลกุลของ ไชโลสทุก ๆ 25-30 % จะมีโมเลกุลของกาแลคโทสต่ออยู่ด้วยพันธะ $\beta(1-2)$ และมีอัตราส่วนของ กลูโคส ไชโลส และ กาแลคโทส ในอัตรา 4:3:1 มีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างโมเลกุลโพลีแซคคาไรด์จากการศึกษาของ Iain และ Edward, 1984

2.7.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของโพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามเมื่อกระจายตัวในน้ำ (Suttananta, 1986)

2.7.1.4.1 ความเข้มข้น

โพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามจะมีสมบัติเป็นของไหลชนิดนั้นนิวโตเนียน (Non-newtonian fluid) ที่ความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 1.75 เมื่อทำการเปรียบเทียบความหนืดสัมพัทธ์ของโพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามกับกัมชนิดอื่น ๆ พบว่า โพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามจะมีความหนืดสูงกว่าไซเดียมอัลจิเนท เพ็กติน (เกรด 150) และกัมอะคาเซีย (Acacia) ที่ความเข้มข้นเท่ากัน แต่จะมีความหนืดต่ำกว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose)

2.7.1.4.2 อุณหภูมิ

ความหนืดของโพลีแซคคาไรด์จะมีค่าลดลงเป็นฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียลกับอุณหภูมิ ซึ่ง เป็นไปตามสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) คือ

$$\mu = Ae^{E/RT} \quad (2.21)$$

เมื่อ μ คือความหนืดของสารละลาย A คือค่าคงที่ของอาร์เรเนียส E คือค่าพลังงานกระตุ้น R คือค่าคงที่ของแก๊ส และ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์

2.7.1.4.3 ความเป็นกรด-ด่าง

ความหนืดของโพลีแซคคาไรด์จะสูงสุดที่ภาวะความเป็นกรด-ด่างในช่วง 3-3.2 และไม่คงตัวในภาวะเป็นเบส โดยเฉพาะที่ค่าพีเอชมากกว่า 8

2.7.1.4.4 ผลของสารอื่น

จากการศึกษาความสามารถในการผสมผสานระหว่างโพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามกับตัวทำละลายที่ใช้ในงานเภสัชกรรม พบว่า โพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามสามารถผสมผสานกับ

ซอร์บิทอล(Sorbitol) ไชรัป ญูเอสบี (Syrup USB) ได้เป็นอย่างดี แต่ไม่สามารถผสมผสานกับ แอลกอฮอล์ กลิเซอรอล

2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตเจลโลสจากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

Gordon, 1968 ทำการสกัดเจลโลสจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ มีขั้นตอนในการสกัด 2 ขั้นตอน คือ สกัดด้วยไอโซโพรพานอลและสกัดด้วยน้ำ โดยนำผงเนื้อในเมล็ดมะขามมาผสมกับไอโซโพรพานอล เพื่อแยกโปรตีนและไขมันออก หลังจากนั้นแยกสารละลายออกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ทำให้แห้งแล้วนำไปสกัดด้วยน้ำเพื่อแยกคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ต้องการออก กรองแล้วนำสารละลายส่วนใสมาเติมพาร์ทติงเอเจนท์ สกัดด้วยไอโซโพรพานอล และสกัดด้วยน้ำ โดยนำผงเนื้อในเมล็ดมะขามปริมาณ 500 ปอนด์ ผสมกับไอโซโพรพานอล 600 แกลลอน ได้เจลโลสปริมาณ 130 ปอนด์ คิดเป็นร้อยละ 26 ของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

Stanford, 1984 ศึกษาการทำผงเนื้อในเมล็ดมะขามให้บริสุทธิ์ โดยผสมผงเนื้อในเมล็ดมะขามกับสารละลายเบสแก่เข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอช 13 กวนเพื่อให้ผงเนื้อในเมล็ดมะขามกระจายตัวอย่างสมบูรณ์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการเจือจางสารละลายด้วยน้ำปริมาตรเท่ากับ 5 เท่าของปริมาตรของสารละลาย และกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทำสารละลายให้เป็นกลางโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ทำการตกตะกอนเจลโลสด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) 99 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรเท่ากับ 3 เท่าของสารละลาย นำตะกอนเจลโลสที่ได้มาทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปบดละเอียด ได้โพลีแซคคาไรด์ของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่สามารถละลายน้ำได้ดี มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 2-10 และสารละลายมีความเข้มข้นร้อยละ 0.25 มีความโปร่งแสงประมาณร้อยละ 70-80 ที่ความยาวคลื่น 485 นาโนเมตร

Shankaracharya, 1998 ทำการสกัดเจลโลสจากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม โดยใช้ น้ำ ปริมาตร 30-40 เท่าของน้ำหนักของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ใช้ในการสกัด เติมกรดซิตริกหรือกรดคาร์ตาริกเข้มข้น 0.2 ลงไปในสารละลายผงเนื้อในเมล็ดมะขาม กวนอย่างสม่ำเสมอให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20-30 นาที วางทิ้งไว้เพื่อตกตะกอนเป็นเวลา 1 คืน แยกสารละลายส่วนใสไปทำให้เข้มข้นด้วยสุญญากาศ กรองสารละลายด้วยเครื่องกรองแบบกดอัด

นำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งชนิด ตรีမ်แล้วอบด้วยบอลมิลล์ เจลโลสที่ได้สามารถกระจายตัวได้ง่ายในน้ำเย็นมีความหนืดที่ความเข้มข้นต่ำ

วาริ จารุวัฒนายนต์, 2543 (2000) ศึกษาการผลิตโพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามโดยใช้สารละลายเอทานอลและกระบวนการกรองเพื่อกำจัดโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม โดยทำการแยกโมเลกุลโปรตีนออกจากโพลีแซคคาไรด์ที่ละลายในเอทานอลด้วยคลื่นเหนือเสียง โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล และเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการแยกโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์คือ ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ 20 กรัมต่อลิตร เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาที และความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลที่ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะให้ร้อยละการแยกโปรตีนเท่ากับ 92.203 และร้อยละของการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 68.512 หลังจากนั้นใช้ภาวะดังกล่าวทำการทดลองเพื่อแยกอนุภาคด้วยกระบวนการกรอง โดยศึกษาลักษณะการกวน 4 อย่างคือ ไม่ทำการกวน กวนด้วยใบกวน กวนด้วยใบกวาด และกวนด้วยใบกวาดบริเวณผิวหน้าตัวกรอง พบว่าการกวนด้วยใบกวาดที่บริเวณผิวหน้าตัวกรองจะให้ฟลักซ์สูง และได้ร้อยละการกำจัดโปรตีนเท่ากับ 81.216 ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 70.995 และโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากการทดลองมีร้อยละ 93.616 ปริมาณของโปรตีนและไขมันร้อยละ 4.884 และ 1.540 ตามลำดับ

นิภาวดี แสงยนต์, 2545 (2002) ศึกษาการแยกโปรตีนจากผงมะขามโดยใช้เอนไซม์โปรติเอส (นิวเทรส) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์นิวเทรสคือ อุณหภูมิเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส พีเอช 8 ซึ่งเอนไซม์จะไม่สูญเสียสภาพธรรมชาติ ส่วนการแยกโปรตีนออกจากผงมะขามนั้นพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการแยกโปรตีนคือ ที่ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 40 กรัมต่อลิตร พีเอช 8 ปริมาณเอนไซม์ต่อผงเนื้อในเมล็ดมะขามในสัดส่วน 0.434 ยูนิต์ต่อมิลลิลิตรต่อนาที ต่อสารแขวนลอย 100 มิลลิลิตร และความเร็วรอบในการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ผลของเอทานอลต่อการแยกโปรตีนและไขมันออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามพบว่า ในสารแขวนลอยที่มีเอทานอลเข้มข้น 1 - 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรไม่ทำให้แยกโปรตีนออกจากผงมะขามได้มากขึ้น แต่กลับทำให้เอนไซม์เสื่อมสภาพ และแยกโปรตีนได้ลดลง ส่วนไขมันนั้นจะอยู่ร่วมกับโปรตีนซึ่งจะหลุดไปพร้อมกับโปรตีน เนื่องจากการแยกโดยใช้เอนไซม์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเอทา

นอลมีผลต่อการแยกไขมันน้อยมาก การแยกไขมันออกจากผนังในเมล็ดมะขามโดยใช้เอนไซม์จะสามารถแยกไขมันออกได้ 93 – 96 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้

Murase และคณะ, 1991 ศึกษาการกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน โดยทำการทดลองกรองสารแขวนลอยที่มีอนุภาคโพลีเมทิลเมทาคริเลต ใช้ตัวกรองเซรามิกชนิดหมุนได้ด้วยความเร็วสูงพบว่า เมื่อหมุนตัวกรองด้วยความเร็วสูงชั้นเค้กที่บริเวณผิวหน้าตัวกรองจะถูกกวาดออกไปจากผิวหน้าของตัวกรองอย่างต่อเนื่อง ทำให้อัตราการกรองมีค่าสูงกว่าการกรองด้วยตัวกรองเซรามิกที่ไม่หมุน

Ulrich และคณะ, 1991 ศึกษาความสัมพันธ์ของผลของตัวแปรต่างๆในกระบวนการกรองชนิดหมุนได้ เพื่ออธิบายเชิงปริมาณของฟลักซ์ของเครื่องกรองชนิดหมุนได้ด้วยความเร็วสูง โดยจำแนกค่าพารามิเตอร์น้อยที่สุด จากการทดลองพบว่าแบบจำลองคอนเซนเตรชัน โพลาริเซชัน (Concentration polarization model) สามารถใช้อธิบายผลของการกรองด้วยเครื่องกรองอัลตราฟิลเตรชันชนิดหมุนได้ อย่างถูกต้อง และมีการปรับปรุงแบบจำลองคอนเซนเตรชันโพลาริเซชันโดยรวมผลของความเข้มข้นของของแข็งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ซึ่งวิธีนี้จะให้ผลสอดคล้องกับผลของค่าพีเอชที่มีต่อเพอิมิเอชันฟลักซ์ นอกจากนี้การหาค่าความเข้มข้นของโปรตีนในชั้นโพลาริเซชันที่อยู่บริเวณผิวหน้าของตัวกรองได้ถูกปรับปรุงให้สามารถคำนวณได้ค่าที่ถูกต้องมาก

Kazunori และคณะ, 1993 ศึกษาการประยุกต์ใช้การกรองด้วยตัวกรองเซรามิกชนิดหมุนในการทำให้เซลล์เข้มข้น พบว่าเพอิมิเอชันฟลักซ์ของการกรองเซลล์ยีสต์ในภาวะที่มีการให้อากาศจะมีค่าสูงกว่าในภาวะที่ไม่มีการให้อากาศ เนื่องจากในขณะการกรองในภาวะที่มีการให้อากาศ จะมีฟองอากาศขนาดเล็กบริเวณรอบๆผิวหน้าตัวกรอง ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดชั้นเค้กบริเวณผิวหน้าของตัวกรองได้ จึงทำให้ความต้านทานการกรองลดลง และในการศึกษาความเป็นไปได้ในการดำเนินการกรองด้วยตัวกรองเซรามิกชนิดหมุนได้เพื่อทำให้เซลล์เข้มข้นในระยะยาวพบว่า เมื่อทำการทดลองโดยเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ *Corynebacterium glutamicum* และ *Propionibacterium freudenreichii* ในถังหมักที่ต่อกับเครื่องกรองเซรามิก ชนิดหมุนได้พบว่า ในระหว่างการกรองไม่พบปัญหาการอุดตันของ

ตัวกรอง และได้รับความเข้มข้นของเซลล์ *C. glutamicum* และ *P. Freudenreichii* สูงทำยเท่ากับ 120 และ 53 กรัมเซลล์แห้งต่อลิตรตามลำดับ

Tanja และคณะ, 1999 ได้ปรับปรุงอัตราการไอ้ตอนถ่ายโปรตีนและปริมาตรของของไหลในกระบวนการกรองยีสต์ด้วยไมโครฟิลเตรชัน โดยปรับปรุงการไหลของของไหลให้เกิดการหมุนวนของของไหลที่ไม่คงที่เรียกว่า การหมุนวนแบบดีน (Dean vortice) ทำการทดลองภายใต้ภาวะเพอร์มิเอทพลักซ์คงที่ ทำการกรองเซลล์ยีสต์โดยใช้รูปแบบของตัวกรองต่างกันพบว่า การกรองโดยใช้ตัวกรองที่มีการจัดเรียงตัวเป็นเกลียว (Helical module) จะมีความสามารถในการกรองสูงกว่าการกรองด้วยตัวกรองที่มีการเรียงตัวเป็นเส้นตรง (Linear module) ถึง 19 เท่า ในกระบวนการกรองที่ในสายป้อนประกอบด้วยโบวีนซีรัมอัลบูมินและเซลล์ยีสต์ ภายใต้ภาวะความดันคร่อมตัวกรองคงที่ร่วมกับการทำไดอะฟิลเตรชัน ด้วยเครื่องกรองที่มีการจัดเรียงตัวของตัวกรองเป็นเกลียวพบว่า สามารถแยกโบวีนซีรัมอัลบูมินและโปรตีนอื่นๆที่ได้จากการแตกเซลล์ออกจากสายป้อนได้มากถึง 2 เท่าของการแยกด้วยตัวกรองที่มีการจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรง ค่าเพอมีเอทพลักซ์มีค่าสูงกว่าการกรองด้วยตัวกรองที่มีการจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรงถึงร้อยละ 18-43 และความเข้มข้นของยีสต์ที่ได้จากการกรองจะมีค่าเท่ากับ 45 กรัมของน้ำหนักแห้ง

ปราณี กิตติอนงค์, 2543 (2000) ศึกษาการแยกเศษออกจากผลิตภัณฑ์ภายในเซลล์เพื่อกำจัดความขมโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุน โดยเปรียบเทียบการกรองยีสต์ไฮโมจิเนท และยีสต์ออกโตไลเซทใช้ตัวกรองเซรามิกที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมโครเมตร ความดัน 0.3 บาร์ อัตราการไหลของสายป้อน 35 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง 600 รอบต่อนาที พบว่า อัตราการผลิตโปรตีนที่ได้จากการกรองยีสต์ออกโตไลเซทมีค่าสูงกว่าการกรองยีสต์ไฮโมจิเนทประมาณ 8 เท่า ร้อยละการกำจัดความขมที่ได้เท่ากับ 80 ทำการศึกษาการเพิ่มอัตราการผลิตโปรตีนจากการกรองยีสต์ออกโตไลเซท โดยศึกษาผลของอัตราการไหลของสายป้อน และผลของความเร็วในการหมุนของตัวกรอง โดยใช้ความเข้มข้นของยีสต์เท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร และความดัน 0.3 บาร์ พบว่าอัตราการผลิตโปรตีนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วในการหมุนตัวกรอง และลดอัตราการไหลของสายป้อน โดยที่อัตราการไหลของสายป้อนเท่ากับ 11 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง 1000 รอบต่อนาทีจะให้อัตราการผลิตโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 379 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ความขม 644 มิลลิกรัมไอโซ-แอลฟา แอลลิตต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ผลได้ของของแข็ง 37.79 เปอร์เซ็นต์ การเก็บเกี่ยวโปรตีนร้อยละ 59.66

ปริมาณโปรตีน 0.354 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ความขม 0.6 มิลลิกรัมไอโซ-แอลฟาแอลลิตต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ร้อยละการกำจัดความขมเท่ากับ 68.14

กิตติพงษ์ รัตนภรณ์., 2544 (2001) ศึกษาการกรองสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ สำหรับผงเนื้อในเมล็ดมะขามเริ่มต้น มีปริมาณโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 63.42-73.57 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 15.36-16.54 และปริมาณไขมันร้อยละ 4.91-5.10 องค์ประกอบอื่นๆ อีกร้อยละ 16.31-4.98 และมีอนุภาคเฉลี่ยเมื่อกระจายตัวในน้ำเท่ากับ 22-23 ไมโครเมตร เมื่อความเข้มข้นของสารแขวนลอยที่ขึ้นความหนาแน่นของสารแขวนลอยเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และเมื่อวัดความหนืดและความหนาแน่นของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร พบว่า มีความหนืดเท่ากับ 2.42 6.12 และ 17.70 เซนติพอยส์ และมีความหนาแน่นเท่ากับ 1005 1011 และ 1015 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการแยกโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารแขวนลอยต่ำ ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง และ ความดันคร่อมตัวกรอง มีอิทธิพลต่อการกรองมาก กล่าวคือ เมื่อความเร็วรอบในการหมุนตัวกรองเพิ่มขึ้น ความดันคร่อมตัวกรองที่เหมาะสมจะมีค่าสูงตามขึ้นไปด้วย ส่งผลให้ค่าฟิลเตรตฟลักซ์ ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีน และค่าร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์มีค่าสูงขึ้น และที่ความเข้มข้นของสารแขวนลอยสูง ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรองจะมีอิทธิพลต่อการกรองเพียงอย่างเดียว จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วยรอบในการหมุนตัวกรองจะทำให้ค่าฟิลเตรตฟลักซ์ ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีน และค่าร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์มีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย สำหรับสภาวะการกรองที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นสารแขวนลอย 20 กรัมต่อลิตร อัตราเร็วสายป้อน 38 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง 1700 รอบต่อนาที ความดันคร่อมตัวกรอง 0.16 บาร์ และ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอกเท่ากับ 0.008 เมตร (ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์เท่ากับ 7596 ค่าอัตราการเฉือนเท่ากับ 10704 และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ในแนวแกนเท่ากับ 50) ได้ค่าฟิลเตรตฟลักซ์เท่ากับ 9354 ลิตรต่อตารางเมตรชั่วโมง ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนและค่าร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 74.36 และ 40.31 ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีน ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ และปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 9.70 66.41 และ 5.10 โดยน้ำหนักตามลำดับ และมีร้อยละผลได้ของการผลิตผลิตภัณฑ์เท่ากับ 29.03 โดยน้ำหนัก

2.7.4 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน

Andersen และ Bojgaard, 1988 ได้ทำซีสเทียบจากเมล็ดพืชที่มีโปรตีนในเมล็ดอย่างน้อย 30% โดยการแยกโปรตีนด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน เริ่มจากนมถั่วเหลืองผ่านเข้าเครื่องกรองแบบอัลตราฟิลเตรชันด้วยอัตรา 4000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความดัน 4 บาร์ ไหลเหนือเยื่อแผ่นที่ 30 ลิตรต่อเพลทต่อนาที่ ได้ฟลักซ์เฉลี่ย 24 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง หลังจากนั้นทำไดอะฟิลเตรชันโดยเติมน้ำ 3,200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้สายเพอมีเอท 6123 กิโลกรัมต่อชั่วโมงจะมีน้ำหนักแห้งประมาณ 1 – 1.5% และสายรีเทนเทท 1070 กิโลกรัมต่อชั่วโมงจะมีน้ำหนักแห้งประมาณ 21 – 23 % นำสายรีเทนเททมาให้ความร้อนและระเหยน้ำที่สูญญากาศด้วยอัตรา 550 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือซีสจากถั่วเหลือง 527 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

Anne และ คณะ, 2002 ได้ศึกษาการแยกเจลาตินจากสารละลายที่ได้จากหนังปลาโดยการทำไดอะฟิลเตรชันแบบต่อเนื่องร่วมกับการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยเตรียมความเข้มข้นสารเจลาติน อยู่ในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 12 โดยน้ำหนัก พบว่า ฟลักซ์ของการกรองเมื่อพีเอชน้อยกว่า 3.5 มีค่าประมาณ 160 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง สำหรับที่พีเอชมากกว่า 3.5 ฟลักซ์จะมีค่าต่ำกว่ามาโดยตลอดมาอยู่ที่ 20 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ส่วนการเพิ่มความดันนั้นทำให้ฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับผลของความเข้มข้นการเพิ่มความเข้มข้นทำให้ฟลักซ์ของการกรองมีค่าลดลง การเติมน้ำลงไปในสารละลายเท่ากับ 0.6 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน (ปริมาตรสารละลายเจลาติน 2 ลิตร ปริมาตรน้ำที่เติม 1.2 ลิตร) สามารถลดปริมาณเกลือที่อยู่ในสารละลายได้ร้อยละ 33 เมื่อใช้ปริมาตรของน้ำ 3.5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชันจะลดปริมาณเกลือในสารละลายเจลาตินได้มากกว่า ร้อยละ 90

Larry, 2003 ได้รายงานเปรียบเทียบการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชันด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน โดยเปรียบเทียบรูปแบบการเติมสารละลายในกระบวนการระหว่างการเติมสารละลายแบบกะกับการเติมสารละลายแบบต่อเนื่อง โดยแยกโมเลกุล 2 ขนาด โมเลกุลขนาดเล็กและสารละลายสามารถผ่านรูตัวกรองได้ สำหรับการทำให้แบบกะนั้นทำโดยเริ่มจากสารละลายเริ่มต้น เติมสารละลายบัฟเฟอร์ 1 เท่าแล้วกรองลดปริมาณลงเหลือเท่ากับปริมาตรสารละลายเริ่มต้น ถือว่าเป็น 1 ปริมาตร ไดอะฟิลเตรชัน จากนั้นเติมสารละลายบัฟเฟอร์และทำให้แบบเดิมไปเรื่อย ๆ สำหรับการทำให้แบบต่อเนื่องนั้นทำโดยควบคุมปริมาตรสารละลายให้คงที่ตลอดเวลาโดยการเติมสารละลายบัฟเฟอร์ลงไป ได้ผลดังตารางที่ 2.2 พบว่า การทำไดอะฟิลเตรชันแบบต่อเนื่องให้ผลร้อยละการแยกโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีกว่า

การทำแบบกะ โดยสามารถแยกโมเลกุลขนาดเล็กได้มากกว่าร้อยละ 99 โดยใช้ปริมาตรในการทำ ไดอะฟิลเตรชันเท่ากับ 5 ปริมาตร แต่การทำแบบกะนั้นจะแยกโมเลกุลขนาดเล็กได้มากกว่า ร้อยละ 99 ต้องใช้ปริมาตรในการทำไดอะฟิลเตรชันมากกว่า 7 ปริมาตร

ตารางที่ 2.2 ผลการทดลองร้อยละของการแยกโมเลกุลขนาดเล็กด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันของ Larry, 2003

ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน	แบบกะ	แบบต่อเนื่อง
1	50.0	63.2
2	75.0	86.5
3	87.5	95.0
4	93.8	98.2
5	96.9	99.3
6	98.4	99.8
7	99.2	99.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์

- 3.1.1 ชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้
- 3.1.2 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle analyzer) รุ่น Coulter LS 230.
- 3.1.3 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) รุ่น Spectronic 20 Genesys ของบริษัท Spectronic Instruments, USA.
- 3.1.4 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น KUBOTA 5100 ของบริษัท Kubota corporation, Japan.
- 3.1.5 เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer/hot plate) รุ่น RCT basic ของบริษัท Ika labortechnik, Germany.
- 3.1.6 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (4-digits balance) ของบริษัท Mettler Toledo, Switzerland.
- 3.1.7 เครื่องชั่ง 1 ตำแหน่ง (1-digits balance) PT1200 ของบริษัท Satorius
- 3.1.8 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) รุ่น Julabo ของบริษัท Labartechnik GMBH, Germany.
- 3.1.9 เครื่องกวน (Stirrer) รุ่น RW 20 ZM.n. ของบริษัท Ika labortechnik, Germany.
- 3.1.10 กล้องจุลทรรศน์ รุ่น BH - 2 ของบริษัท OLYMPUS , Japan.
- 3.1.11 เครื่องวัดความหนืด แบบหลอดแก้วแคปิลารี (ออสวาลด์)

3.2 เคมีภัณฑ์

- 3.2.1 ผงเนื้อในเมล็ดมะขาม (Tamarind Kernel Powder) จากบริษัท จีเอ็ม อิชิฮารา จำกัด (GM Ichihara Co., Ltd)
- 3.2.2 โพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขาม (Tamarind Seed Polysaccharide) หรือ Sobigum (TG200) จากบริษัท จีเอ็ม อิชิฮารา จำกัด (GM Ichihara Co., Ltd)
- 3.2.3 โบวีนซีรัมอัลบูมิน (Bovine serum albumin: BSA) ของบริษัท Fluka, Switzerland.

- 3.2.4 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) ของบริษัท Merck, Germany.
- 3.2.5 ฟีนอล (Phenol) ของบริษัท Merck, Germany.
- 3.2.6 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate) ของบริษัท Carloerba, Italy.
- 3.2.7 โซเดียมโปแตสเซียมทาร์เตรต (Sodium potassium tartrate) ของบริษัท AJAX CHEMICAL, Australia.
- 3.2.8 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ของบริษัท Merck, Germany.
- 3.2.9 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) ของบริษัท AJAX CHEMICAL, Australia.
- 3.2.10 โฟลินรีเอเจนท์ (Folin-Ciocalteu reagent) ของบริษัท Merck, Germany.
- 3.2.11 สารละลายไอโอดีน ของบริษัทวิทยาศาสตร์
- 3.2.12 แอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ของบริษัท เอส อาร์ แลป.

3.3 เอนไซม์

นิวเทรส (neutrase) ของบริษัท อีส เอเชียติก ประเทศไทย จำกัด (มหาชน)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การทดลองสมบัติของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

3.4.1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบและขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม (วัตถุประสงค์ที่ใช้สำหรับงานวิจัย)

เตรียมสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขาม โดยนำผงเนื้อในเมล็ดมะขามปริมาณ 20 กรัม มากระจายตัวในน้ำ และปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร (ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัม ต่อลิตร) กวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้อนุภาคสารแขวนลอยกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณโพลีสแซคคาไรด์ ปริมาณโปรตีน ลักษณะของอนุภาค ขนาดของอนุภาค และความหนืดของสารแขวนลอย

3.4.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบและขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่เติมเอนไซม์โปรติเอส

เตรียมสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามตามวิธีในการทดลองที่ 3.4.1.1 หลังจากนั้นเติมเอนไซม์นิวเทรลล์ร้อยละ 0.01 กวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 นาที (ภาวะที่เหมาะสมจากงานทดลองของ นิภาวดี แสงยนต์, 2545) แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ ปริมาณโปรตีน ลักษณะของอนุภาค ขนาดของอนุภาค และความหนืดของสารแขวนลอย

3.4.1.3 การทดลองผลของอุณหภูมิที่มีต่อผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

เตรียมสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามตามวิธีในการทดลองที่ 3.4.1.1 กวนอย่างต่อเนื่องในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เพิ่มอุณหภูมิของสารแขวนลอยและควบคุมให้อุณหภูมิคงที่เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 30, 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ หลังจากนั้นนำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนกับสารละลายออกจากกัน เก็บตัวอย่างในสารละลายนำมาวิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ ปริมาณโปรตีน และลักษณะของอนุภาค

3.4.2 การทดลองเพื่อเลือกชนิดของผ้ากรองที่ใช้ประกอบตัวกรอง

เตรียมสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามตามวิธีในการทดลองที่ 3.4.1.1 นำมากรองผ่านผ้ากรองใยสังเคราะห์แบบไหลผ่านตัวกรองตามรูปที่ 3.1 เครื่องกรองแบบนี้มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก ด้านล่างท่อซึ่งด้วยผ้ากรองใยสังเคราะห์ เทสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามด้านบนท่อ จากนั้นนำสารที่ผ่านผ้ากรองมาวิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ ปริมาณโปรตีน ลักษณะของอนุภาคและวัดขนาดอนุภาค แล้วนำมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์รีเจคชันเพื่อเปรียบเทียบสมบัติของผ้ากรอง

3.4.3 การทดลองขั้วเทคนิคคอนเซนเตรชันประยุกต์ร่วมกับการกรองโดยใช้ชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้

ชุดกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้ มีลักษณะตามรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 ประกอบด้วยท่อทรงกระบอก 2 ชั้น มีช่องว่างระหว่างตัวกรองเท่ากับ 8 มิลลิเมตร โดยที่ชั้นนอกเป็นท่ออะคริลิกใสเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 6.4 เซนติเมตร ความสูง 10 เซนติเมตร

สำหรับชั้นในเป็นท่อทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.8 เซนติเมตร ความสูง 10 เซนติเมตร ทำจากท่อพีวีซีเจาะรูรอบทรงกระบอก ขนาด 8 มิลลิเมตรจำนวน 83 รู หุ้มด้วยผ้ากรองใยสังเคราะห์ดังรูปที่ 3.3 ดังนั้นตัวกรองจะมีพื้นที่การกรองเท่ากับ 4.172×10^{-3} ตารางเมตร ถูกทำให้หุ้มด้วยมอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้าของบริษัทชุบิชิ

ทดสอบตัวกรองทุกครั้งของการทดลองโดยทำการวัดฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์ ป้อนน้ำบริสุทธิ์เข้าสู่เครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้ จนเต็มเครื่องกรองโดยใช้ปั๊มรีดผ่านสายยางซิลิโคน อัตราการไหลเท่ากับ 36 ลิตรต่อชั่วโมง ปรับความดันคร่อมตัวกรองโดยหมุนวาล์วของสายรีเทนเททจนปิดสนิท เนื่องจากตัวกรองมีลักษณะเป็นผ้าใยสังเคราะห์บาง และมีรูพรุนขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมีความต้านทานการกรองของตัวกรองต่ำ ทำการวัดค่าฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์โดยวัดปริมาตรของฟิลเตรต ภายในเวลา 1 นาที

เตรียมสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขาม โดยนำผงเนื้อในเมล็ดมะขามปริมาณ 20 กรัม มากระจายตัวในน้ำ และปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร (ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัม ต่อลิตร) เก็บตัวอย่าง จากนั้นป้อนเข้าเครื่องกรอง ที่ความเร็วรอบตัวกรอง 1700 รอบต่อนาที ควบคุมความดันคร่อมตัวกรองเท่ากับ 0.14 บาร์ อัตราการไหลของสายป้อน 36 ลิตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 สภาวะควบคุมของเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้

ตัวควบคุม	ค่า	หน่วย
อัตราเร็วสายป้อน	36	ลิตร / ชั่วโมง
ความเข้มข้นเริ่มต้นสายป้อน	20	กรัม / ลิตร
ความเร็วรอบตัวกรอง	1700	รอบ / นาที
ความดันคร่อมตัวกรอง	0.14	บาร์
เส้นผ่านศูนย์กลางตัวกรอง	4.8	เซนติเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางท่อทรงกระบอก ภายนอก	6.4	เซนติเมตร
ช่องว่างระหว่างตัวกรองและท่อ ทรงกระบอก	0.8	เซนติเมตร
ความสูงตัวกรอง	10	เซนติเมตร
พื้นที่ตัวกรอง	4.172×10^{-3}	ตารางเมตร

ทำการกรองสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามด้วยชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรอง และตัวกรองหมุนได้ เริ่มจับเวลาเมื่อมีฟิลเตรตไหลออกมาเก็บปริมาตรฟิลเตรตที่ผ่านตัวกรองออกมา และหยุดการทดลองเมื่อเก็บปริมาตรฟิลเตรตครบ 100 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างจากถังป้อนหลังจาก จากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักรวม ปริมาณโพสเฟอไรต์ ปริมาณโปรตีน คำนวณฟลักซ์ของการกรอง

ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันกับข้างต้นโดยหยุดการทดลองหลังจากเก็บปริมาตรฟิลเตรต ครบ 200, 300, 400 และ 500 มิลลิลิตร

ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันกับข้างต้น โดยใช้สารป้อนเป็นสารแขวนลอยผงเนื้อใน เมล็ดมะขามที่ผ่านการเติมเอนไซม์นิวเทรสร้อยละ 0.01 และกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 นาทีเก็บ ตัวอย่างและวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับข้างต้น

3.4.4 การทดลองใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันประยุกต์ร่วมกับการกรองโดยใช้ชุด เครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้

เตรียมสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามตามวิธีในการทดลองที่ 3.4.3 ทดสอบตัวกรองตาม การทดลองที่ 3.4.3 ป้อนสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามตามวิธีในการทดลองที่ 3.4.3 ควบคุม สภาวะการกรองตามตารางที่ 3.1 เมื่อมีฟิลเตรตไหลออกมา เติมน้ำลงไปอย่างต่อเนื่องในถังป้อน เท่ากับปริมาตรฟิลเตรตที่ออกมา เพื่อควบคุมให้ปริมาตรในถังป้อนคงที่ เก็บตัวอย่างในถังป้อนและ ในฟิลเตรตที่ออกมาทุก ๆ ปริมาตรน้ำที่ป้อนเท่ากับปริมาตรสารแขวนลอยเริ่มต้น (ปริมาตรสาร แขวนลอยเริ่มต้น 1000 มิลลิลิตร ดังนั้นเก็บตัวอย่างเมื่อเติมน้ำลงไปในถังครบ 1000 มิลลิลิตร) หยุดการทดลองเมื่อเติมน้ำได้ 5 เท่าของปริมาตรสารแขวนลอยเริ่มต้น หลังจากนั้นนำตัวอย่างมา วิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักรวม ปริมาณโพสเฟอไรต์ ปริมาณโปรตีน คำนวณฟลักซ์ของการกรอง

ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันกับข้างต้น โดยใช้สารป้อนเป็นสารแขวนลอยผงเนื้อใน เมล็ดมะขามที่ผ่านการเติมเอนไซม์นิวเทรสร้อยละ 0.01 และกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 นาทีเก็บ ตัวอย่างและวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับข้างต้น

3.4.5 การทดลองผสมเทคนิคไดอะฟิลเตรชันและเทคนิคคอนเซนเตรชันประยุกต์ ร่วมกับการกรองโดยใช้ชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้

ทำการกรองโดยเลือกสภาวะการกรองที่เหมาะสม จากเทคนิคคอนเซนเตรชันและไดอะฟิลเตรชันตามการทดลอง 3.4.3 และ 3.4.4

สภาวะที่เหมาะสมของการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันจากการทดลองที่ 3.4.3 พิจารณาจากปริมาณ พลังค์ของการกรอง การสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ การกำจัดโปรตีน เช่นเดียวกันกับเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน จะพิจารณาจากปริมาณพลังค์ของการกรอง การสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ การกำจัดโปรตีนเช่นเดียวกัน

หลังจากเลือกสภาวะการกรองที่เหมาะสมแล้วทำการทดลองและเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ โดยเปรียบเทียบจากค่าความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ และสูญเสียโพลีแซคคาไรด์

3.5 การวิเคราะห์

3.5.1 การวิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

วิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์โดยวิธีฟีนอล-ซัลฟิวริก (Phenol-sulfuric method) (Dubois et.al., 1956) ในภาคผนวก ก.

3.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

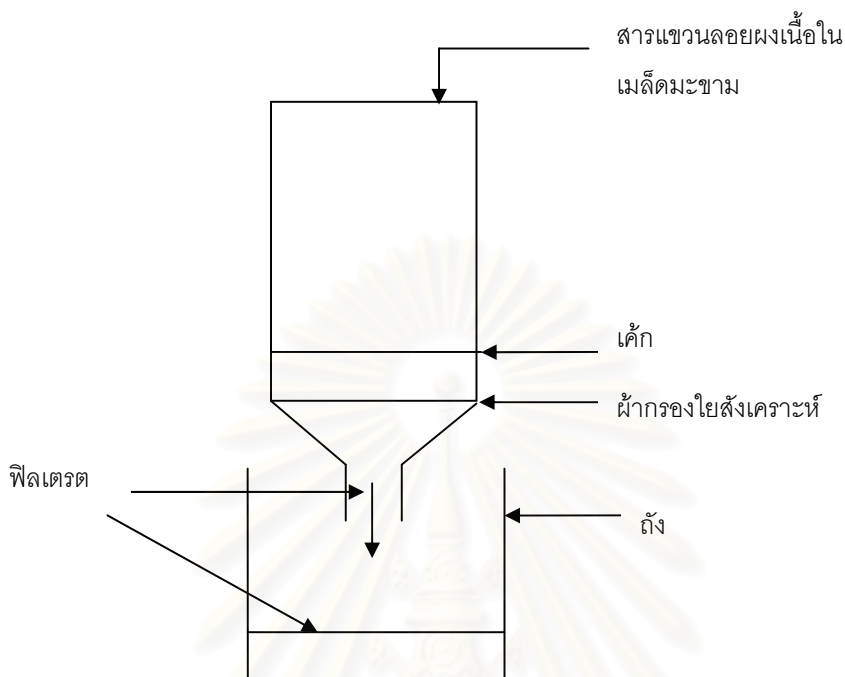
วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีลาวรี (Lowry method) (Dunn M.J., 1992) ในภาคผนวก ก

3.5.3 การวัดขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

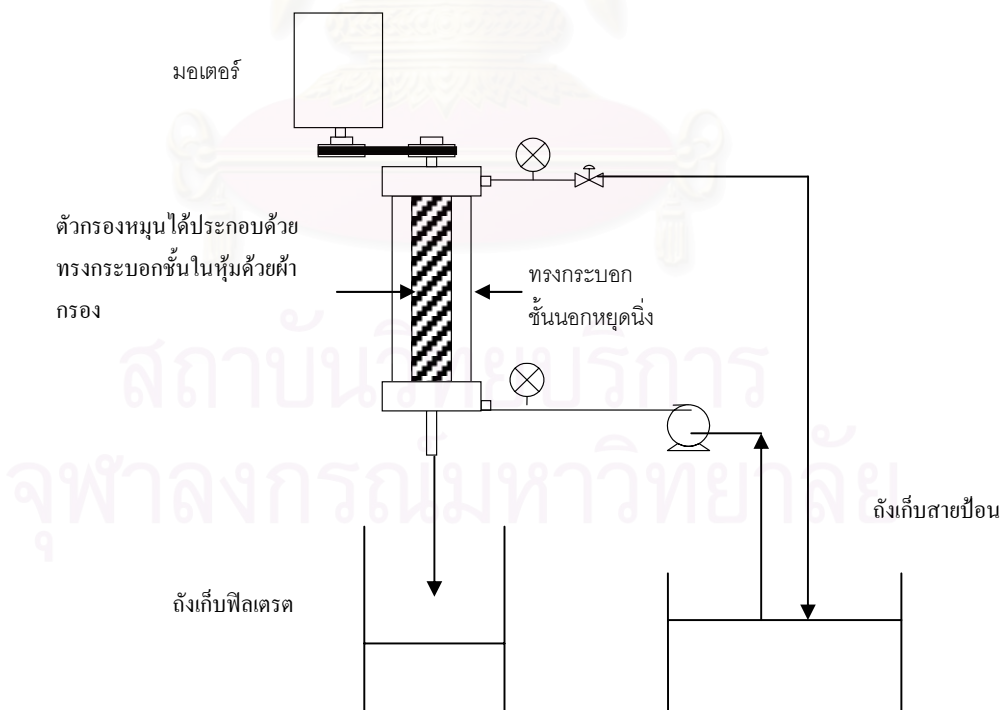
วัดขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size analyzer) รุ่น Coulter LS 230 ตามวิธีในภาคผนวก ก

3.5.4 การวิเคราะห์ลักษณะของอนุภาคผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

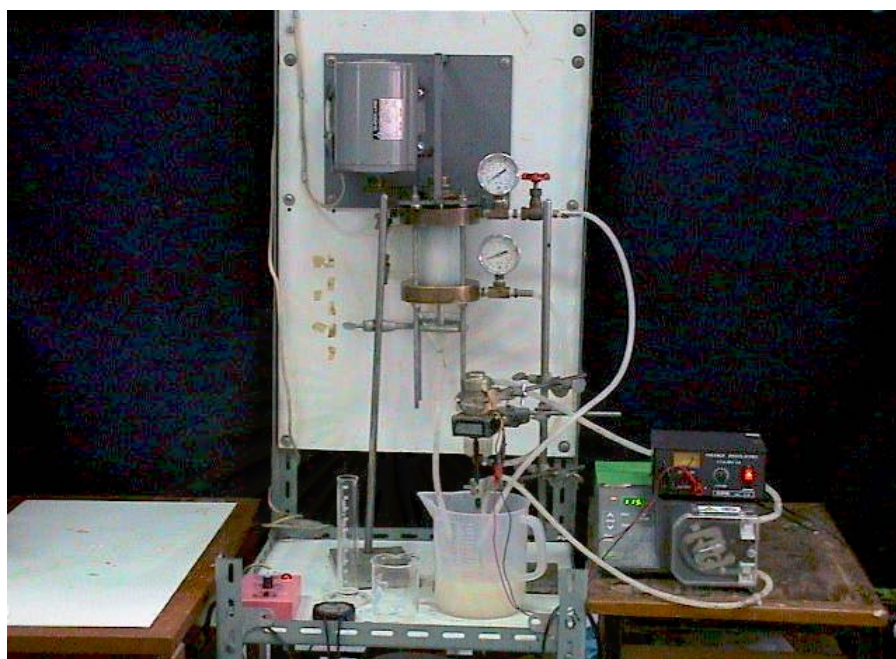
ย้อมสีของอนุภาคด้วยสารละลายไอโอดีน อนุภาคโพลีแซคคาไรด์จะย้อมติดสีน้ำเงิน ส่วนอนุภาคโปรตีนจะย้อมติดสีเหลือง แล้วถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์



รูปที่ 3.1 แผนภาพชุดการกรองเพื่อทดสอบผ้ากรองใยสังเคราะห์



รูปที่ 3.2 แผนภาพชุดเครื่องมือการกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้



รูปที่ 3.3 ชุดเครื่องมือการกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้



รูปที่ 3.4 ตัวกรองที่ใช้ในชุดเครื่องมือการกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้

บทที่ 4

ผลการทดลอง และ วิเคราะห์ผลการทดลอง

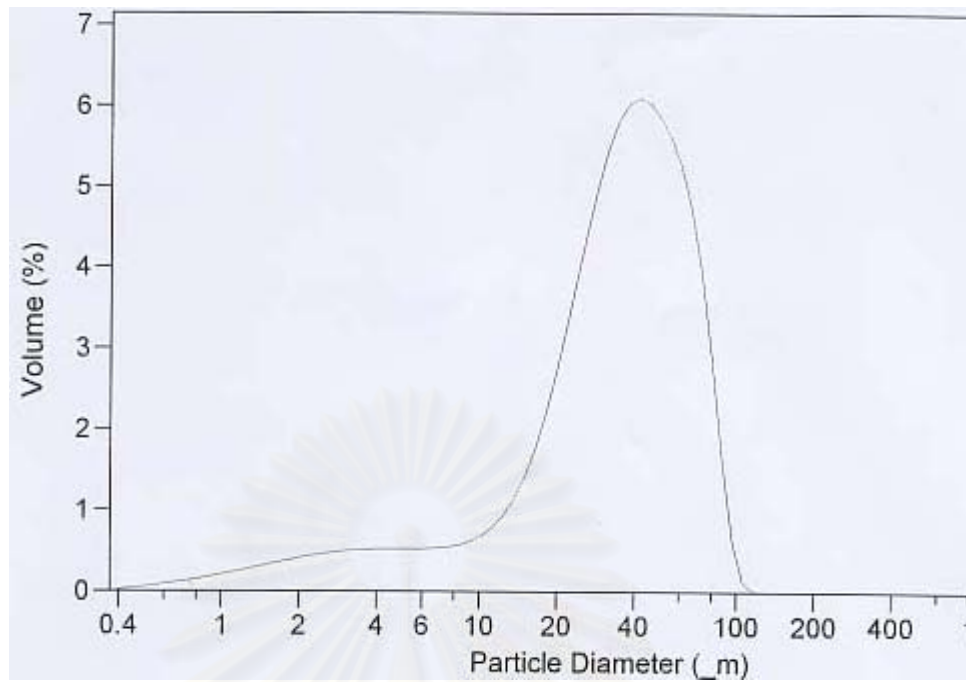
4.1 สมบัติของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

ผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ใช้ได้รับจากบริษัท จี เอ็ม อีซีฮารา จำกัด เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณต่าง ๆ ตามหัวข้อ 3.4.1 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

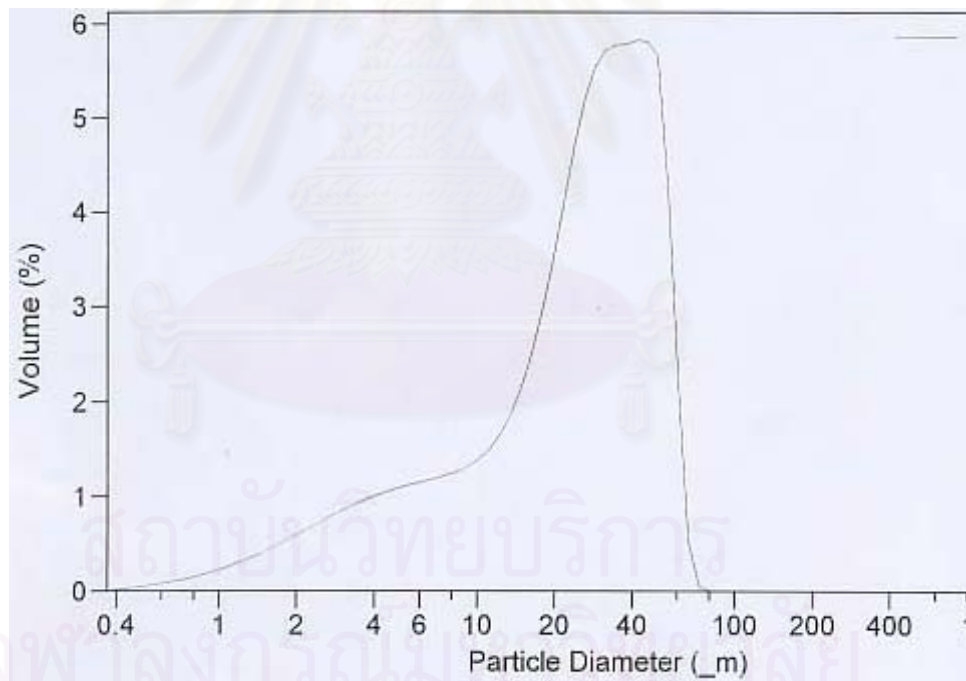
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่เป็นวัตถุดิบในการทดลอง

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
โพลีแซคคาไรด์	62.34 – 73.48
โปรตีน	14.72 – 16.09
อื่น ๆ	6.35 – 14.14

เมื่อนำสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามไปวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาคพบว่าขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 1 – 100 ไมโครเมตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 25.23 ไมโครเมตร และขนาดอนุภาคทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 40 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 4.1 ก. ซึ่งเป็นกราฟที่ได้จากเครื่องวัดขนาดอนุภาค เมื่อพิจารณาภาพถ่ายของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามในรูปที่ 4.2 ก. ซึ่งเป็นภาพถ่ายของอนุภาคผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่กำลังขยาย 100 เท่า จะเห็นลักษณะของอนุภาคมีขนาดเล็กขนาดใหญ่กระจายกันอยู่ มีทั้งอนุภาคที่อยู่เดี่ยว ๆ และอนุภาคที่รวมกันเป็นกลุ่ม มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กัน อนุภาคที่มีสีน้ำเงินเป็นอนุภาคของโพลีแซคคาไรด์ที่ย้อมติดสีของสารละลายไอโอดีน และอนุภาคที่มีสีเหลืองคืออนุภาคของโปรตีน นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคโพลีแซคคาไรด์โดยทั่วไปมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของโปรตีน เมื่อเพิ่มกำลังขยายภาพเป็น 400 เท่าในรูปที่ 4.3 ก. เพื่อพิจารณาลักษณะของอนุภาคจะเห็นได้ว่าที่บริเวณรอบ ๆ ผิวของอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ มีอนุภาคของโปรตีนเกาะอยู่รวมทั้งเป็นตัวเชื่อมระหว่างอนุภาคโพลีแซคคาไรด์กับอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น คล้ายกับงานวิจัยของ กิตติพงษ์ รัตนภรณ์, 2544 พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 22 ไมโครเมตร และงานวิจัยของ นิภาวดี แสงยนต์, 2545 ซึ่งพบว่าอนุภาคโพลีแซคคาไรด์มีอนุภาคโปรตีนเกาะอยู่รอบ ๆ และอนุภาคโปรตีนเป็นตัวยึดอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ไว้ด้วยกัน



(ก)

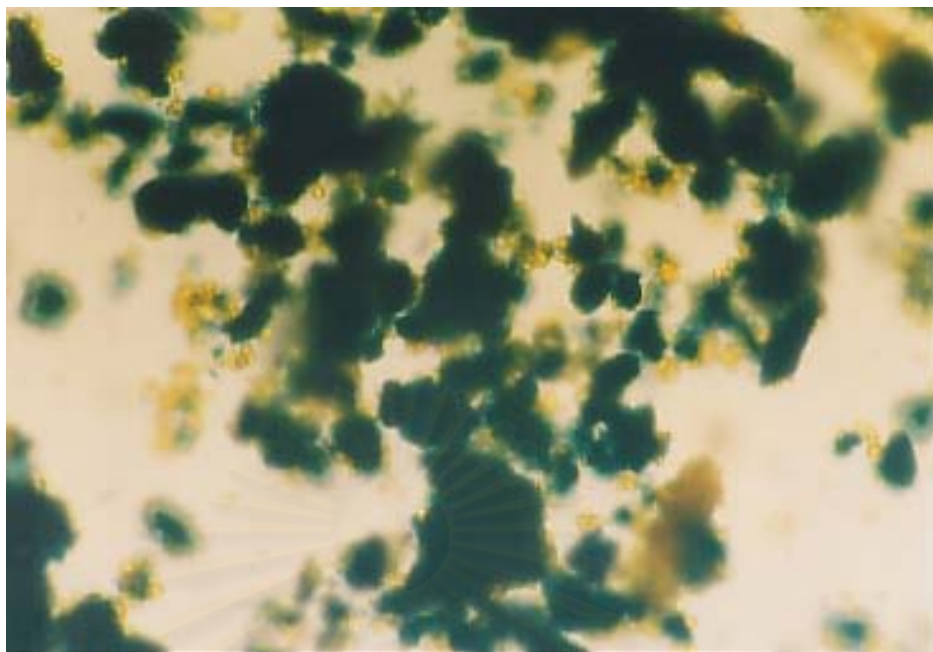


(ข)

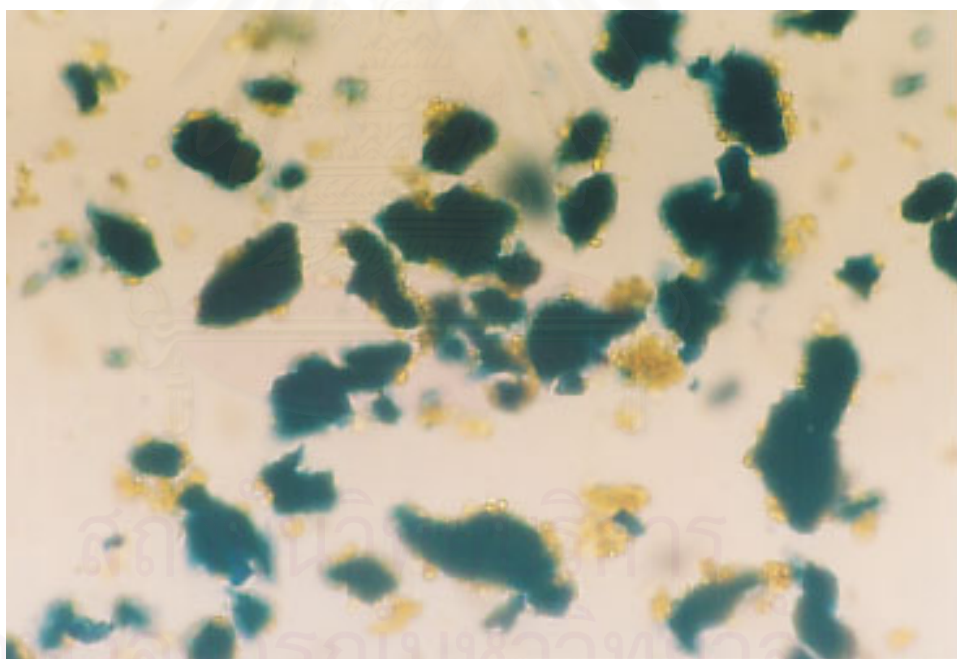
รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

(ก.) ไม่เติมเอนไซม์นิวเทรส

(ข.) เติมเอนไซม์นิวเทรส



(ก)

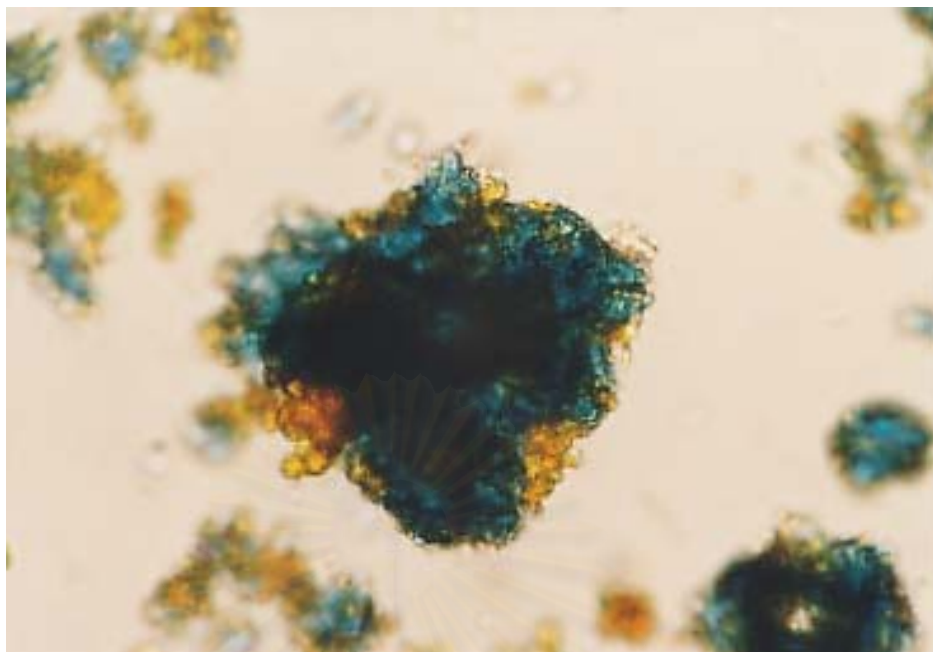


(ข)

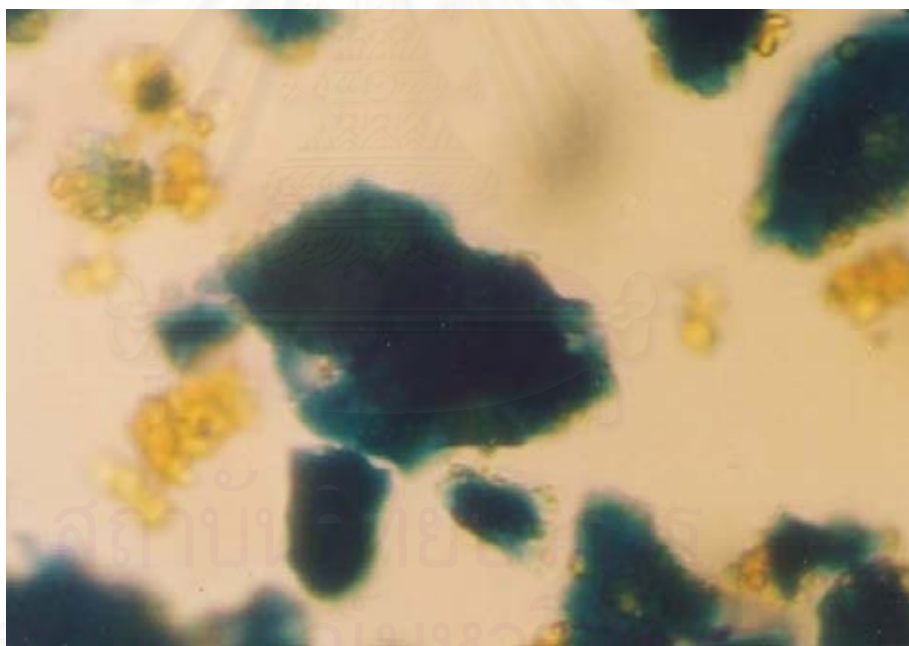
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายผนังเนื้อในเมล็ดมะขามที่กระจายตัวในน้ำที่กำลังขยาย 100 เท่า

(ก.) ไม่เติมเอนไซม์นิวเทรส

(ข.) เติมเอนไซม์นิวเทรส



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายผนังเนื้อในเมล็ดมะขามที่กระจายตัวในน้ำที่กำลังขยาย 400 เท่า

(ก.) ไม่เติมเอนไซม์นิวเทรส

(ข.) เติมเอนไซม์นิวเทรส

จากลักษณะของอนุภาคโพลีแซคคาไรด์กับโปรตีนที่เกาะรวมกันอยู่ นั้น ทำให้การแยกอนุภาคทั้ง 2 ออกจากกันทำได้ยาก เพราะต้องทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคทั้ง 2 เพื่อให้อนุภาค ทั้ง 2 หลุดออกจากกัน

ในขั้นตอนการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคนั้นจะเห็นว่าโดยทั่วไปที่บริเวณผิวของอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ถูกล้อมรอบด้วยอนุภาคโปรตีน ดังนั้นจึงเลือกที่จะทำให้อนุภาคโปรตีนมีขนาดเล็กลงโดยการเติมเอนไซม์นิวเทรล ซึ่งเอนไซม์นิวเทรลนี้เป็นเอนไซม์ที่มีความเจาะจงในการย่อยอนุภาคโปรตีนให้มีขนาดเล็กลงเป็นหมู่อะมิโนได้ ทำให้ขนาดของโปรตีนเล็กลง และไม่ส่งผลต่ออนุภาคโพลีแซคคาไรด์

เมื่อเติมเอนไซม์นิวเทรลลงในสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามแล้วควนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 นาทีหลังจากนั้นนำมาเข้าเครื่องวัดขนาดอนุภาคเพื่อดูขนาดอนุภาคพบว่า อนุภาคมีขนาดเล็กลงและมีจำนวนอนุภาคขนาดเล็กมากกว่าอนุภาคสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ไม่ได้เติมเอนไซม์นิวเทรล อนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 19.33 ไมโครเมตร ตามรูปที่ 4.1 ข. เมื่อพิจารณาจากในรูปที่ 4.2 ข. จะเห็นว่าอนุภาคสีน้ำเงินที่เกาะกันเป็นกลุ่มนั้นมีการกระจายแยกเป็นอนุภาคเดี่ยวมากขึ้น และพบอนุภาคสีเหลืองมีการกระจายมากขึ้น เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3 ในรูปที่ 4.3 ก. จะเห็นว่าที่บริเวณผิวของอนุภาคสีน้ำเงินหรือโพลีแซคคาไรด์มีอนุภาคสีเหลืองติดอยู่โดยรอบของผิวอนุภาค แต่หลังจากเติมเอนไซม์นิวเทรลลงไปแล้วที่ผิวของอนุภาคนั้นมีปริมาณอนุภาคสีเหลืองลดลง ดังในรูปที่ 4.3 ข. แสดงว่าเอนไซม์นิวเทรลสามารถที่จะย่อยอนุภาคโปรตีนที่บริเวณผิวรอบของอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ออกได้ และทำให้อนุภาคโปรตีนนั้นมีขนาดเล็กลง

ตารางที่ 4.2 ความหนืดของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่กระจายตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

ลักษณะ	ความหนืด (เซนติปอยส์)
ไม่เติมเอนไซม์	2.24
เติมเอนไซม์	2.86

เมื่อนำสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ไม่เติมเอนไซม์นิวเทรลและที่เติมเอนไซม์นิวเทรล มาวัดความหนืดด้วยหลอดแก้วออสวาลด์ ผลของความหนืดแสดงในตารางที่ 4.2 จากการทดลองพบว่าเมื่อเติมเอนไซม์นิวเทรลลงในสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามทำให้สารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามมีความหนืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากหลังจากเติมเอนไซม์นิวเทรลแล้วส่งผลให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง ทำให้มีอนุภาคโพลีแซคคาไรด์บางส่วนที่มีขนาดเล็กกระจายตัวใน

น้ำมากขึ้นและอนุภาคโพลีแซคคาไรด์สามารถละลายในน้ำได้มากขึ้นทำให้ความหนืดของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามจึงมีค่าสูงขึ้น

เมื่อนำสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามมาปรับอุณหภูมิตามการทดลอง 3.4.1.3 เป็น 30, 50, 70 และ 85 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอนุภาคผงเนื้อในเมล็ดมะขามมีการละลายเพิ่มขึ้น เห็นได้จากรูปที่ 4.4 ลักษณะของสีของสารละลายมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นและอนุภาคสีน้ำตาลมีปริมาณน้อยลง นำสารละลายมาแยกอนุภาคแขวนลอยออกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที และนำสารละลายมาวิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์และปริมาณโปรตีน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3

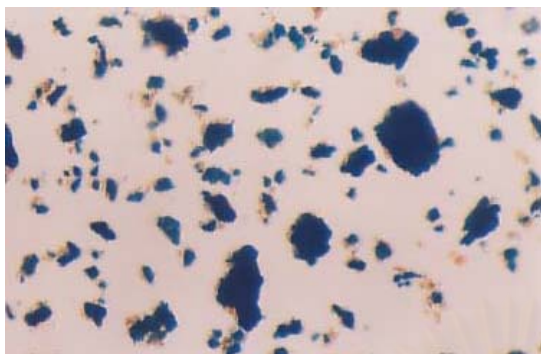
ตารางที่ 4.3 ค่าร้อยละการละลายของโพลีแซคคาไรด์ที่อยู่ในสารละลายและร้อยละของโปรตีนที่อยู่ในสารละลาย

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ร้อยละโพลีแซคคาไรด์ ในสารละลาย*	ร้อยละโปรตีน ในสารละลาย**
30	26.61	28.57
50	42.45	34.11
70	67.87	39.49
85	92.64	46.42

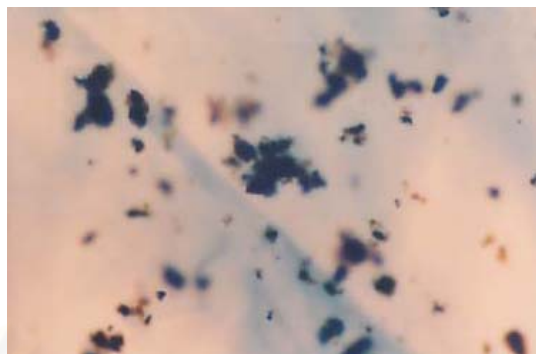
* ร้อยละของโพลีแซคคาไรด์ในสารละลายเทียบกับปริมาณโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมด

** ร้อยละของโปรตีนในสารละลายเทียบกับปริมาณโปรตีนทั้งหมด

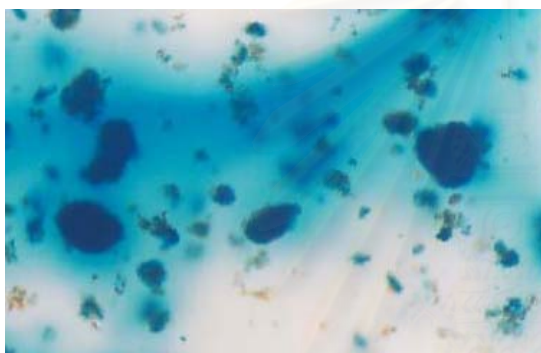
จากผลของการเพิ่มอุณหภูมิพบว่าในสารละลายที่แยกได้จากการปั่นเหวี่ยงมีปริมาณโพลีแซคคาไรด์เพิ่มขึ้น แสดงว่าอนุภาคโพลีแซคคาไรด์มีการละลายเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณโปรตีนนั้นที่มีปริมาณมากขึ้นในสารละลายนั้นเพราะว่าเมื่ออนุภาคโพลีแซคคาไรด์มีการละลายมากขึ้นทำให้อนุภาคโปรตีนที่ติดอยู่ภายในอนุภาคโพลีแซคคาไรด์มีความเป็นอิสระ อนุภาคโปรตีนบางส่วนที่สามารถที่จะละลายได้ในน้ำจึงมีปริมาณโปรตีนน้ำเพิ่มขึ้น และอนุภาคโปรตีนบางส่วนมีขนาดเล็กทำให้เมื่อปั่นเหวี่ยงแล้วอนุภาคโปรตีนเหล่านั้นไม่ตกลงมาทำให้ไม่สามารถแยกอนุภาคออกมาได้



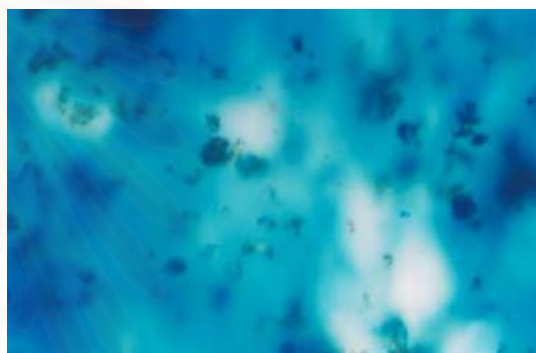
ก. อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ข. อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



ค. อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



ง. อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 30, 50, 70, และ 85 องศาเซลเซียส

ดังนั้นในการทดลองเพื่อแยกโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามต่อไปไม่ควรที่จะใช้วิธีการเพิ่มอุณหภูมิเพราะทำให้อนุภาคโปรตีนละลายในน้ำด้วยทำให้การแยกโพลีแซคคาไรด์ออกมาให้บริสุทธิ์ทำได้ยากขึ้น

4.2 ผลการทดสอบเพื่อคัดเลือกผ้ากรองใยสังเคราะห์ในการทำตัวกรอง

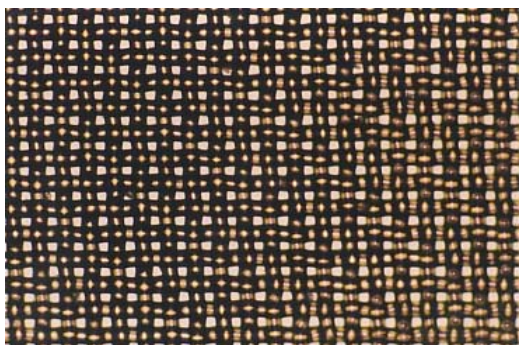
ในการเลือกผ้ากรองที่จะนำมาเป็นตัวกรองเพื่อใช้ในการงานวิจัยนั้นเราจะพิจารณาจากร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์และร้อยละในการกำจัดโปรตีน สำหรับผ้ากรองใยสังเคราะห์ที่ใช้ทดสอบนั้นมีลักษณะเหมือนกันคือเป็นผ้ากรองสีขาวมีรูพรุนทำมาจากใยสังเคราะห์

รูปที่ 4.5 เป็นภาพถ่ายของผ้ากรองใยสังเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า โดยผ้ากรองชนิดที่ 1, 2 และ 3 มีขนาดรูของผ้ากรองเล็กที่สุดและใหญ่ขึ้น โดยขนาดของรูผ้ากรองมีขนาดประมาณ 20 ไมโครเมตร 25 ไมโครเมตรและ 35 ไมโครเมตรตามลำดับ เมื่อนำอนุภาคที่ผ่านผ้ากรองออกมาไปวัดขนาดของอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค ดังแสดงผลในรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าขนาดของอนุภาคที่ผ่านผ้ากรองชนิดที่ 1 มาได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 9.63 ไมโครเมตร ผ้ากรองชนิดที่ 2 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 12.45 ไมโครเมตร และผ้ากรองชนิดที่ 3 ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 16.92 ไมโครเมตร เมื่อนำอนุภาคที่ผ่านผ้ากรองย่อยสี่สารละลายไอโอดีนและส่องดูลักษณะของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นว่าอนุภาคที่ผ่านผ้ากรองออกมามีทั้งอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ และอนุภาคโปรตีนและขนาดของอนุภาคที่หลุดออกมามีขนาดใหญ่ขึ้นตามขนาดของรูบนผ้า ดังรูปที่ 4.6

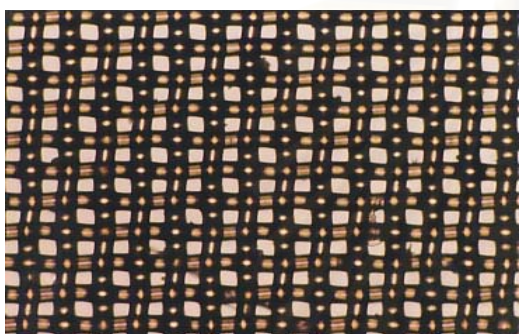
ตารางที่ 4.4 ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีน ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ ขนาดของอนุภาคในฟิลเตรต

ชนิดของ ผ้ากรอง	ขนาดรูพูน บนผ้ากรอง (ไมโครเมตร)	ขนาดของ อนุภาคเฉลี่ย ในฟิลเตรต (ไมโครเมตร)	ค่าร้อยละ การสูญเสีย โพลีแซคคา ไรด์	ค่า สัมประสิทธิ์ รีเจคชันโพลี แซคคาไรด์	ค่าร้อยละ การกำจัด โปรตีน	ค่า สัมประสิทธิ์ รีเจคชัน โปรตีน
ชนิดที่ 1	20	9.63	21.50	0.7850	36.44	0.6356
ชนิดที่ 2	25	12.45	27.94	0.7206	42.83	0.5717
ชนิดที่ 3	35	16.92	38.76	0.6124	46.37	0.5363

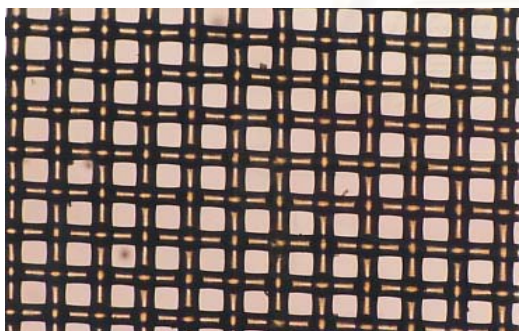
เมื่อนำสารแขวนลอยที่ผ่านผ้ากรองมาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดรูของผ้ากรอง ดังนั้นการเลือกผ้ากรองเราจึงเลือกผ้ากรองที่มีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์น้อยที่สุดเพราะขั้นตอนในการทดลองที่เราจะใช้ในการกรองนั้นมีการกรองผ่านตัวกรองหลายครั้ง ถ้าเลือกผ้ากรองที่มีการกำจัดโปรตีนมากที่สุดก็จะมี การสูญเสียโพลีแซคคาไรด์มากตามไปด้วย ดังนั้นจึงเลือกผ้ากรองใยสังเคราะห์ชนิดที่ 1 มาทำเป็นตัวกรองเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไปเพราะมีค่าสัมประสิทธิ์รีเจคชันโพลีแซคคาไรด์สูงที่สุดเท่ากับ 0.7850 และสัมประสิทธิ์รีเจคชันโปรตีนเท่ากับ 0.6356



ก. ผ้ากรองชนิดที่ 1

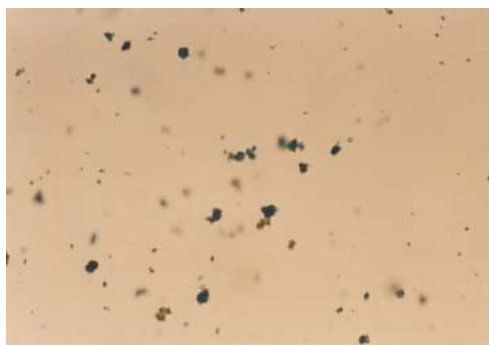


ข. ผ้ากรองชนิดที่ 2

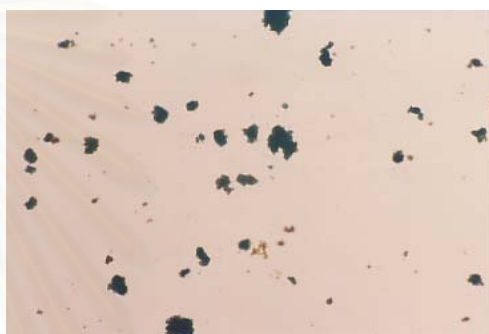


ค. ผ้ากรองชนิดที่ 3

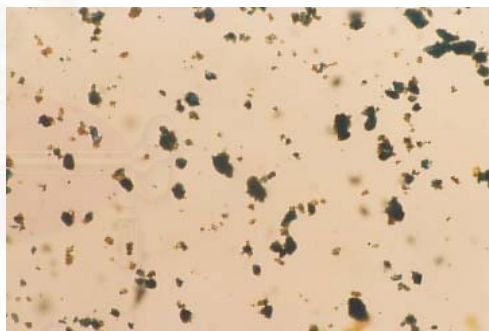
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายผ้ากรองใยสังเคราะห์
จากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า



ก. อนุภาคที่ผ่านผ้ากรองชนิดที่ 1

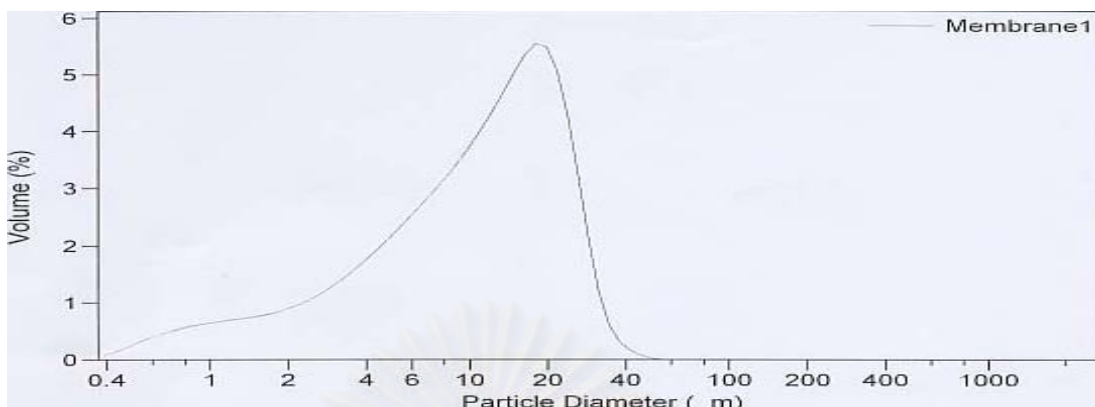


ข. อนุภาคที่ผ่านผ้ากรองชนิดที่ 2

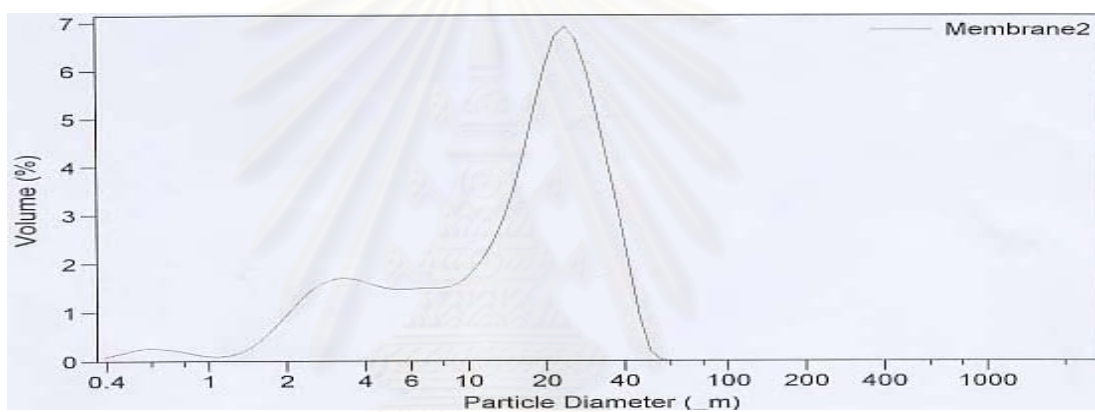


ค. อนุภาคที่ผ่านผ้ากรองชนิดที่ 3

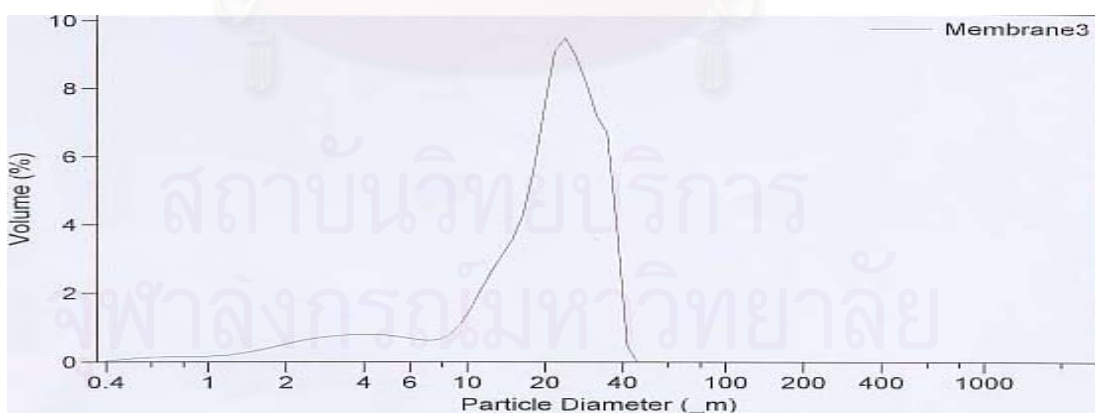
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายอนุภาคที่ผ่านผ้ากรอง
ที่กำลังขยาย 100 เท่า



ก. ผ้ากรองชนิดที่ 1



ข. ผ้ากรองชนิดที่ 2



ค. ผ้ากรองชนิดที่ 3

รูปที่ 4.7 กราฟการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่ผ่านผ้ากรอง

4.3 ผลการทดลองการใช้เทคนิคคอนเซนเตรชันในการกรองร่วมกับชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้

ก่อนจะดำเนินการกรองทุกครั้งจะต้องตรวจสอบตัวกรองว่าตัวกรองมีการอุดตันหรือไม่โดยการทดสอบกับน้ำบริสุทธิ์ ให้ได้ค่าฟลักซ์เท่ากับ 8628.95 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง เพื่อแสดงว่าตัวกรองมีความสะอาดเท่ากันทุกครั้ง

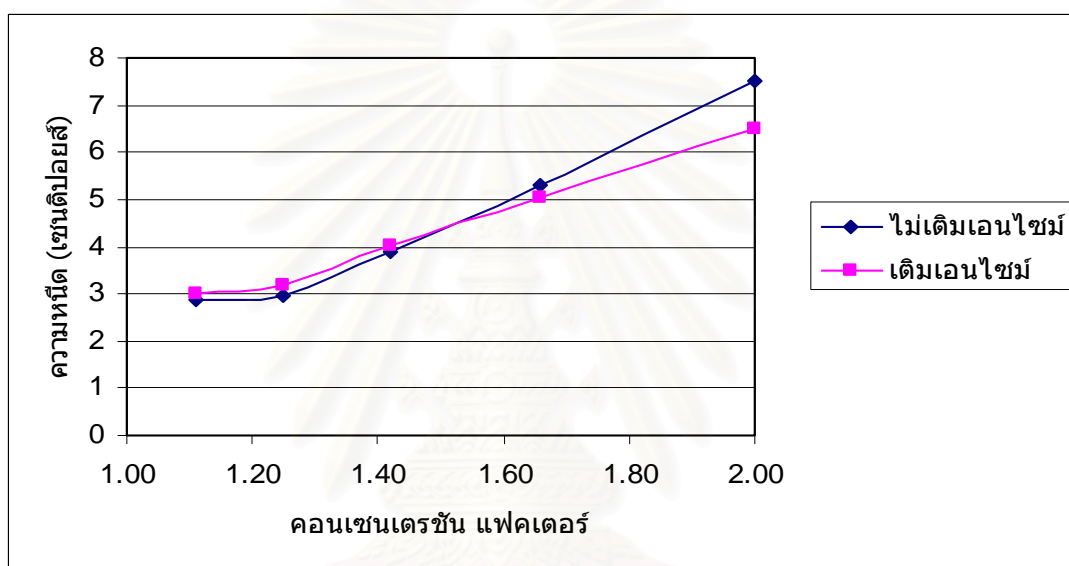
การกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันเป็นการกรองเพื่อลดปริมาณของสารแขวนลอยโดยนอกรวมจากที่จะลดปริมาณแล้วยังเป็นการลดอนุภาคขนาดเล็กที่อยู่ในสารแขวนลอยด้วย ในการลดปริมาณของสารแขวนลอยในการกรองนั้นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรสารแขวนลอยเริ่มต้นกับปริมาตรของสารแขวนลอยสุดท้ายเรียกว่าค่า คอนเซนเตรชันแฟคเตอร์ (Concentration factor, CF) ในการทดลองนี้ได้ทดลองลดปริมาณของสารแขวนลอยทั้งสิ้น 5 ปริมาตรดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าคอนเซนเตรชันแฟคเตอร์ในการทดลอง

ปริมาตรสารแขวนลอยเริ่มต้น (มิลลิลิตร)	ปริมาตรฟิลเตรต (มิลลิลิตร)	ปริมาตรสารแขวนลอยสุดท้าย (มิลลิลิตร)	คอนเซนเตรชันแฟคเตอร์
1000	100	900	1.11
1000	200	800	1.25
1000	300	700	1.43
1000	400	600	1.67
1000	500	500	2.00

สำหรับการกรองด้วยเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้นั้นต้องพิจารณาลักษณะการไหลให้การไหลนั้นเกิดการหมุนวนแบบเทย์เลอร์ที่บริเวณผิวหน้าของตัวกรอง โดยการไหลของของไหลที่มีการหมุนวนแบบเทย์เลอร์นั้นกำหนดโดยค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ สำหรับค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ต้องอยู่ในช่วง 2000 ถึง 10000 ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ต้องอยู่ในช่วง 0 ถึง 70 เมื่อเรากำหนดสภาวะการกรองในการทดลองที่ 3.4.3 ตามตารางที่ 3.1 ความหนืดของของไหลต้องอยู่ในช่วง 2.00 – 8.00 เซนติปอยส์ ตามตารางในภาคผนวก ค (ตาราง ค1) ความหนืดของสาร

แขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 2.24 เซนติปอยส์ และความหนืดของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่เติมเอนไซม์เท่ากับ 2.86 เซนติปอยส์ เมื่อเราลดปริมาตรของสารแขวนลอยแล้วความหนืดของสารแขวนลอยมีค่าสูงขึ้นดังรูปที่ 4.8 ความหนืดของสารแขวนลอยที่ค่าคอนเซนเตรชันแพคเตอร์ 2.00 มีค่าเท่ากับ 7.50 ในกรณีที่ไม่ได้เติมเอนไซม์และเท่ากับ 6.51 ในกรณีที่ได้เติมเอนไซม์ จะเห็นว่าความหนืดของสารแขวนลอยยังอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ดังนั้น ในการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันยังเกิดสภาวะการหมุนวนแบบเพย์เลอร์



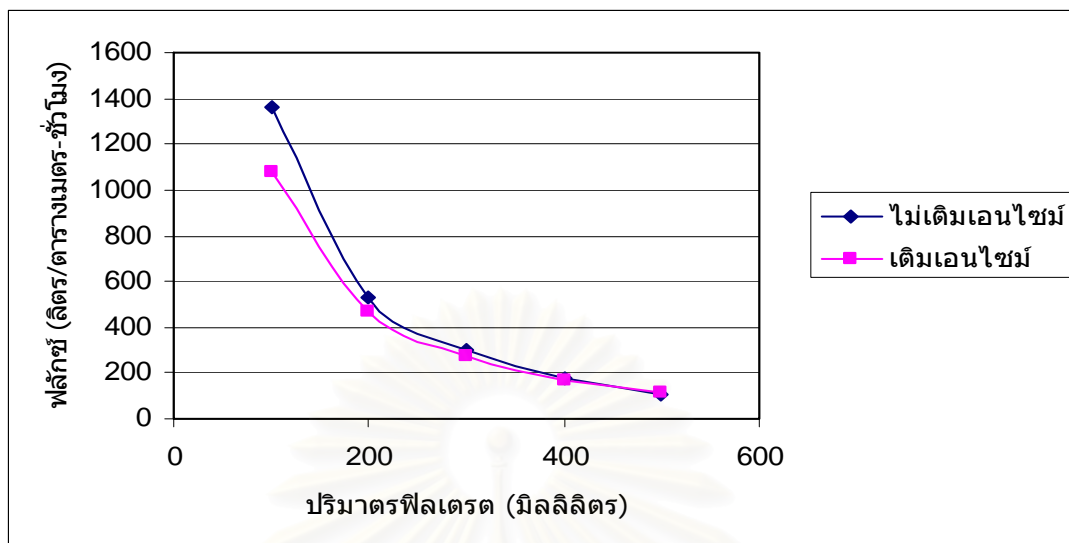
รูปที่ 4.8 แสดงความหนืดของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามกับค่าคอนเซนเตรชันแพคเตอร์

ในการทดลองการกรองเมื่อลดปริมาตรของสารแขวนลอยตามตารางที่ 4.5 พบว่าพลั๊กซ์ของการกรองลดลงดังรูปที่ 4.9 จากค่าพลั๊กซ์ของการกรองที่ได้นั้นสามารถประมาณค่าเจลคอนเซนเตรชันได้ (Gel Concentration, C_g) โดยค่าเจลคอนเซนเตรชันเท่ากับ 68.96 กรัมต่อลิตรในกรณีที่ไม่เติมเอนไซม์ และเท่ากับ 75.22 กรัมต่อลิตร ในกรณีเติมเอนไซม์และค่าคงที่ของการกรองเท่ากับ 733.74 ในกรณีที่ไม่เติมเอนไซม์และเท่ากับ 616.84 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ในกรณีที่ได้เติมเอนไซม์ ดังนั้นสมการพลั๊กซ์ของการกรองโดยไม่เติมเอนไซม์เท่ากับ

$$J = 733.74 \ln (68.96 / C_B) \quad (4.1)$$

และกรณีเติมเอนไซม์เท่ากับ

$$J = 616.84 \ln (75.22 / C_B) \quad (4.2)$$

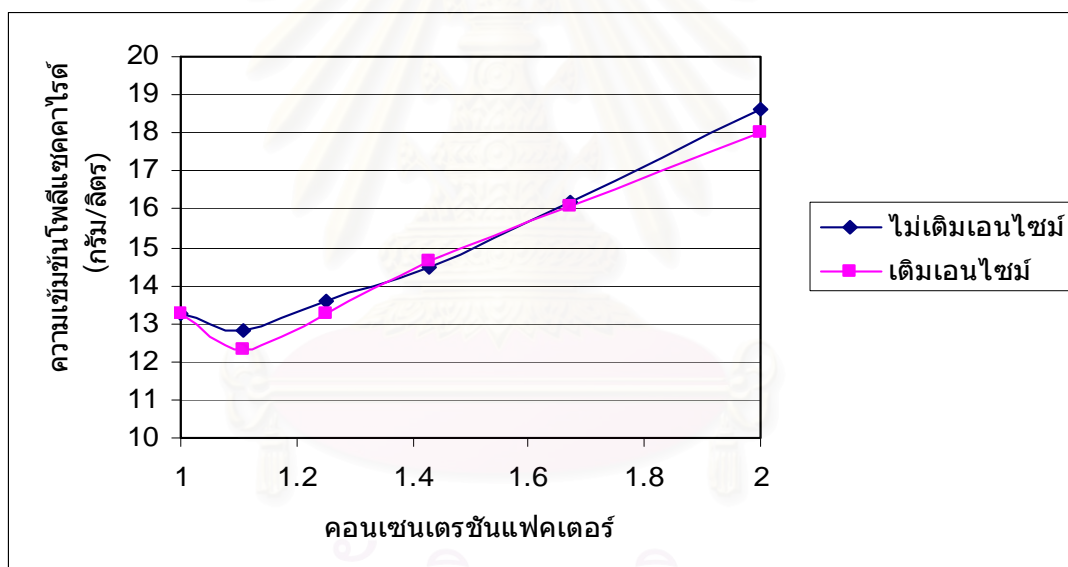


รูปที่ 4.9 พื้กช้ช้ของการกรรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรช้ัน

ในสมการที่ 4.1 และสมการที่ 4.2 พบว่าค่าเจลดคอนเซนเตรช้ันที่ประมาณได้กรรณที่เติมเอนไซม์จะมีค่ามากกว่า เนื่องจกเมือเติมเอนไซม์ลงไปนสารแขวนลอย ส่งผลให้อนุภาคมีขนาดเล็กลงทำให้การเรียงตัวที่บริเวณผิวหน้าตัวกรรองสามารถเกาะกันได้แน่นขึ้น สำหรับค่าคงที่ของการกรรอนั้นในกรรณที่ไม่เติมเอนไซม์มีค่าสูงกว่ากรรณที่เติมเอนไซม์ เนื่องจกความหนืดของสารแขวนลอยในช่วงต้นนกรรณของการเติมเอนไซม์จะมีค่าสูงกว่าในกรรณที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ แรงเฉือนที่ผิวหน้าตัวกรรองจึงมีค่าลดลง ทำให้ความหนาของชั้นเค้กที่ผิวหน้าตัวกรรองเพิ่มขึ้นดงนั้นค่าคงที่ของการกรรองจึงมีค่าลดลง

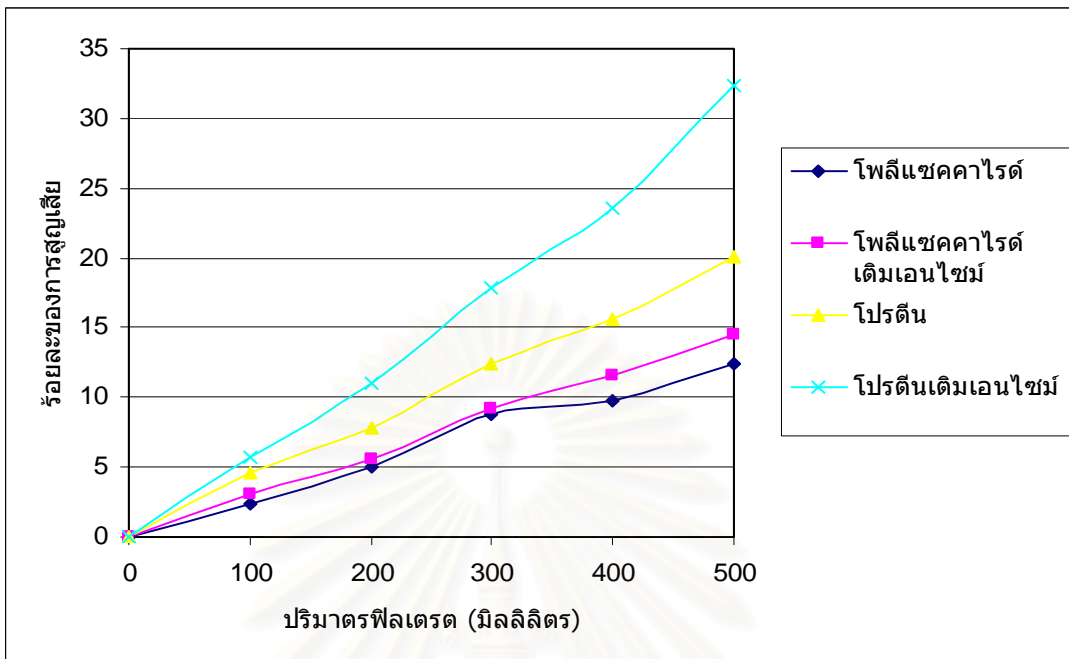
ในการศึกษาการลดลงของพื้กช้ช้ของการกรรอนั้นจะเห็นได้ว่า เมือลดปริมาณของสารแขวนลอยไปอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งได้แก่โพลีแซคคาไรด์นั้นไม่ได้หลุดผ่านผ้ากรรองไปทำให้ความเข้มชั้นของโพลีแซคคาไรด์มีค่าสูงขึ้นดงรูปที่ 4.10 ดงนั้นจกปริมาณโพลีแซคคาไรด์ที่สูงขึ้นนี้เองทำให้ความหนืดของสารแขวนลอยผงเนื้อนเมล็ดมะขามจึงสูงขึ้นด้วย และจกสมการที่ 2.1 พื้กช้ช้ของการกรรองแปรผกผันกับค่าความหนืดของของไหล เมือความหนืดของสารแขวนลอยผงเนื้อนเมล็ดมะขามหรือสายป้อนมีค่าสูงขึ้นพื้กช้ช้ของการกรรองจึงลดลง

ในการกรองสารแขวนลอยด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชัน นอกจากจะเป็นการลดปริมาตรสารแขวนลอยแล้วยังช่วยกำจัดอนุภาคขนาดเล็กบางส่วนที่กระจายอยู่ในสารแขวนลอยด้วย เมื่อวิเคราะห์ฟิลเตรตที่ออกมา นั้นพบว่า มีทั้งโพลีแซคคาไรด์และโปรตีนดังแสดงในรูปที่ 4.11 จากรูปภาพจะเห็นได้ว่าการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ที่หลุดออกมากับฟิลเตรตของสารแขวนลอยนั้นมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ในกรณีของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ร้อยละ 12.36 และในกรณีที่เติมเอนไซม์ร้อยละ 14.57 แต่ในกรณีของโปรตีนการกำจัดโปรตีนในสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ไม่ได้เติมเอนไซม์มีการกำจัดโปรตีนร้อยละ 20.07 และในกรณีที่เติมเอนไซม์ร้อยละ 32.31 จะเห็นว่าในกรณีที่เติมเอนไซม์จะสามารถกำจัดโปรตีนได้ดีกว่าดังในการทดลองที่ 3.4.1 การเติมเอนไซม์ทำให้อนุภาคโปรตีนที่ติดอยู่ที่บริเวณผิวของอนุภาคโพลีแซคคาไรด์จะหลุดออกมาและทำให้อนุภาคโปรตีนมีขนาดเล็กลงทำให้สามารถผ่านตัวกรองได้มากขึ้น

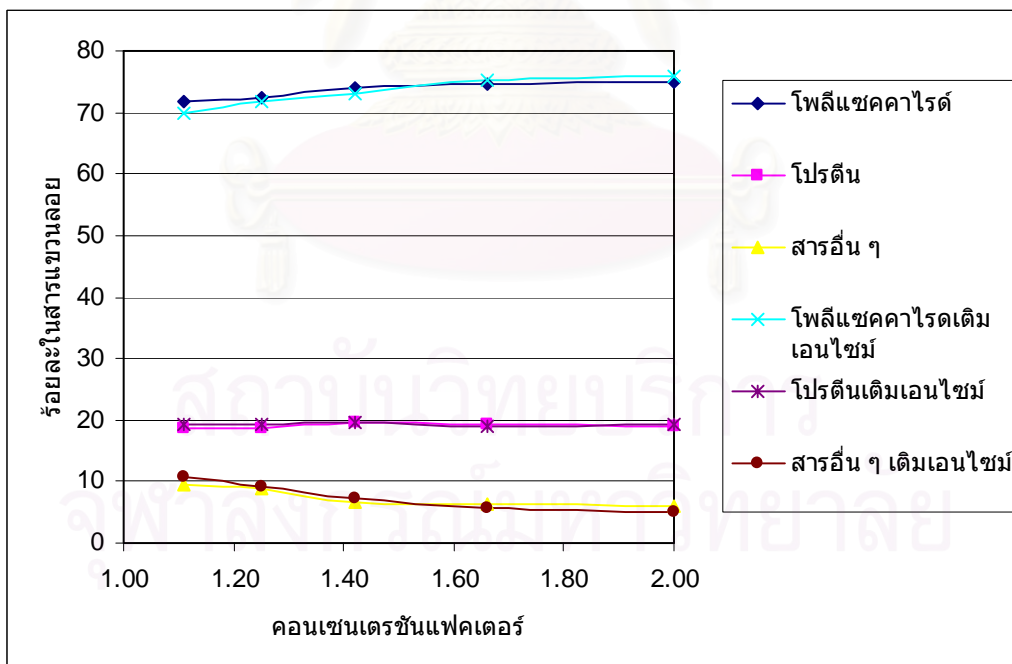


รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของโพลีแซคคาไรด์ในถังปั่น

ในงานวิจัยนี้ตัวแปรหนึ่งที่เราสนใจศึกษา ก็คือความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ สำหรับการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันนี้ เราพบว่าความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์ไม่ได้สูงขึ้นแต่เป็นการช่วยลดปริมาตรของสารแขวนลอยและช่วยกำจัดอนุภาคโปรตีนที่มีขนาดเล็กหลุดออกไป รวมถึงช่วยกำจัดอนุภาคอื่น ๆ

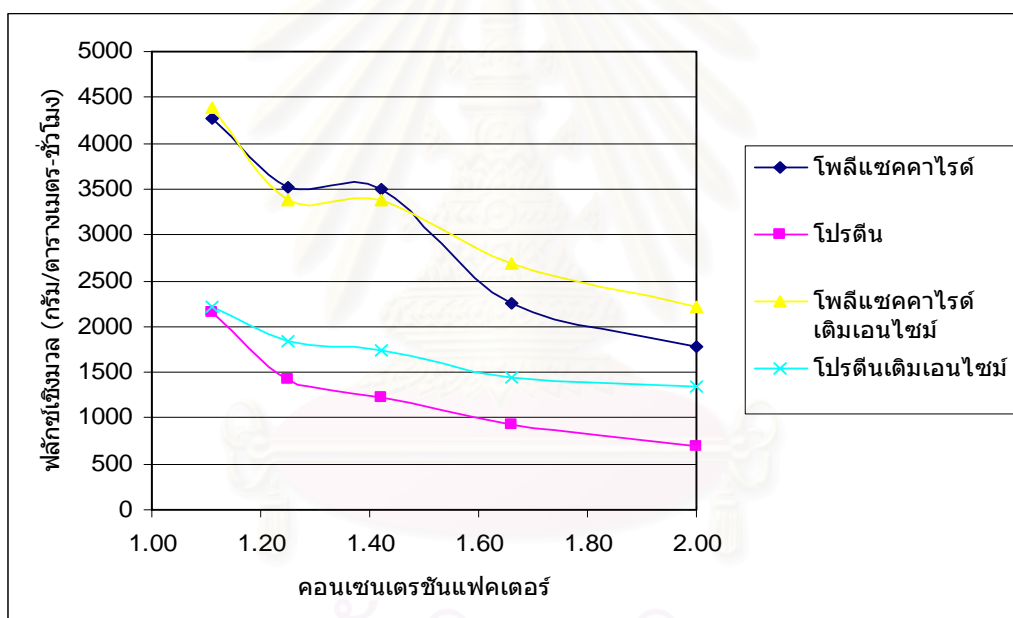


รูปที่ 4.11 ร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ในฟیلเตรต



รูปที่ 4.12 ร้อยละของโพลีแซคคาไรด์ โปรตีนและสารอื่น ๆ ในถังผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกรองด้วย กระจับวนการคอนเซนเตรชัน

เมื่อพิจารณาถึงการดำเนินงานจะเห็นว่า การกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันนั้นไม่ได้ช่วยทำให้โพลีแซคคาไรด์มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น แต่สิ่งที่ได้คือทำให้อนุภาคมีการกระจายตัว อนุภาคบางส่วนละลายน้ำและสามารถที่จะกำจัดอนุภาคขนาดเล็กออกไปได้บ้าง ดังนั้นการที่จะตัดสินใจเพื่อหยุดกระบวนการกรองของการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันนั้นเราจึงต้องพิจารณาพลั๊กซ์ของการส่งผ่านมวลของโปรตีนและพลั๊กซ์ของการส่งผ่านมวลโพลีแซคคาไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 เมื่อดูลักษณะของกราฟการส่งผ่านมวลโพลีแซคคาไรด์และโปรตีนมีแนวโน้มคล้ายกันทั้งในกรณีของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามเริ่มต้นที่ไม่ได้เติมเอนไซม์และในกรณีที่เติมเอนไซม์ คือพลั๊กซ์ของการส่งผ่านมวลมีค่าลดลง แต่ในกรณีของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่เติมเอนไซม์จะมีค่าพลั๊กซ์ของการส่งผ่านมวลที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ได้เติมเอนไซม์



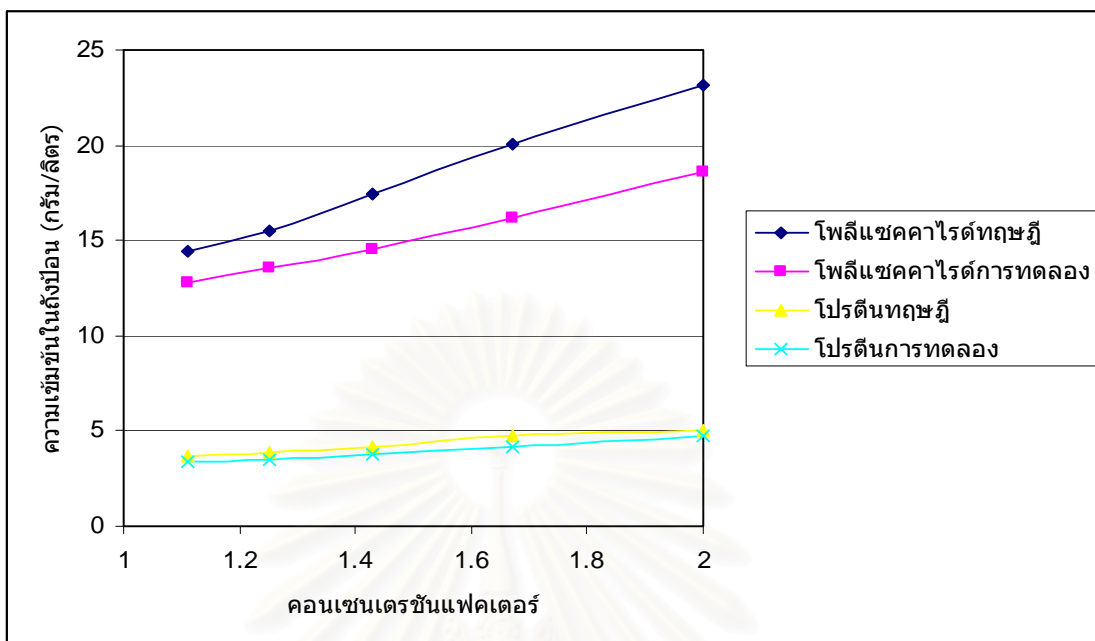
รูปที่ 4.13 พลั๊กซ์ของการส่งผ่านมวลโพลีแซคคาไรด์และพลั๊กซ์ของการส่งผ่านมวลโปรตีนในกระบวนการคอนเซนเตรชัน

ในช่วงแรกของการกรองด้วยกระบวนการคอนเซนเตรชันนั้น จะเห็นว่าพลั๊กซ์ของการส่งผ่านมวลโพลีแซคคาไรด์ไม่แตกต่างกันแต่เมื่อดำเนินการต่อไปในกรณีที่เติมเอนไซม์มีค่าพลั๊กซ์สูงกว่า ส่วนพลั๊กซ์ของการส่งผ่านโปรตีนนั้นในกรณีที่เติมเอนไซม์มีค่าพลั๊กซ์ที่สูงกว่า ดังนั้นในการหยุดการกรองของกระบวนการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันนั้น เราจะไม่ลดปริมาตรของสารแขวนลอยมาก

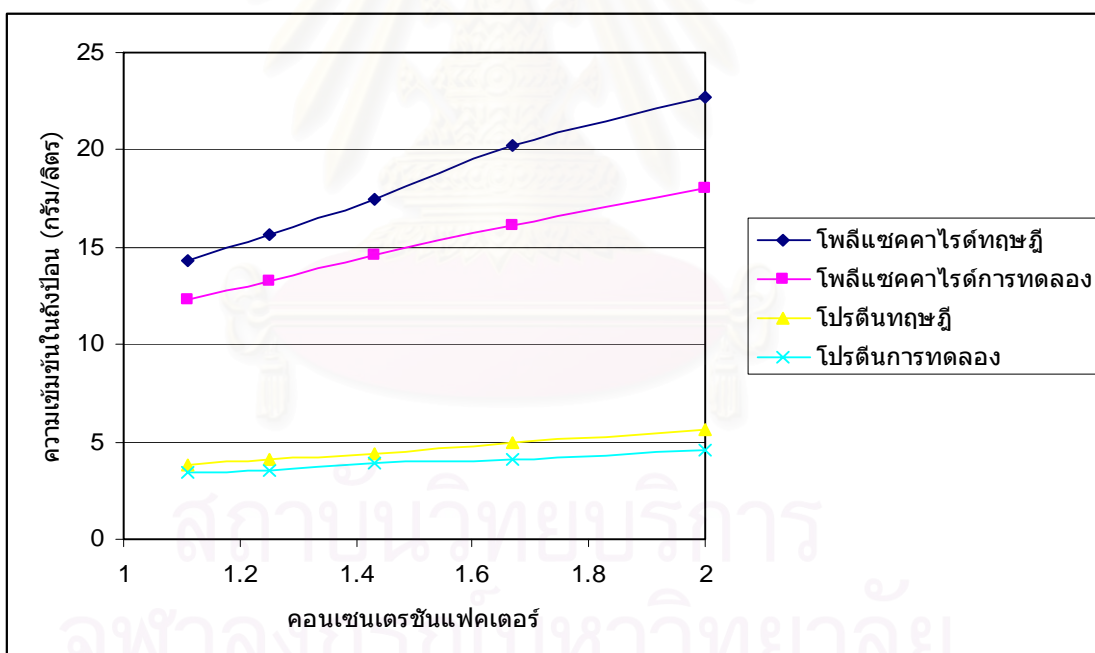
ไปนักเพราะจะทำให้ฟลักซ์ของการกรองลดลงต่ำไปด้วย ดังนั้นเราจึงเลือกช่วงแรกของกระบวนการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันเพื่อดำเนินการต่อไปคือ ค่าคอนเซนเตรชันแพคเตอร์ไม่เกิน 1.43 และเติมเอนไซม์ในสารแขวนลอยเริ่มต้น

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองการทำคอนเซนเตรชันที่ได้ในส่วนของความเข้มข้นของอนุภาคโพลีแซคคาไรด์และอนุภาคโปรตีนในถังป้อนกับความเข้มข้นของอนุภาคโพลีแซคคาไรด์และอนุภาคโปรตีนในถังป้อนที่คำนวณได้จากทฤษฎี ในรูปที่ 4.14 พบว่าความเข้มข้นของอนุภาคในถังป้อนที่คำนวณได้จากทฤษฎีมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของอนุภาคที่ได้จากการทดลอง ทั้งอนุภาคของโพลีแซคคาไรด์ อนุภาคของโปรตีนรวมถึงในกรณีที่เติมเอนไซม์และกรณีที่เติมเอนไซม์ด้วย เนื่องจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์และอนุภาคโปรตีนบางส่วนสามารถละลายน้ำได้ รวมถึงอนุภาคบางส่วนนั้นสูญเสียไปกับเครื่องกรอง ทำให้เมื่อวัดความเข้มข้นในถังป้อนจึงมีค่าน้อยกว่าที่ได้ เมื่อพิจารณาความแตกต่างของความเข้มข้นอนุภาคโพลีแซคคาไรด์จากการคำนวณทางทฤษฎีและความเข้มข้นอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากการทดลอง พบว่าในการทดลองมีแนวโน้มการเสียโพลีแซคคาไรด์เพิ่มขึ้นแสดงว่าโพลีแซคคาไรด์อาจมีขนาดเล็กและละลายในน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นความแตกต่างของความเข้มข้นจึงมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งในกรณีที่เติมเอนไซม์และในกรณีที่เติมเอนไซม์ สำหรับอนุภาคโปรตีนมีแนวโน้มที่คล้ายกันความเข้มข้นในถังป้อนที่คำนวณจากทฤษฎีและการทดลองไม่แตกต่างกันมากนักทั้งในกรณีที่เติมเอนไซม์และในกรณีที่เติมเอนไซม์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบความเข้มข้นของอนุภาคในถังป้อนที่ได้จากทฤษฎีกับการทดลองสำหรับการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชัน

(ก) กรณีไม่เติมเอนไซม์

(ข) กรณีเติมเอนไซม์

4.4 ผลการทดลองการใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันในการกรองร่วมกับชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้

การกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันนั้นเป็นการกรองเพื่อกำจัดอนุภาคขนาดเล็ก โดยการใช้ น้ำหรือสารละลายพาดผ่านตัวกรองออกไป โดยจะเรียกสัดส่วนของปริมาตรน้ำที่เติมต่อปริมาตรสารแขวนลอยเริ่มต้นว่า ไดอะฟิลเตรชันวอลุ่ม หรือ ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน (Diafiltration volume, DV) สำหรับในการทดลองนี้เราจะศึกษาที่ปริมาตรสูงสุด 5 เท่าของสารแขวนลอยเริ่มต้น ตามตารางที่ 4.6

จากการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคสารแขวนลอยในถังป้อน ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันจะช่วยลดอนุภาคขนาดเล็กที่อยู่ในสารแขวนลอยดังจะเห็นได้จาก รูปที่ 4.15 เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของขนาดอนุภาคช่วงขนาดอนุภาคไม่เกิน 15 ไมโครเมตร ที่สภาวะ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน (รูป 4.15 ข.) จะมีค่าร้อยละของปริมาตรอนุภาคขนาดเล็กน้อยกว่าที่สภาวะ 1 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน (รูป 4.15 ก.) กรณีที่เติมเอนไซม์พบว่า โดยทั่วไปขนาดอนุภาคเฉลี่ยจะมีขนาดเล็กกว่าในกรณีที่ไม่เติมเอนไซม์ และพบว่ามีอนุภาคขนาดเล็กมากขึ้น ในทำนองเดียวกันกับกรณีที่ไม่เติมเอนไซม์ จากรูปที่ 4.16 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคช่วงขนาดอนุภาคไม่เกิน 15 ไมโครเมตร ที่สภาวะ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน (รูป 4.16 ข.) จะมีค่าร้อยละของปริมาตรอนุภาคขนาดเล็กน้อยกว่าที่สภาวะ 1 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน (รูป 4.16 ก.)

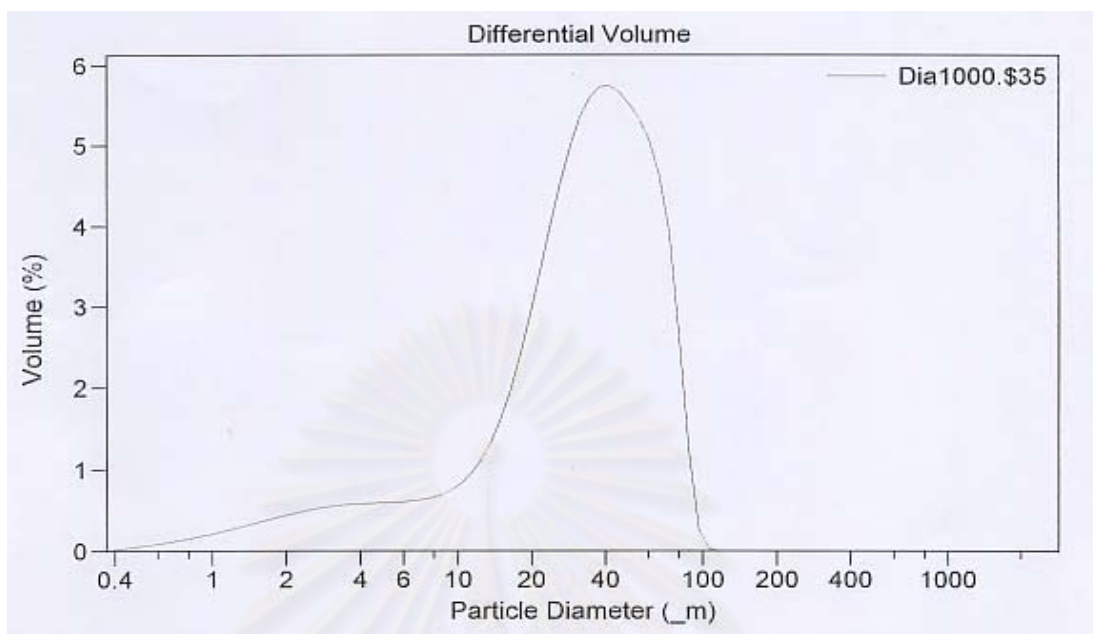
ตารางที่ 4.6 ค่าปริมาตรไดอะฟิลเตรชันที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน	ปริมาตรสารแขวนลอยในถังป้อน (มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำที่เติม (มิลลิลิตร)	ปริมาตรฟิลเตรต (มิลลิลิตร)	ปริมาตรฟิลเตรตสะสม (มิลลิลิตร)
0	1000	0	0	0
1	1000	1000	1000	1000
2	1000	1000	1000	2000
3	1000	1000	1000	3000
4	1000	1000	1000	4000
5	1000	1000	1000	5000

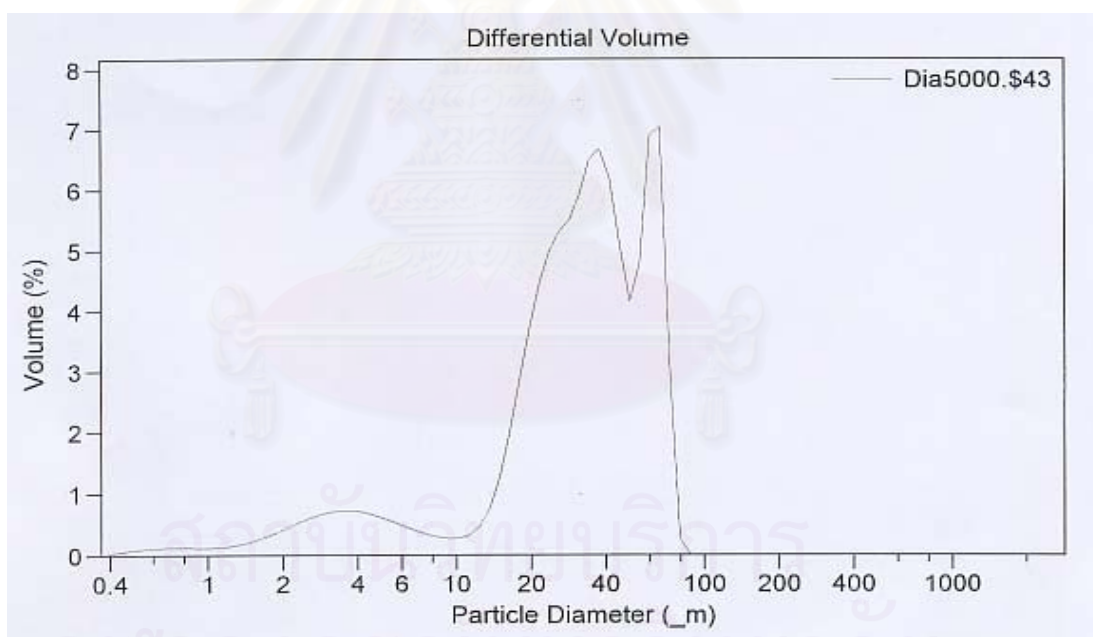
ตารางที่ 4.7 ขนาดของอนุภาคสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามในถังป้อน

ปริมาณไดอะฟิลเตรชัน	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมโครเมตร)	
	ไม่เติมเอนไซม์	เติมเอนไซม์
เริ่มต้น	25.23	19.19
1	26.32	20.30
2	24.75	24.71
3	26.76	27.74
4	29.10	27.97
5	30.15	28.72

เมื่อพิจารณาความหนืดของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามในถังป้อนที่ผ่านกระบวนการไดอะฟิลเตรชันแล้ว พบว่าความหนืดของสารแขวนลอยในถังป้อนมีค่าลดลงดังรูปที่ 4.17 เพราะในการกรองนั้นได้มีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ไปด้วยดังจะเห็นได้จากรูป 4.18 ความเข้มข้นของโพลีแซคคาไรด์ในถังป้อนนั้นมีค่าลดลง



(ก.)

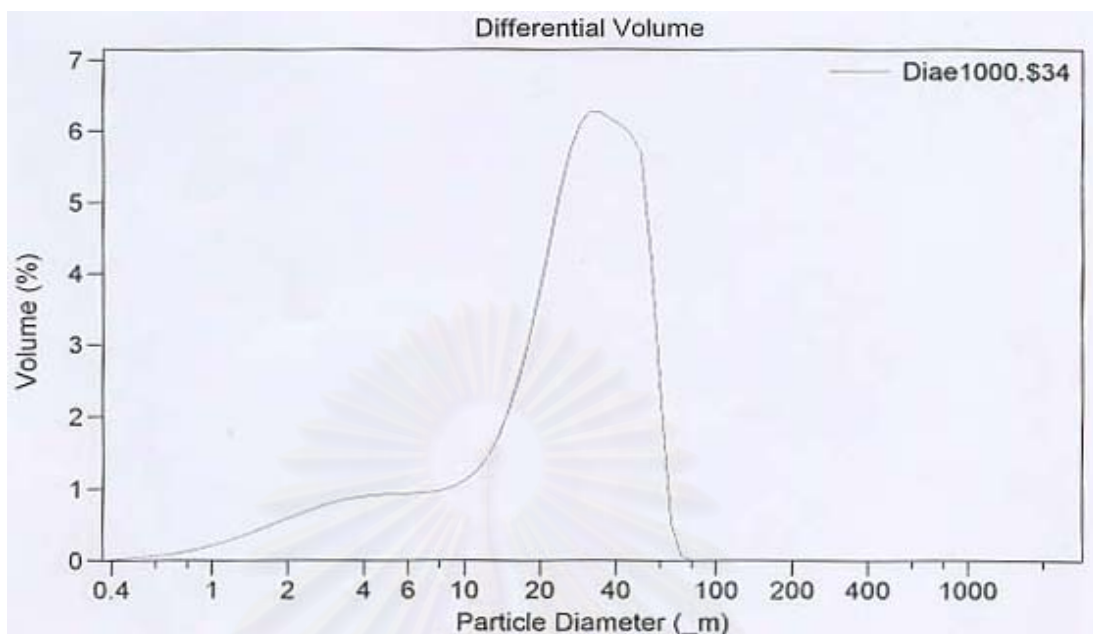


(ข.)

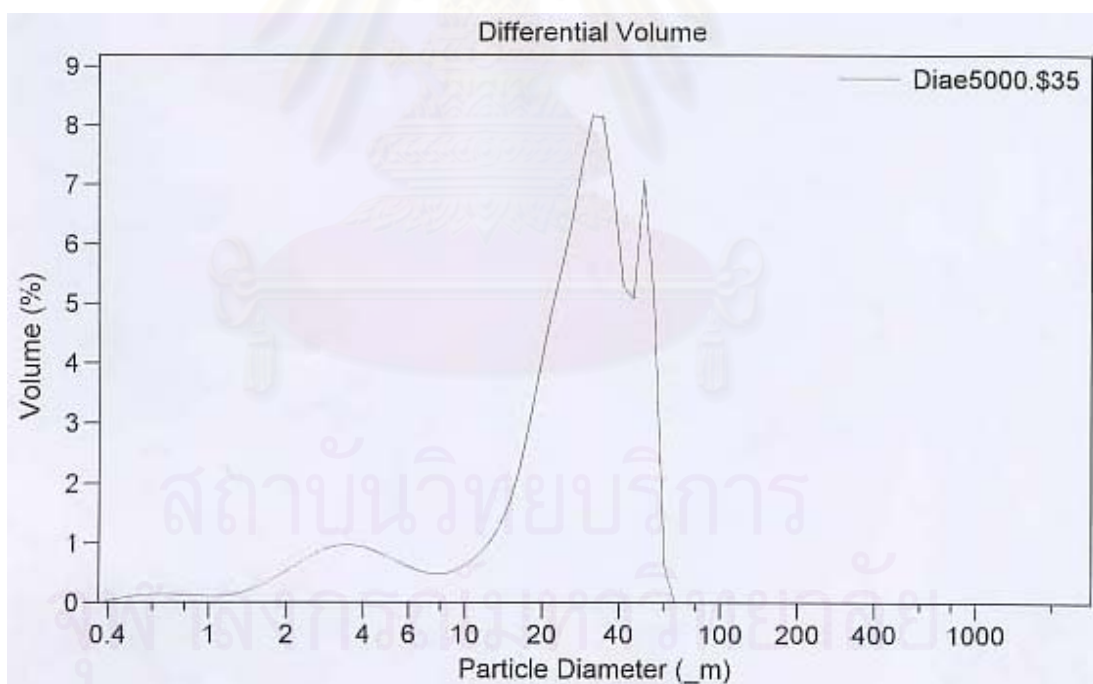
รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

(ก) 1 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน

(ข) 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน



ก.

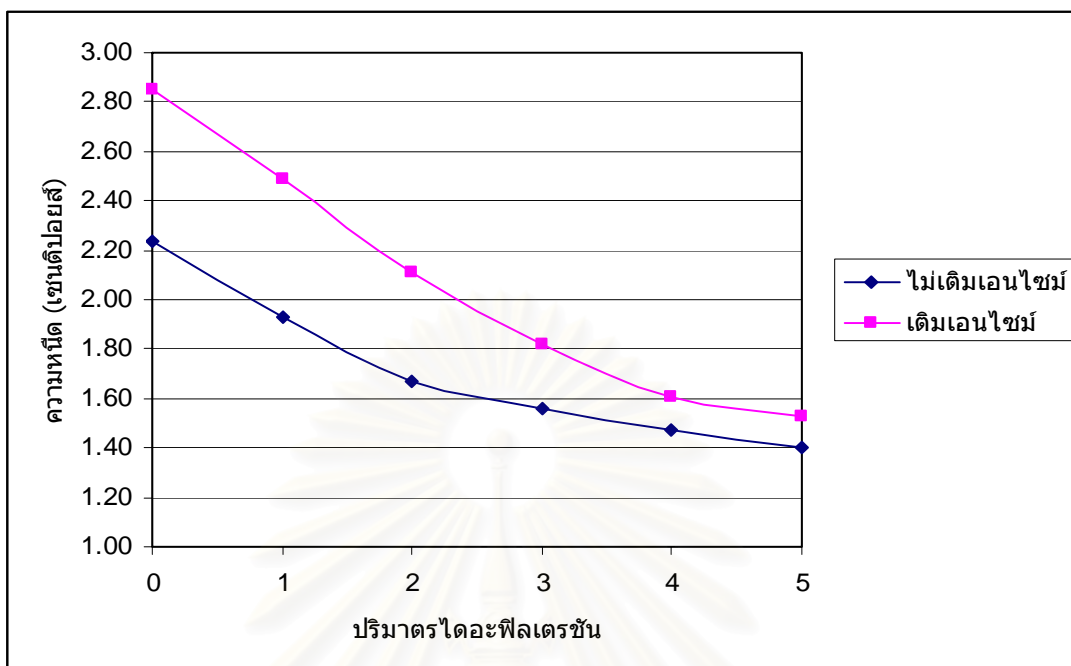


ข.

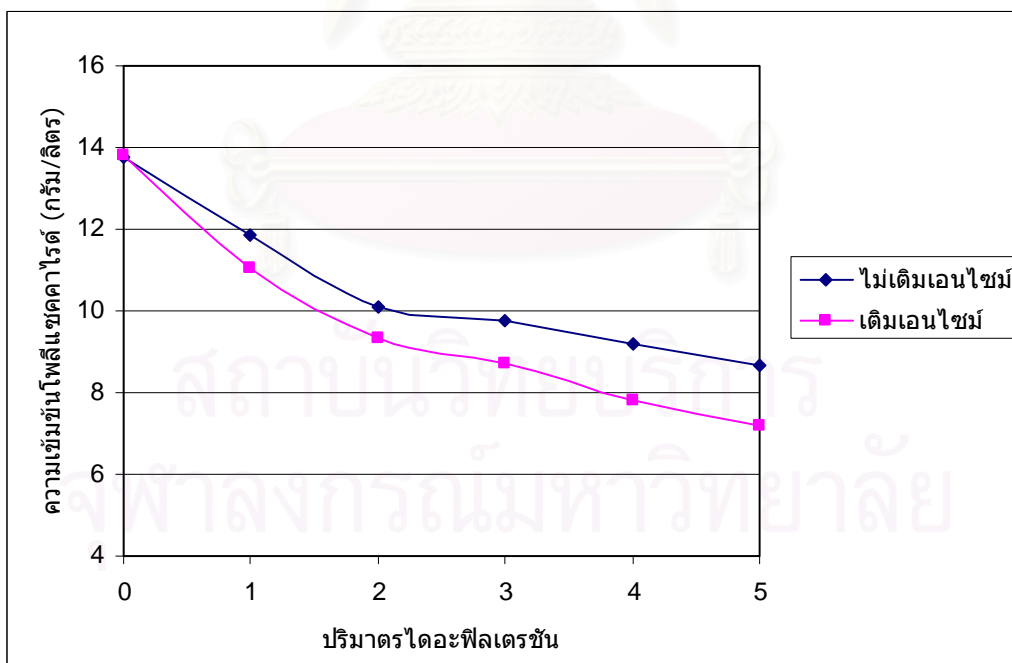
รูปที่ 4.16 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงเนื้อในเมลต์มะขามที่เติมเอนไซม์นิวเทรส

(ก) 1 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชั่น

(ข) 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชั่น

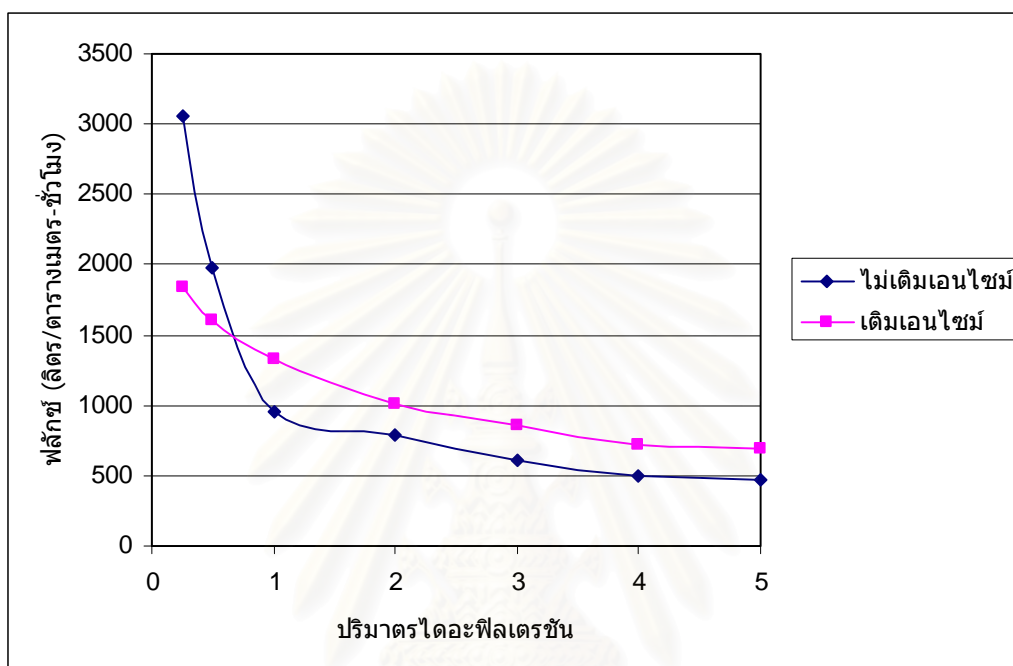


รูปที่ 4.17 ความหนืดของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการไดอะฟิลเตรชัน



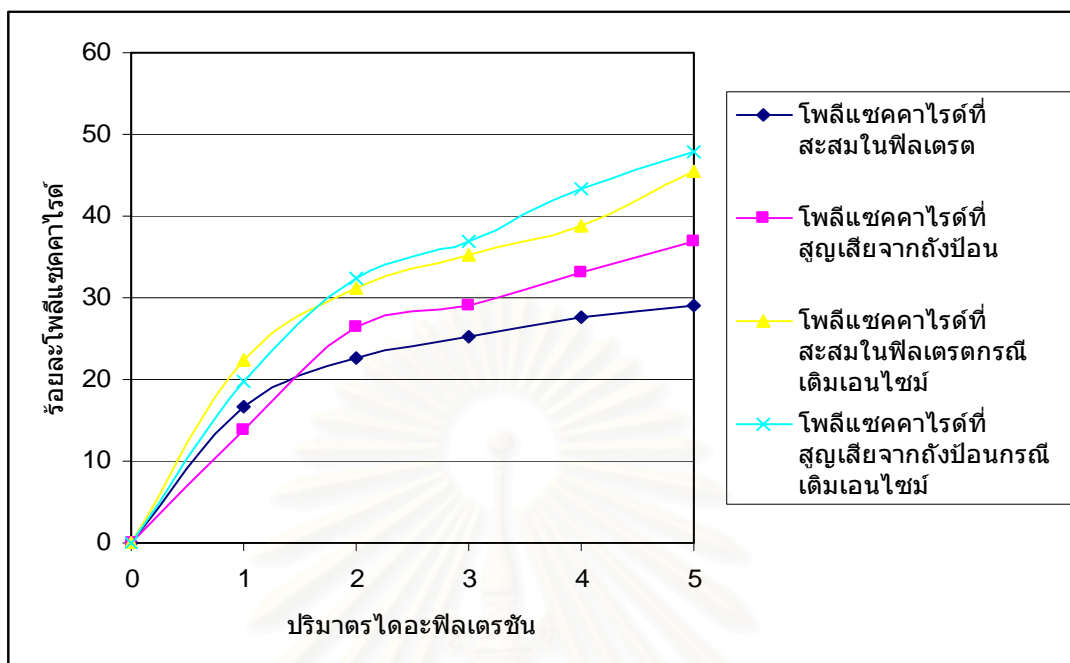
รูปที่ 4.18 ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ในสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการไดอะฟิลเตรชัน

จากการทดลองเมื่อเราพิจารณาฟลักซ์ของการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน พบว่าฟลักซ์ของการกรองนั้นมีค่าลดลงเมื่อใช้ปริมาณไดอะฟิลเตรชันเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.19) และจะเริ่มคงที่เมื่อกรองไปได้ 4 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน



รูปที่ 4.19 ฟลักซ์ของการกรองสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน

โดยทั่วไปการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน พบว่าฟลักซ์ของการกรองนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งกระบวนการ แต่สำหรับในการทดลองนี้จะเห็นว่าฟลักซ์ของการกรองมีค่าลดลงและเริ่มคงที่เมื่อผ่านกระบวนการกรองไปหลายปริมาตรของกระบวนการไดอะฟิลเตรชัน จากการทำคุณมวลสารพบว่า ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ที่อยู่ในฟิลเตรมีปริมาณน้อยกว่าโพลีแซคคาไรด์ที่สูญเสียจากถังป้อน ดังจะเห็นในรูปที่ 4.20 แสดงว่านอกจากจะสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ไปกับฟิลเตรแล้วยังมีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ไปในส่วนอื่นของเครื่องกรองอีก เมื่อเราหยุดการป้อนของสารแขวนลอยป้อนและหยุดการหมุนของตัวกรองพบว่าที่ผิวหน้าของตัวกรองมีชั้นเค้กเกิดขึ้นและภายในตัวกรองก็มีชั้นเค้กติดอยู่เช่นเดียวกัน ชั้นเค้กที่เกิดทำให้การส่งผ่านของไหลทำได้ดังนั้นฟลักซ์ของการกรองจึงมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์กับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ด



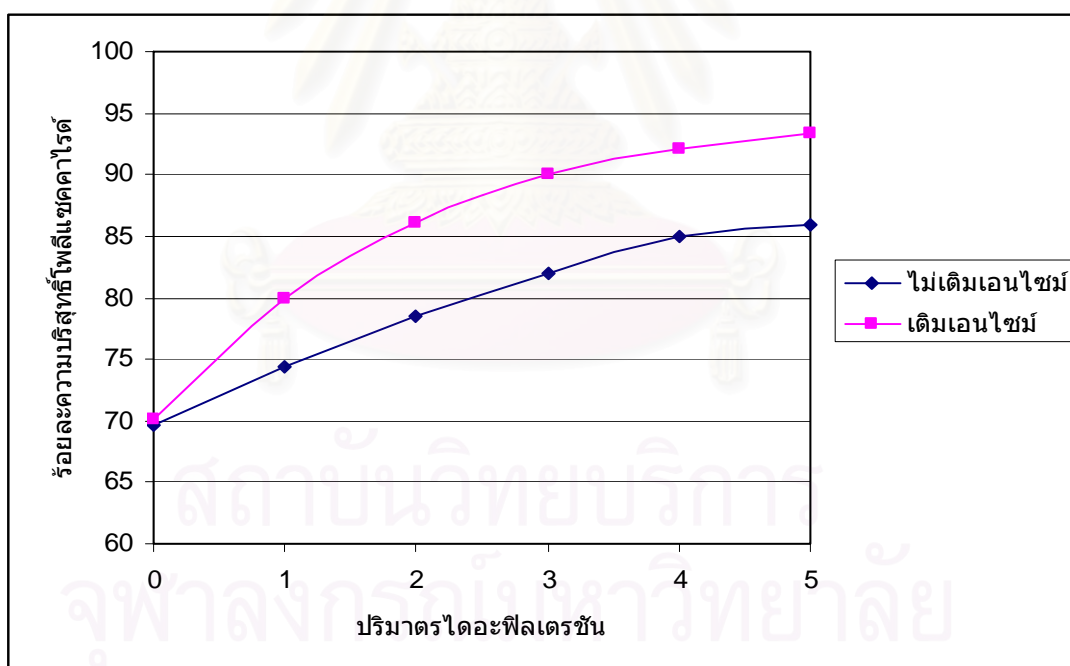
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมาณโพลีแซคคาไรด์สูญเสียในถังป้อนกับปริมาณโพลีแซคคาไรด์ที่สูญเสียไปในฟิลเตรต

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์และค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการไดอะฟิลเตรชัน

ปริมาณ ไดอะฟิลเตรชัน	ไม่เติมเอนไซม์		เติมเอนไซม์	
	เรย์โนลด์์ นัมเบอร์	เทย์เลอร์ นัมเบอร์	เรย์โนลด์์ นัมเบอร์	เทย์เลอร์ นัมเบอร์
0.00	50.76	8125.00	46.59	7459.01
1.00	58.91	9430.05	60.80	9732.62
2.00	68.08	10898.20	71.50	11446.54
3.00	72.88	11666.67	73.83	11818.18
4.00	77.35	12380.95	77.34	12380.95
5.00	81.21	13000.00	84.85	13582.08

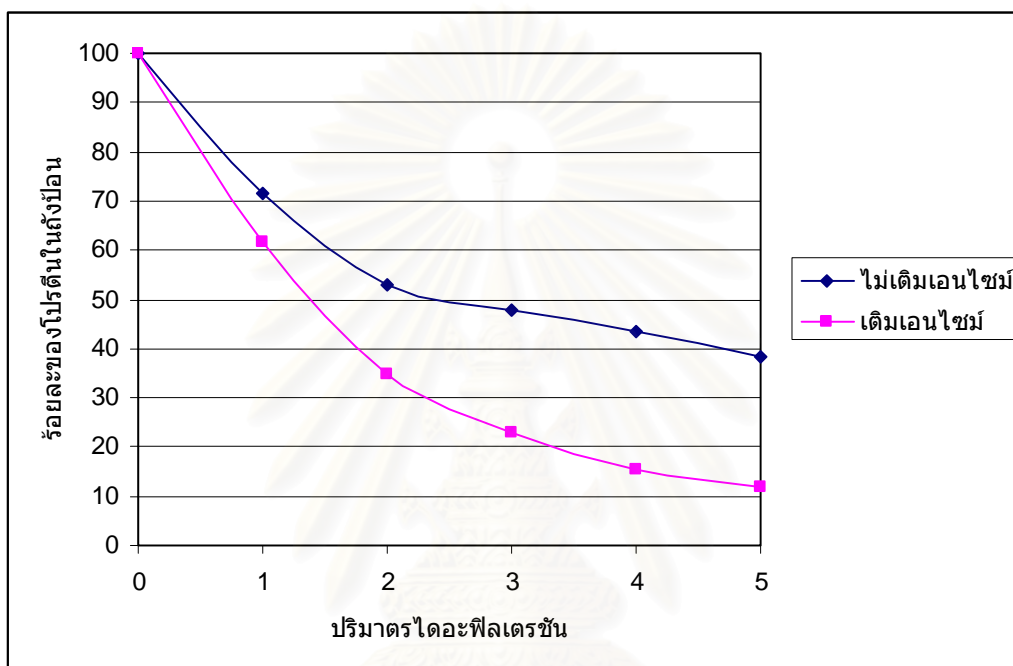
มะขามที่ผ่านกระบวนการไดอะฟิลเตรชันในตารางที่ 4.8 จะเห็นว่าค่าത്യเลอรั้นัมเบอร์หลังจากการผ่านกระบวนการไดอะฟิลเตรชันไป 2 ปริมาตร ค่าของത്യเลอรั้นัมเบอร์เกิน 10000 และค่าของเรย์โนลด์นัมเบอร์เกิน 70 ทำให้ลักษณะการไหลของสารแขวนลอยไม่เกิดการหมุนของത്യเลอรั้นัมเบอร์ ตามรูปที่ 2.6 ในบทที่ 2 ทำให้ไม่มีการหมุนที่ทำให้เกิดแรงเฉือนที่ผิวหน้าของตัวกรองเพื่อลดปริมาณเค้กจึงเกิดการสะสมของเค้กขึ้นและส่งผลให้ฟลักซ์ของการกรองลดลงด้วย

ในการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันเมื่อใช้น้ำหลายปริมาตรโพลีแซคคาไรด์ที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นดังรูปที่ 4.21 เห็นได้ว่าการเติมเอนไซม์ทำให้โพลีแซคคาไรด์มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น เพราะว่าการเติมเอนไซม์นั้นช่วยลดขนาดของโปรตีนลงและช่วยย่อยโปรตีนที่ติดกับโพลีแซคคาไรด์ทำให้โปรตีนสามารถหลุดผ่านตัวกรองไปได้อนุภาคโพลีแซคคาไรด์จึงมีความบริสุทธิ์มากขึ้น จากกราฟจะเห็นได้ว่าโพลีแซคคาไรด์เริ่มต้นนั้นอยู่ที่ร้อยละ 70 เมื่อกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันไป 5 ปริมาตรความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 85.98 ในกรณีที่ไม่ได้เติมเอนไซม์และเท่ากับร้อยละ 93.35 สำหรับกรณีที่เติมเอนไซม์ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์เมื่อผ่านการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน

ในรูปที่ 4.22 แสดงร้อยละของโปรตีนที่อยู่ในถังสายป้อนเมื่อใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชัน ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 38.40 สำหรับกรณีที่ไม่ได้เติมเอนไซม์และเท่ากับ 11.89 ในกรณีที่ได้เติมเอนไซม์ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการเติมเอนไซม์แม้จะเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนให้แก่สารแขวนลอยแต่ก็สามารถที่จะช่วยกำจัดโปรตีนได้เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 26.51



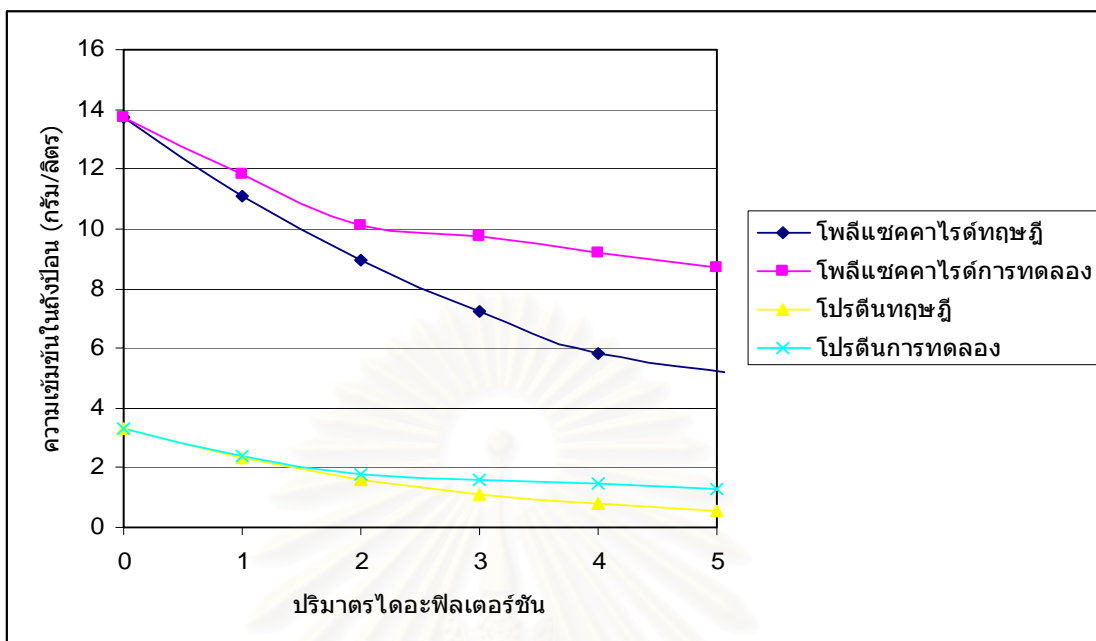
รูปที่ 4.22 ร้อยละของโปรตีนในถังป้อนที่ผ่านการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน

ผลสรุปการทดลองการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันแสดงในตารางที่ 4.9 สำหรับสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ และในตารางที่ 4.10 สำหรับสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ได้เติมเอนไซม์

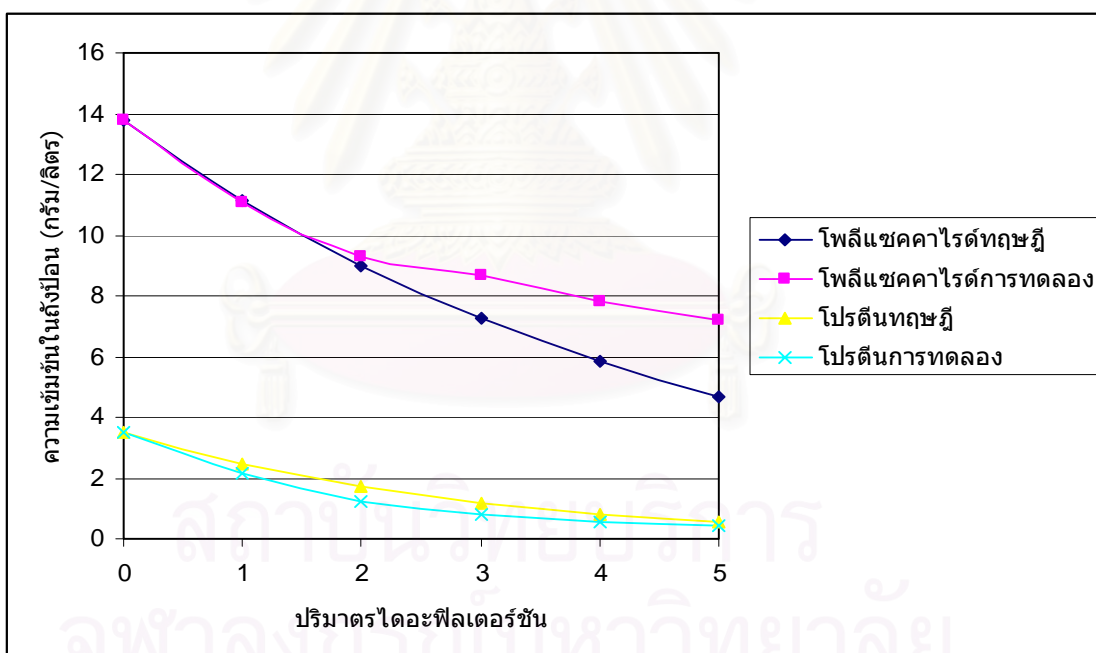
แนวโน้มของการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณไดอะฟิลเตรชันทำให้ได้ความบริสุทธิ์ของสารอนุภาคขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นและแยกอนุภาคขนาดเล็กได้มากขึ้นเช่นเดียวกับรายงานของ Larry, 2003

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองการทำไดอะฟิลเตรชันส่วนของความเข้มข้นอนุภาคที่อยู่ในถังป้อนที่คำนวณได้จากทฤษฎีและความเข้มข้นของอนุภาคที่ได้จากการทดลองเป็นไปดังรูปที่ 4.23 พบว่าความเข้มข้นของอนุภาคที่ได้จากการทดลองทั้งอนุภาคโพลีแซคคาไรด์และอนุภาคโปรตีนมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของอนุภาคที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีทั้งในกรณีที่ได้เติมเอนไซม์และในกรณีที่ไม่ได้เติมเอนไซม์

ไม่เต็มเอินไซม์ เพราะว่าผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ใช้ในการทดลองมีบางส่วนสามารถละลายได้ในน้ำ ในภาวะการทดลองตั้งต้นนั้นโพลีแซคคาไรด์ละลายถึงร้อยละ 26 และโปรตีนละลายถึงร้อยละ 28 ต่ออนุภาคส่วนใหญ่ไม่ละลายในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ดังนั้นในการหาค่าสัมประสิทธิ์รีเจคชันจึงได้ค่าต่ำกว่าที่เป็นจริง ดังจะเห็นได้จากเส้นกราฟโพลีแซคคาไรด์ในกรณีที่ไม่เต็มเอินไซม์ในรูปที่ 4.23 ก และในกรณีที่เต็มเอินไซม์รูปที่ 4.23 ข ความเข้มข้นโพลีแซคคาไรด์ที่อยู่ในถังป้อนที่ได้จากการทดลองมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากการคำนวณ ในช่วงแรกค่าความเข้มข้นของโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากการคำนวณและที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันเพราะว่าอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ขนาดเล็กที่ผ่านรูบนตัวกรองและอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ที่ละลายน้ำนั้นได้สูญเสียออกไปทำให้คงเหลือแต่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ถูกกักไว้ ดังเห็นได้จากกรณีที่ไม่เต็มเอินไซม์ความเข้มข้นของอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ทั้ง 2 แบบมีค่าในช่วงต้นใกล้เคียงกันจนผ่าน 2 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชันความเข้มข้นในถังป้อนจึงเริ่มแตกต่างกัน สำหรับโปรตีนนั้นจะเห็นว่าไม่แตกต่างกันเท่าไรนักเพราะนอกจากอนุภาคโปรตีนจะอยู่เป็นอนุภาคเดี่ยว ๆ แล้วอนุภาคโปรตีนยังเกาะติดอยู่กับอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ด้วย เมื่อกรองผ่านไปอนุภาคโพลีแซคคาไรด์บางส่วนละลายเพิ่มและถูกแรงเฉือนที่เกิดจากการกรองทำให้อนุภาคโพลีแซคคาไรด์และอนุภาคโปรตีนบางส่วนหลุดออกมาตลอดเวลา ดังนั้นอนุภาคโปรตีนที่ส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กจึงหลุดออกไปทำให้ความเข้มข้นที่คำนวณได้กับความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองจึงไม่แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ชัดในกรณีที่เต็มเอินไซม์เส้นกราฟของอนุภาคโปรตีนในรูปที่ 4.23 ข ความเข้มข้นของอนุภาคโปรตีนมีค่าใกล้เคียงกันตลอดปริมาตรไดอะฟิลเตรชันที่เต็ม



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบความเข้มข้นของอนุภาคในถังป้อนที่ได้จากทฤษฎีกับการทดลองสำหรับการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน

(ก) กรณีไม่เติมเอนไซม์

(ข) กรณีเติมเอนไซม์

ตารางที่ 4.9 สรุปผลการทดลองการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ไม่เติมเอนไซม์นิวเทรส

ปริมาณ ไดอะฟิลเตรชัน	ปริมาตรถัง ป้อน (มิลลิลิตร)	ปริมาตร ฟิลเตรต (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น โพลีแซคคาไรด์ ในถังป้อน (กรัม/ลิตร)	ร้อยละโพลี แซคคาไรด์ คงเหลือในถัง ป้อน	ความเข้มข้น โปรตีน ในถังป้อน (กรัม/ลิตร)	ร้อยละโปรตีน คงเหลือในถัง ป้อน	ความเข้มข้น โพลีแซคคาไรด์ ในฟิลเตรต (กรัม/ลิตร)	ร้อยละโพลี แซคคาไรด์ สูญเสียใน ฟิลเตรต	ความเข้มข้น โปรตีน ในฟิลเตรต (กรัม/ลิตร)	ร้อยละการ กำจัดโปรตีน ในฟิลเตรต
0.00	1000	0	13.752	100.0000	3.337	100.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
1.00	1000	1000	11.850	86.1716	2.384	71.4431	2.298	16.7065	1.339	40.1409
2.00	1000	2000	10.102	73.4579	1.771	53.0706	1.563	22.7253	0.946	56.7331
3.00	1000	3000	9.744	70.8517	1.590	47.6667	1.156	25.2121	0.708	63.6835
4.00	1000	4000	9.205	66.9360	1.444	43.2879	9.483	27.5798	0.589	70.5560
5.00	1000	5000	8.684	63.1453	1.281	38.3965	8.015	29.1294	0.496	74.2874

ตารางที่ 4.10 สรุปผลการทดลองการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ผ่านการเติมเอนไซม์นิวเทรส

ปริมาณ ไดอะฟิลเตรชัน	ปริมาตรถัง บ่อน (มิลลิลิตร)	ปริมาตร ฟิลเตรต (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น โพลีแซคคาไรด์ ในถังบ่อน (กรัม/ลิตร)	ร้อยละโพลี แซคคาไรด์ คงเหลือในถัง บ่อน	ความเข้มข้น โปรตีน ในถังบ่อน (กรัม/ลิตร)	ร้อยละโปรตีน คงเหลือในถัง บ่อน	ความเข้มข้น โพลีแซคคาไรด์ ในฟิลเตรต (กรัม/ลิตร)	ร้อยละโพลี แซคคาไรด์ สูญเสียใน ฟิลเตรต	ความเข้มข้น โปรตีน ในฟิลเตรต (กรัม/ลิตร)	ร้อยละการ กำจัดโปรตีน ในฟิลเตรต
0.00	1000	0	13.786	100.0000	3.528	100.0000	-	0.0000	-	0.0000
1.00	1000	1000	11.051	80.1609	2.171	61.5402	3.779	27.4103	1.859	52.6969
2.00	1000	2000	9.316	67.5753	1.232	34.9055	2.492	36.1508	1.331	75.4287
3.00	1000	3000	8.692	63.0498	0.805	22.8083	1.898	41.2936	1.006	85.5418
4.00	1000	4000	7.812	56.6653	0.549	15.5466	1.545	44.8268	0.821	93.0359
5.00	1000	5000	7.188	52.1383	0.419	11.8874	1.311	47.5527	0.682	96.6724

4.5 การทดลองการผสมผสานเทคนิคไดอะฟิลเตรชันและเทคนิคคอนเซนเตรชันประยุกต์ ร่วมกับการกรองโดยใช้ชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้

จากการทดลองการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันและเทคนิคไดอะฟิลเตรชันเราพบว่า การกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันนั้นทำให้ปริมาตรของสารแขวนลอยลดลง และช่วยลดอนุภาคขนาดเล็กไปได้แต่ก็ไม่ได้ช่วยทำให้ความบริสุทธิ์ของอนุภาคโพลีแซคคาไรด์เพิ่มขึ้น เพราะในสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่เป็นวัตถุดิบนั้นมีทั้งอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ขนาดใหญ่อนุภาคโพลีแซคคาไรด์ขนาดเล็กดังนั้นจึงมีการสูญเสียอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ด้วย ส่วนโปรตีนนั้นพบว่ามีทั้งอนุภาคที่เป็นอนุภาคเดี่ยวและเกาะติดกับอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ การใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันจึงทำให้อนุภาคขนาดเล็กผ่านตัวกรองออกมามาก จากการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันเราพบว่าเมื่อดำเนินการกรองไป 1.42 คอนเซนเตรชันแฟคเตอร์ จะมีความเข้มข้นโพลีแซคคาไรด์อยู่ประมาณ 14 กรัมต่อลิตร และเมื่อกรองไป 1.66 คอนเซนเตรชันแฟคเตอร์ ความเข้มข้นของโพลีแซคคาไรด์เพิ่มขึ้นเป็น 1.7 กรัมต่อลิตร จากงานวิจัยของ พวงเพ็ชร, 2521 พบว่า ถ้าความเข้มข้นโพลีแซคคาไรด์ถ้ามีมากกว่าร้อยละ 1.5 ของไหลนั้นจะมีการไหลแบบ นันนิวโทเนียน นอกจากนี้จะเห็นว่าฟลักซ์ของการกรองลดลงมากดังนั้นจึงเลือกการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันที่ 1.11, 1.25 และ 1.43 เพื่อทำการกรองต่อด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันต่อไป

ผลการทดลองการผสมผสานการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันและเทคนิคไดอะฟิลเตรชันนั้นแสดงในตารางที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 จากตารางผลการทดลองเมื่อเริ่มจากค่าคอนเซนเตรชันแฟคเตอร์เท่ากับ 1.11, 1.25 และ 1.43 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มค่าคอนเซนเตรชันแฟคเตอร์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ที่อยู่ในถังบ่อนคงเหลือต่างกันไม่มากโดยเท่ากับ 42.64, 44.78 และ 45.23 ตามลำดับ แต่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่อยู่ในถังบ่อนเนื่องจากโปรตีนในถังบ่อนมีค่าสูงขึ้น (กำจัดโปรตีนได้น้อยลง) เมื่อพิจารณาความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์พบว่าความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มค่าคอนเซนเตรชันแฟคเตอร์ตามตารางที่ 4.14 จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำไดอะฟิลเตรชันมีผลต่อการกำจัดโปรตีนและอนุภาคอื่น ๆ ได้ดังในรูปที่ 4.24

ตารางที่ 4.11 สรุปผลการทดลองการผสมผสานเทคนิคคอนเซนเตรชันและไดอะฟิลเตรชันที่ 1.11 คอนเซนเตรชันแฟคเตอร์ และ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน

สภาวะ	ถังป้อน					ฟิลเตรต				
	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	โพลีแซคคาไรด์		โปรตีน		ปริมาตร (มิลลิลิตร)	โพลีแซคคาไรด์		โปรตีน	
		ร้อยละ ความเข้มข้น	ร้อยละ คงเหลือ	ร้อยละ ความเข้มข้น	ร้อยละ คงเหลือ		ร้อยละ ความเข้มข้น	ร้อยละ สูญเสีย	ร้อยละ ความเข้มข้น	ร้อยละ กำจัด
Start	1000	1.3709	100.0000	0.3881	100.0000	0	-	0.0000	-	0.0000
1.11 x Concentration	900	1.4051	92.2444	0.3773	87.4914	100	0.3897	2.8429	0.2238	5.7653
1 x Diafiltration	900	1.1077	72.7182	0.2399	55.6284	1000	0.2606	16.1634	0.1643	42.3374
2 x Diafiltration	900	0.8547	56.1097	0.1511	35.0318	1900	0.1966	24.4095	0.1226	60.0293
3 x Diafiltration	900	0.7897	51.8454	0.0979	22.7090	2800	0.1609	30.0210	0.0964	69.5355
4 x Diafiltration	900	0.6974	45.7855	0.0731	16.9438	3700	0.1372	34.1731	0.0795	75.8289
5 x Diafiltration	900	0.6496	42.6434	0.0418	9.6822	4600	0.1210	37.7641	0.0683	80.9340

ตารางที่ 4.12 สรุปผลการทดลองการผสมผสานเทคนิคคอนเซนเตรชันและไดอะฟิลเตรชันที่ 1.25 คอนเซนเตรชันแฟคเตอร์ และ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน

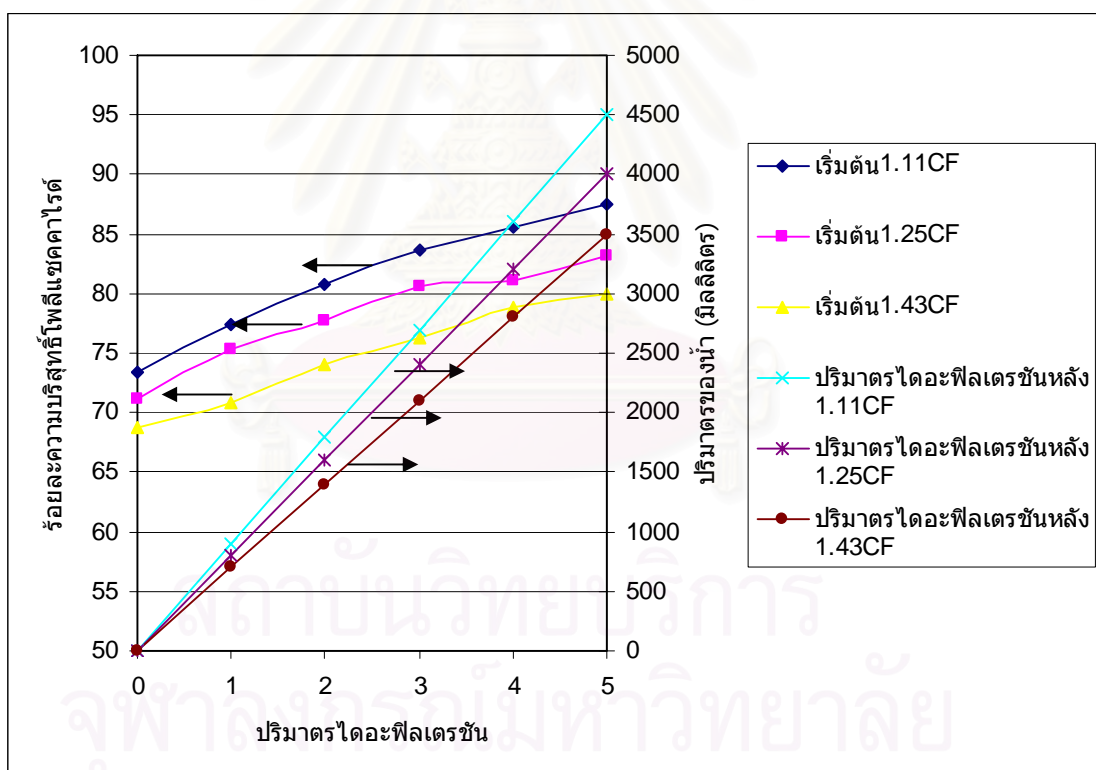
สภาวะ	ถังป้อน					ฟิลเตรต				
	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	โพลีแซคคาไรด์		โปรตีน		ปริมาตร (มิลลิลิตร)	โพลีแซคคาไรด์		โปรตีน	
		ร้อยละ ความเข้มข้น	ร้อยละ คงเหลือ	ร้อยละ ความเข้มข้น	ร้อยละ คงเหลือ		ร้อยละ ความเข้มข้น	ร้อยละ สูญเสีย	ร้อยละ ความเข้มข้น	ร้อยละ กำจัด
Start	1000	1.3573	100.0000	0.3671	100.0000	0	-	0.0000	-	0.0000
1.25 x Concentration	800	1.3778	81.2091	0.3686	80.3309	100	0.6015	4.4317	0.2113	5.7567
1 x Diafiltration	800	1.2103	71.3350	0.2665	58.0765	1000	0.2615	14.8335	0.1540	41.9531
2 x Diafiltration	800	1.0291	60.6549	0.1757	38.3040	1900	0.1809	20.8986	0.1186	61.3890
3 x Diafiltration	800	0.9504	56.0202	0.1116	24.3226	2800	0.1470	25.8969	0.0916	69.9082
4 x Diafiltration	800	0.8239	48.5642	0.0805	17.5388	3700	0.1238	29.3226	0.0748	75.3598
5 x Diafiltration	800	0.7597	44.7758	0.0569	12.4095	4600	0.1085	32.3453	0.0630	78.9396

ตารางที่ 4.13 สรุปผลการทดลองการผสมผสานเทคนิคคอนเซนเตรชันและไดอะฟิลเตรชันที่ 1.43 คอนเซนเตรชันแฟคเตอร์ และ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน

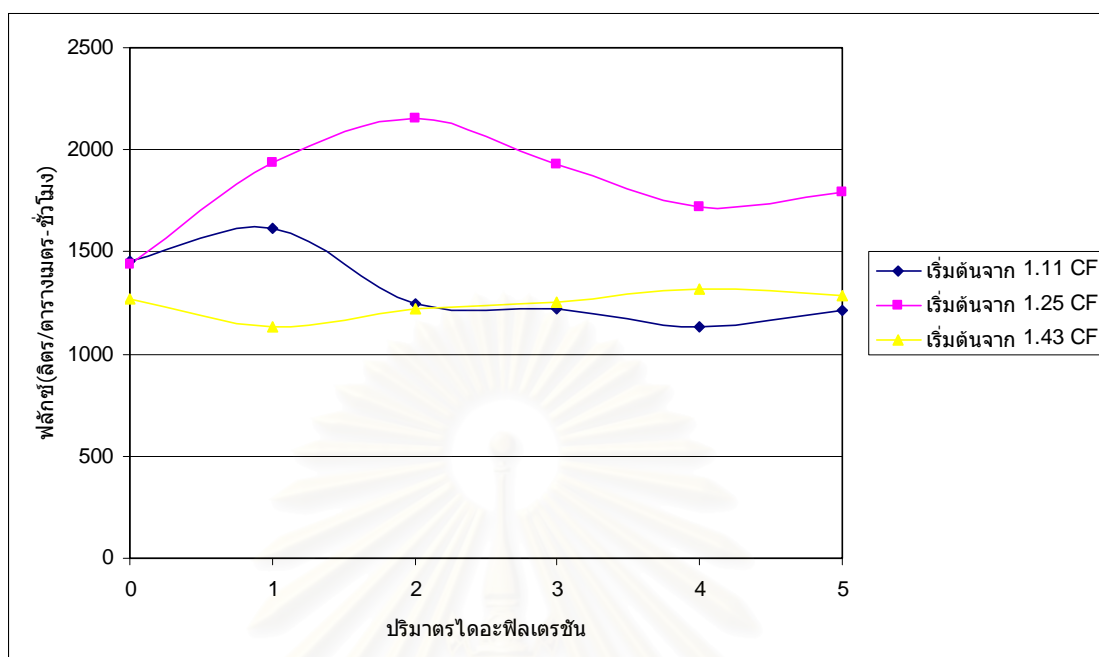
สภาวะ	ถังป้อน					ฟิลเตรต				
	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	โพลีแซคคาไรด์		โปรตีน		ปริมาตร (มิลลิลิตร)	โพลีแซคคาไรด์		โปรตีน	
		ร้อยละ ความเข้มข้น	ร้อยละ คงเหลือ	ร้อยละ ความเข้มข้น	ร้อยละ คงเหลือ		ร้อยละ ความเข้มข้น	ร้อยละ สูญเสีย	ร้อยละ ความเข้มข้น	ร้อยละ กำจัด
	เริ่มต้น	1000	1.3333	100.0000	0.3623	100.0000	0	-	0.0000	-
1.43 x Concentration	900	1.0796	72.8718	0.3039	75.5003	100	0.9271	6.9533	0.4731	13.0580
1 x Diafiltration	900	0.9945	67.1282	0.2155	53.5359	1000	0.2889	14.7179	0.1507	41.6027
2 x Diafiltration	900	0.9067	61.2051	0.1410	35.0183	1900	0.1942	20.7232	0.1120	58.7539
3 x Diafiltration	900	0.8030	54.2051	0.0992	24.6412	2800	0.1513	24.8302	0.0884	68.2877
4 x Diafiltration	900	0.7233	48.8205	0.0725	18.0042	3700	0.1229	27.1635	0.0734	74.9588
5 x Diafiltration	900	0.6701	45.2308	0.0601	14.9240	4600	0.1041	28.9584	0.0613	77.8556

ตารางที่ 4.14 ร้อยละความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์เมื่อผ่านการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชัน และเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน

Concentration factor	1.11	1.25	1.43
1 X Diafiltration	73.39	71.18	68.75
2 X Diafiltration	77.38	75.32	70.75
3 X Diafiltration	80.78	77.78	74.04
4 X Diafiltration	83.68	80.58	76.25
5 X Diafiltration	85.56	81.14	78.81



รูปที่ 4.24 ร้อยละความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์, ปริมาณน้ำที่ใช้กับปริมาณไดอะฟิลเตรชัน



รูปที่ 4.25 ฟลักซ์ของการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันหลังจากผ่านการทำคอนเซนเตรชันแพคเตอร์ต่าง ๆ

จากการทดลองเมื่อเราพิจารณาฟลักซ์ของการกรองในรูปที่ 4.25 พบว่า ฟลักซ์ของการกรองเมื่อทำ 1.11 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์ในช่วงต้นมีค่าสูงกว่าฟลักซ์ของการกรองด้วย 1.43 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์ แต่ในช่วงหลังค่าฟลักซ์มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากในช่วงต้นของการทดลองความหนืดของสารแขวนลอยที่ได้จากการทำ 1.43 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์มีค่าสูงกว่ากรณี 1.11 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์ ดังนั้นฟลักซ์ที่ได้จึงมีค่าต่ำกว่า สำหรับในกรณีของการกรองด้วย 1.25 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์นั้นพบว่าค่าฟลักซ์ตลอดทั้งกระบวนการมีค่าที่สูงกว่าอีก 2 กรณี เนื่องจากความหนืดของสารแขวนลอยมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่อเทียบกับกรณีของการกรองด้วย 1.11 คอนเซนเตรชันแต่ปริมาณที่ใช้ในการกรองนั้นมีปริมาตรน้อยและอยู่ในช่วงการหมุนของเทอร์เลอร์ และค่าแรงเฉือนที่ผิวหน้ามีค่าสูงกว่ากรณี 1.11 คอนเซนเตรชัน เมื่อเทียบการทำ 1.25 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์กับ 1.43 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์ความหนืดในกรณีของ 1.43 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์มีค่าสูงกว่าดังนั้นแรงเฉือนที่ผิวหน้าตัวกรองจึงมีค่าน้อยกว่าทำให้ฟลักซ์ของการกรองมีค่าน้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกวิธีการกรองด้วย 1.25 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์และ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชันในการทำการทดลองเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป



รูปที่ 4.26 การผลิตโพลีแซคคาไรด์จากผงเนื้อในเมทิลเมทาครีเลต

ขั้นตอนในการผลิตโพลีแซคคาไรด์จากผงเนื้อในเมล็ดมะขามเป็นดังรูปที่ 4.26 คือ นำผงเนื้อในเมล็ดมะขามมากระจายตัวในน้ำ 20 กรัมต่อลิตรเติมเอนไซม์นิวเทรส ร้อยละ 0.01 กวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 นาที กรองสารแขวนลอยด้วยชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้ด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันเท่ากับ 1.25 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์ กรองสารแขวนลอยต่อด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันอีก 5 ไดอะฟิลเตรชัน เพิ่มอุณหภูมิสารแขวนลอยในถังป้อนที่ 85 องศาเซลเซียส นำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลายกับตะกอน นำสารละลายมาตกตะกอนโพลีแซคคาไรด์ในแอลกอฮอล์ 1.5 เท่าของปริมาตรสารละลาย อบตะกอนให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วบดตะกอนจะได้ผงโพลีแซคคาไรด์

การผลิตโพลีแซคคาไรด์ตามวิธีในรูปที่ 4.26 ซึ่งผลการทดลองเราสรุปได้ดังตารางที่ 4.15 จากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัม ในนั้นประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ 13.5726 กรัม และโปรตีน 3.6705 กรัม ที่เหลือเป็นปริมาณอนุภาคอื่น ๆ ซึ่งมีความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์เท่ากับร้อยละ 67.86 เมื่อผ่านกระบวนการทั้งหมดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนัก 5.3247 กรัม มีผลได้ของผลิตภัณฑ์ร้อยละ 26.62 ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ 5.0479 กรัม โปรตีน 0.0927 กรัมและความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 96.71 กรัม มีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 62.06 และการกำจัดโปรตีนร้อยละ 97.47 จากการทดลองที่สรุปในตารางที่ 4.15 พบว่าในแต่ละกระบวนการที่ทำการจะมีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์และการกำจัดโปรตีนที่ไม่เท่ากัน

ขั้นตอนแรกการกรองด้วยเทคนิคคอนเซนเตรชันจะมีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ออกไปร้อยละ 18.79 และการกำจัดโปรตีนร้อยละ 19.67 โพลีแซคคาไรด์ที่สูญเสียไปจากส่วนนี้ส่วนใหญ่จะเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีขนาดเล็กและโพลีแซคคาไรด์ที่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง และโพลีแซคคาไรด์บางส่วนติดอยู่ที่ตัวกรอง สำหรับโปรตีนก็เป็นในทำนองเดียวกัน

ขั้นตอนการทำไดอะฟิลเตรชันมีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 44.06 โพลีแซคคาไรด์ที่สูญเสียไปในขั้นตอนนี้จากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ที่มีขนาดเล็กและโพลีแซคคาไรด์บางส่วนที่เมื่อขนาดเล็กจะสามารถละลายได้เนื่องจากน้ำที่ใช้มีปริมาณมาก สำหรับโปรตีนนั้นจะมีการกำจัดร้อยละ 84.55 โปรตีนที่ถูกกำจัดไปในกระบวนการนี้มีปริมาณที่สูงมากเนื่องจากอนุภาคโปรตีนนั้นมีขนาดเล็กและกระจายตัวในน้ำ ดังนั้นเมื่อใช้น้ำปริมาณมากทำให้สามารถพาอนุภาคโปรตีนผ่านผ้ากรองไปได้มาก

ขั้นตอนในการให้อุณหภูมิแก่สารแขวนลอยแล้วปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลายกับตะกอนออกจากกัน มีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 14.21 และมีการกำจัดโปรตีนเพิ่มร้อยละ 65.69 การเพิ่มขึ้นของร้อยละการกำจัดโปรตีนเนื่องจากการให้ความร้อนแก่สารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

ทำให้อนุภาคโพลีแซคคาไรด์ละลาย อนุภาคโปรตีนที่เกาะติดอยู่ด้านในอนุภาคโพลีแซคคาไรด์หลุดออกมาสามารถแยกตะกอนออกด้วยแรงเหวี่ยง

ในขั้นตอนสุดท้ายตกตะกอนโพลีแซคคาไรด์ด้วยแอลกอฮอล์ปริมาตร 1.5 เท่าของปริมาตรสารละลาย (การเลือกใช้ปริมาตรแอลกอฮอล์ 1.5 เท่าเพราะในงานวิจัยของ พวงเพชร นิธยานนท์, 2521 พบว่าการใช้ปริมาตรของสารละลายแอลกอฮอล์ที่ 1.5 เท่าของปริมาตรสารแขวนลอยสามารถตกตะกอนโพลีแซคคาไรด์ได้ดีที่สุด) โพลีแซคคาไรด์สูญเสียเล็กน้อยแต่สามารถกำจัดโปรตีนได้อีกร้อยละ 40.69 เพราะโปรตีนบางส่วนไม่ตกตะกอนในสารละลายแอลกอฮอล์แต่ก็มีบางส่วนตกตะกอนในแอลกอฮอล์

ตารางที่ 4.16 แสดงผลเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์โพลีแซคคาไรด์จากผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ได้จากการผลิตวิธีต่าง ๆ พบว่าในงานวิจัยนี้มีผลได้ของผลิตภัณฑ์เท่ากับร้อยละ 26.62 น้อยกว่างานวิจัยของพวงเพชร นิธยานนท์, 2521 (1978) ซึ่งได้ผลได้เท่ากับร้อยละ 80 แต่ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Teraoka และคณะ, 1990, วารี จารุพัฒนายนต์, 2543, กิตติพงษ์ รัตนภรณ์, 2544, นิภาวดี แสงยนต์, 2545, ซึ่งผลได้ของผลิตภัณฑ์ประมาณร้อยละ 25 – 29 แต่ในงานวิจัยนี้มีปริมาณโพลีแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์เท่ากับ 96.71 มากกว่าในงานวิจัยอื่น ๆ และมีปริมาณโปรตีนคงเหลือในผลิตภัณฑ์น้อยกว่างานวิจัยอื่น ๆ ด้วย

สำหรับผลได้ของผลิตภัณฑ์ในงานวิจัยนี้ที่ได้น้อยพบว่าส่วนใหญ่ของมีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์อยู่ในช่วงกระบวนการกรองร้อยละ 88.97 เมื่อเทียบกับการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมด แต่ร้อยละการกำจัดโปรตีนในกระบวนการกรองสามารถกำจัดโปรตีนได้เท่ากับ 89.96 เมื่อเทียบกับร้อยละการกำจัดโปรตีนทั้งหมด

ในงานวิจัยของพวงเพชร นิธยานนท์ มีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ระหว่างกระบวนการประมาณร้อยละ 36 แต่ในงานวิจัยนี้กระบวนการเติมสารละลายเอทานอลเพื่อตกตะกอนโพลีแซคคาไรด์มีร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 16.93 และกำจัดโปรตีนได้ร้อยละ 79.65 ดังนั้นในกระบวนการนี้เมื่อเปรียบเทียบกับพบว่า งานวิจัยนี้มีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์น้อยกว่าและมีร้อยละการกำจัดโปรตีนที่ดีกว่า

ตารางที่ 4.15 สรุปผลการผลิตโพลีแซคคาไรด์จากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

กระบวนการ	น้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ (กรัม)	โพลีแซคคาไรด์				โปรตีน				ความบริสุทธิ์ ของโพลีแซค คาไรด์ใน ผลิตภัณฑ์
		ปริมาณใน ผลิตภัณฑ์ (กรัม)	ร้อยละ คงเหลือใน ผลิตภัณฑ์	ร้อยละการ สูญเสียในแต่ ละ กระบวนการ	ร้อยละการ สูญเสียรวม	ปริมาณใน ผลิตภัณฑ์ (กรัม)	ร้อยละ คงเหลือใน ผลิตภัณฑ์	ร้อยละการ กำจัดในแต่ ละ กระบวนการ	ร้อยละการ กำจัดรวม	
เริ่มต้น	20.0000	13.5726	100.00	0.00	0.00	3.6705	100.00	0.00	0.00	67.86
1.25 CF	15.4840	11.0222	81.21	18.79	18.79	2.9486	80.33	19.67	19.67	71.18
5 DV	7.3060	6.0773	44.77	44.06	55.22	0.4555	12.41	84.55	87.59	83.81
ปั่นเหวี่ยง	5.6146	5.2138	38.41	14.21	61.59	0.1563	4.26	65.69	95.74	92.86
ผลิตภัณฑ์	5.3247	5.0479	37.96	1.23	62.06	0.0927	2.52	40.69	97.47	96.71

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์โพลีแซคคาไรด์จากผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ได้จากการผลิตวิธีต่าง ๆ

วิธีการผลิต	ปริมาณโปรตีนผลิตภัณฑ์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ผลได้ของผลิตภัณฑ์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	แหล่งที่มา
1. แอร์ คลาสสิฟิเคชัน	6.7	79.7	2.6	10.2	Deguchi และ Shiba, 1966
2. ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ร่วมกับน้ำ	ไม่มีข้อมูล	26	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	Gordon, 1968
3. ใช้เอนไซม์ไดเอสเทส ร่วมกับเอนไซม์ปาเปน และสกัดด้วยสารละลายเอทานอล	13.43	80	1.42	80	พวงเพชร นิธยานนท์, 2521
4. ไฮโดรไลโคลนจำนวน 36 ตัว	<3	94	<1	25	Teraoka และคณะ, 1990
5. ใช้คลื่นเหนือเสียง ร่วมกับการกรองด้วยเครื่องกรองกรองชนิดไหลผ่านตัวกรองและชะเค็ก 4 ครั้ง	4.844	93.62	1.54	29	วารีย์ จารูวัฒนายนต์, 2543
6. ใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้	9.70	66.41	5.10	29.03	กิตติพงษ์ รัตนภรณ์, 2544
7. ใช้เอนไซม์นิวเทรส ร่วมกับเครื่องกรองชนิดไหลผ่านตัวกรองและกวาดผิวหน้าตัวกรอง	<3	รายงานแต่ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 58.27	0.43	28.4	นิภาวดี แสงยนต์, 2545
8. ใช้เทคนิคคอนเซนเตรชัน ไดอะฟิลเตรชันและเอนไซม์นิวเทรสร่วมกับเครื่องกรองชนิดหมุนได้	1.74	96.71	ไม่มีข้อมูล	26.62	งานวิจัยนี้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่เป็นวัตถุดิบ มีปริมาณโพสเฟตคาไรด์ร้อยละ 62.32-73.48 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 14.72-16.09 และองค์ประกอบอื่นๆ อีกร้อยละ 6.35 - 14.14 และมีอนุภาคเฉลี่ยเมื่อกระจายตัวในน้ำเท่ากับ 25.23 ไมโครเมตร

2. การเติมเอนไซม์นิวเทรลช่วยในการย่อยอนุภาคโปรตีนและทำให้อนุภาคโพสเฟตคาไรด์ที่ยึดติดกันด้วยอนุภาคโปรตีนมีขนาดเล็กลง ทำให้ขนาดอนุภาคโดยรวมมีขนาดเฉลี่ยลดลง โดยขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 19.33 ไมโครเมตร

3. ความหนืดของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเท่ากับ 2.24 เซนติปอยส์ และเมื่อเติมเอนไซม์นิวเทรล ร้อยละ 0.01 เท่ากับ 2.86 เซนติปอยส์

4. การเพิ่มอุณหภูมิให้สารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่อุณหภูมิ 30, 50, 70 และ 85 องศาเซลเซียส พบว่ามีการละลายของโพสเฟตคาไรด์เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 26.61, 42.45, 67.87 และ 92.64 ตามลำดับ

5. การคัดเลือกผ้ากรองใยสังเคราะห์ที่นำมาทำเป็นตัวกรองโดยมีขนาดรูพรุนเท่ากับ 20, 25 และ 35 ไมโครเมตรขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ผ่านผ้ากรองได้มีค่าเท่ากับ 9.63, 12.45, และ 16.92 ไมโครเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์รีเจคชันโพสเฟตคาไรด์เท่ากับ 0.7850, 0.7206 และ 0.6124 ค่าสัมประสิทธิ์รีเจคชันโปรตีนเท่ากับ 0.6356, 0.5717 และ 0.5363 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกผ้ากรองชนิดที่ 1 เพื่อทำเป็นตัวกรองสำหรับเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้ต่อไป

6. การประยุกต์ใช้เทคนิคคอนเซนเตรชันในการกรองด้วยชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้นั้น พบว่า พลั๊กซ์ของการกรองมีค่าลดลง และประมาณค่าเจลคอน

เซนเตรชันได้เท่ากับ 68.96 และ 75.22 กรัมต่อลิตร และค่าคงที่ของการกรองเท่ากับ 733.74 และ 616.84 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง สำหรับสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามและสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่เติมเอนไซม์ตามลำดับ ในการใช้เทคนิคคอนเซนเตรชันนั้นไม่สามารถแยกสารแขวนลอยให้บริสุทธิ์ได้ เพียงแต่เป็นการลดปริมาตรของสารแขวนลอยและช่วยลดอนุภาคโปรตีนและอนุภาคอื่น ๆ ในสารแขวนลอย ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์ที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 70 – 75 และค่าคอนเซนเตรชันแพคเตอร์ที่เหมาะสมในการลดปริมาตรสารแขวนลอยคือ ไม่เกิน 1.43 (ปริมาตรเริ่มต้น 1000 มิลลิลิตร ลดลงเหลือปริมาตร 700 มิลลิลิตร) มีค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนไม่เกินร้อยละ 12 ในกรณีที่ไม่ได้เติมเอนไซม์และร้อยละ 17 ในกรณีที่เติมเอนไซม์ ค่าร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ไม่เกินร้อยละ 10 ทั้งในกรณีที่ไม่ได้เติมเอนไซม์และกรณีที่เติมเอนไซม์

7. การประยุกต์ใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันในการกรองด้วยชุดเครื่องกรองแบบไหลขนานตัวกรองและตัวกรองหมุนได้นั้น พบว่า พลั๊กซ์ของการกรองมีค่าลดลงและเริ่มคงที่เมื่อใช้ปริมาณน้ำผ่านไปมากกว่า 3 ปริมาตร และการกระจายของอนุภาคในสารแขวนลอยนั้นอนุภาคที่มีขนาดเล็กที่อยู่ในสารแขวนลอยเมื่อใช้ปริมาณน้ำหลายปริมาตรมีปริมาณอนุภาคขนาดเล็กลดลงด้วยความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านน้ำไป 5 ปริมาตรพบว่า ในกรณีที่ไม่ได้เติมเอนไซม์มีค่าเท่ากับร้อยละ 85.98 และในกรณีที่เติมเอนไซม์เท่ากับร้อยละ 93.35 มีร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 37.15 และ 47.86 มีค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนเท่ากับร้อยละ 61.60 และ 88.12 ตามลำดับ

8. การผสมผสานเทคนิคคอนเซนเตรชันและไดอะฟิลเตรชันในการกรองสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ผ่านการเติมเอนไซม์ โดยเลือกการทำคอนเซนเตรชันเท่ากับ 1.11, 1.25 และ 1.43 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์แล้วกรองต่อด้วย 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน พบว่า ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์มีค่าลดลงโดยเท่ากับร้อยละ 85.56, 81.14 และ 78.81 และสามารถกำจัดโปรตีนได้ร้อยละ 90.32, 87.59 และ 85.08 ตามลำดับ สำหรับพลั๊กซ์ของการกรองในช่วงการทำไดอะฟิลเตรชันพบว่า พลั๊กซ์ของการกรองที่เริ่มต้นจากการทำ 1.25 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์มีค่าเฉลี่ยโดยรวมสูงที่สุด

9. การใช้เทคนิคคอนเซนเตรชันร่วมกับเทคนิคไดอะฟิลเตรชันเพื่อการกรองสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามร่วมที่เติมเอนไซม์นิวเทรสนั้น โดยกรองด้วย 1.25 คอนเซนเตรชันแพคเตอร์ดำเนินการต่อด้วย 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชันแล้วให้อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

จากนั้นตกตะกอนด้วยสารละลายแอลกอฮอล์ 1.5 เท่า จากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนัก 5.3247 กรัม มีผลได้ของผลิตภัณฑ์ร้อยละ 26.62 ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ 5.0479 กรัม โปรตีน 0.0927 กรัมและความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 96.71 กรัม มีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 62.06 และการกำจัดโปรตีนร้อยละ 97.47

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้พบว่าการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ในระหว่างกระบวนการกรองเป็นจำนวนมากโดยสูญเสียร้อยละ 88.97 ของการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมด เนื่องจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์มีขนาดเล็ก และอนุภาคโพลีแซคคาไรด์บางส่วนละลายเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการศึกษาต่อไปควรที่จะคัดเลือกตัวกรองที่มีขนาดรูบนตัวกรองเล็กลง เพื่อลดการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ที่เสียไปกับกระบวนการกรอง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กิติพงษ์ รัตนภรณ์. การแยกโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิด
หมุนได้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต วิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2544
- ทะนง ภัคศรีพันธุ์. เมล็ดมะขามและกัม. **วารสารอุตสาหกรรมเกษตร**. 2(2534):29-34.
- นิภาวดี แสงยนต์. การแยกโปรตีนผงมะขามโดยใช้โปรตีนเอส. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต วิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- ประสิทธิ์ ชูติชูเดช. มะขาม. **พืชผักยืนต้น**. 70-72. อภิชาติการพิมพ์ มหาสารคาม
- ปราณี กิตติอนงค์. การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันในกระบวนการกำจัดความขมออก
จากสเปนท์บิวเวอร์อีสต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
- ปราณี อานเป็รื่อง. **เอ็นไซม์ทางอาหาร**. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
- พวงเพ็ชร นิธยานนท์. การผลิตและการใช้ประโยชน์ของกัมจากเมล็ดมะขาม. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2521
- มนตรี จุฬาวัดมนพล และคณะ. **ชีวเคมี** ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล, 2542
- รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ. มะขาม. **พืชเครื่องเทศและสมุนไพร**. 188-192. โอ.เอส.พรีนติ้งเฮาส์
กรุงเทพฯ.
- วารี จารุวัฒนายนต์. **การผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามจากผงเนื้อในเมล็ด
มะขามโดยการกรอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2543
- ศิริรัตน์ วรรณะศิริ. **การผลิตกรรมจากเมล็ดมะขาม**. รายงานสัมมนา ภาควิชา
เทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2539

ภาษาอังกฤษ

- Andersen Ole. and Bojgaard Svend Erik. A cheese-like product, a process of its preparation and the use thereof. **E.P. Patent.** 0261586, 1988
- Anne S., et al. Concentration and desalination of fish gelatin by ultrafiltration and continuous diafiltration process. *Desalination* 144 (2002) 313-318
- AOAC. **Official method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.** 16 th. ed. Washington, D.C. the Association of Official Analytical Chemists 1995.
- Das, D.B. and Basak, KK. A study of the viscosity of Decorticated Tamarind Seed Powder. *J. Ind. Chem. Soc.* 1950;27(3):115-122
- Deguchi Y. and Shiba T. Process for obtaining Tamarind seed Jellose. **U.S. Patent.** 3287350, 1966
- Dubois M., et. al. **Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances.** *Analytical Chemistry.* 1956:28(3) ;350-356
- Glickman M. Gum technology in the food Industry. New York: Academic Press, 1969
- Gordon AL. Tamarind Seed Polysaccharides Recovery. **U.S. Patent.** 3399189, 1968
- Iain E.P. Taylor. and Edward D.T. Atkins. X-ray diffraction studies on the xyloglucan from tamarind (*Tamarindus indica*) seed. *FEBS.* 1985; 181(2): 300-302
- Johansson L. and S. Kashemsanta. Industrial uses of Tamarind "Separation of tamarind seed testae". **ASRCT.pp.** 1969
- Jones et. Al. Purification of Tamarind Gum. **U.S. Patent.** 4074043, 1978
- Kooiman P. The Constitution of Tamarindus Amyloid. *Rec.Trav.Chem.* 1961; 80(7):849-865
- Larry S. Deasltng and Buffer Exchange by Dialysis, Gel filtration or Diafiltration. Life Science
pn 33290 USA.
- Lieberherr J. Hydrodynamics of the Annular Gap Flow between Permeable Cylinder Walls. **ESCHER WYSS NEWS.** 2/1978-1/1979 : 24-30

- Murase et.al. High-speed microfiltration using a rotating, cylindrical, ceramic membrane. **Int. Chem. Eng.** 1991; 31(2):370-378
- Nieman C. et.al. Arabinose-Containing Oligosaccharides from Tamarind Xyloglucan. **Starch/Starke.** 1997;49(4):154-159
- Sandford. Clarified Tamarind Kernel Powder. **U.S. Patent.** 4429121, 1984
- Savur GR. Characteristic of Tamarind Seed Polysaccharide. **J. Ind. Chem. Soc.** 1959; 19:67-70
- Shankaracharya N.B. Tamarind-Chemistry, Technology and Uses-Acritical Appraisal. **J. Food. Sci. Technol.** 1998; 35(3): 193-208
- Sila B. et. Al. Functional and nutritional properties of Tamarind (*Tamarindus indica*) kernel protein. **Food. Chem.** 1994; 49:1-9
- Srivastava HC and Singh PP. Structure of Polysaccharide from Tamarind Kernel Powder. **Carb.Res.** 1967; 4: 326-342
- Suttananta W. **Reology Studies on Tamarind Seed Polysaccharide from Tamarind Kernel Powder.** M.Sc Thesis in Pharmacy, Faculty of Graduate Studies, Mahidol University, 1997
- Svarovsky. L, ed. , **Solid – Liquid Separation.** 3rd ed., Butterworths, London, 1990.
- Teraoka et. al. Process for Separating Polysaccharides from Tamarind seeds. **U.S. Patent.** 4895938, 1990
- Ulrich B.H. and Charles L.C. Quantitative Description of Ultrafiltration in a Rotating Filtration Device. **AICHE J.** 1991; 37(8): 1219-1226
- Veluraja K. et. al. Preparation of gum from Tamarind seed-and its application in the preparation of composite material with sisal fibre. **Carb. Polymers.** 1997; 34:377-379
- Zeman, Leos J. **Microfiltration and Ultrafiltration: Principle and Applications.** Marcell Derkker inc. 1996:



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์

1 การวิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์

วิเคราะห์ปริมาณโพลีแซคคาไรด์โดยวิธีฟินอล-ซัลฟูริก (Phenol-sulfuric method) (Dubois et.al., 1956)

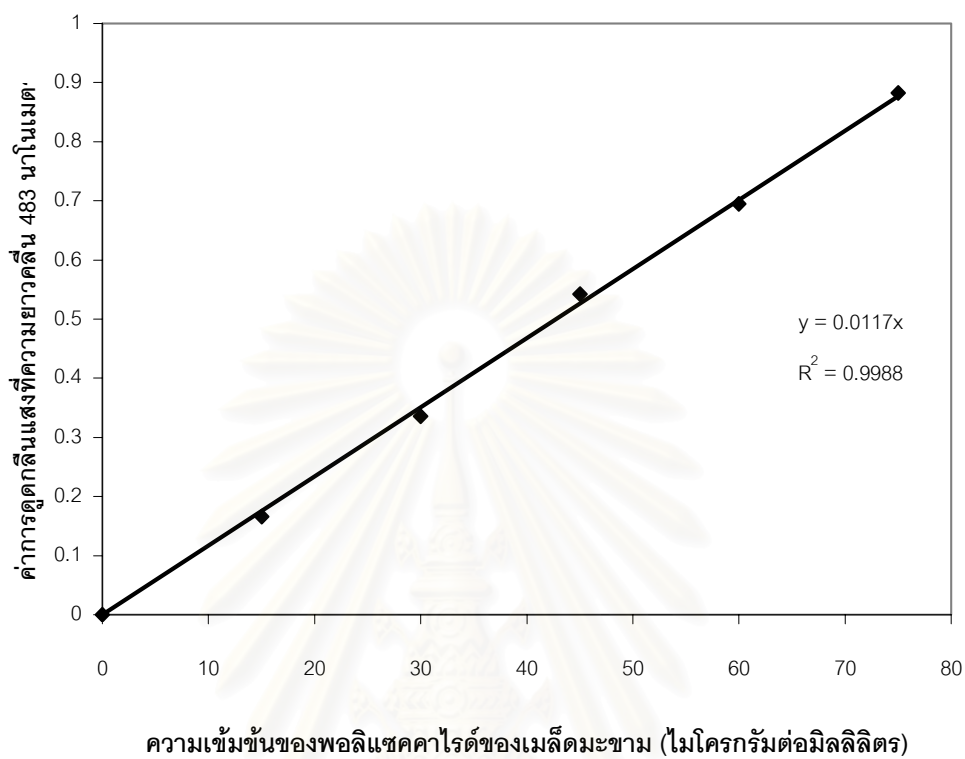
สารเคมี

1. สารละลายฟินอล ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น

วิธีการวิเคราะห์

1. นำสารตัวอย่างที่ต้องการหาปริมาณโพลีแซคคาไรด์จำนวน 1 มิลลิลิตร (โดยมีปริมาณโพลีแซคคาไรด์อยู่ระหว่าง 10-70 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) เติมสารละลายฟินอลเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 1 มิลลิลิตร และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นจำนวน 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา
2. แสงในอ่างควบคุมอุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-20 นาที
3. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 483 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณหาปริมาณโพลีแซคคาไรด์ โดยนำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน
4. การเตรียมกราฟมาตรฐานใช้โพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม (TSP จากบริษัท จีเอ็ม อีซี ฮารา จำกัด โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 100) ความเข้มข้นระหว่าง 10-70 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก 1 เส้นกราฟมาตรฐานของพอลิแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

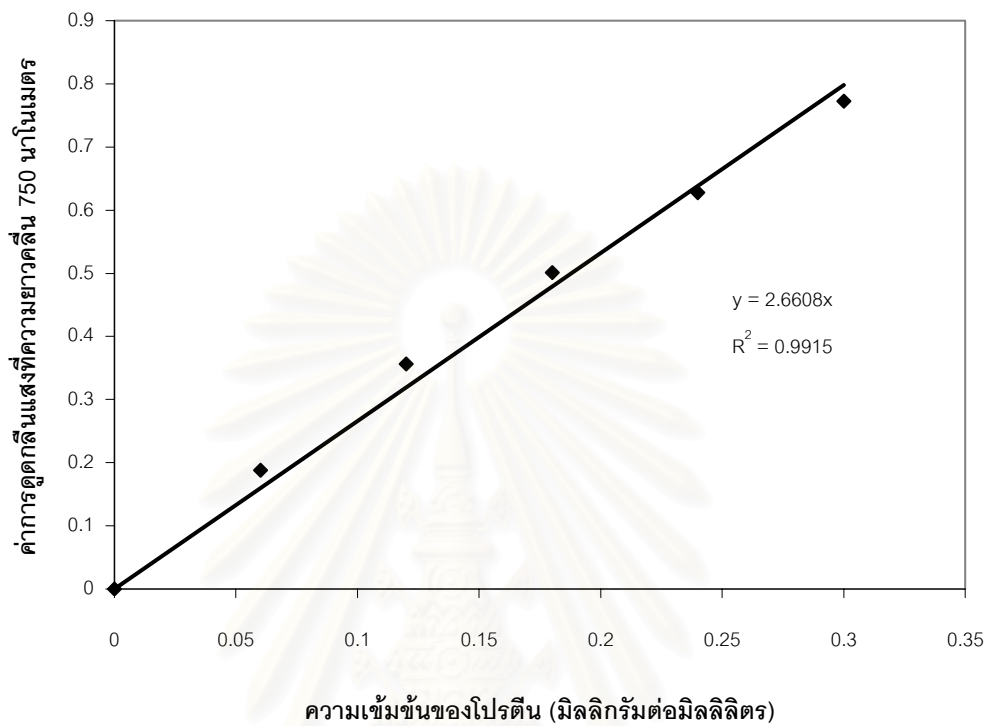
วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีลาวรี (Lowry method) (Dunn M.J., 1992)

สารเคมี

1. สารละลาย A คือ สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulphate) เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
2. สารละลาย B คือ สารละลายโซเดียมโปแตสเซียมทาร์เตรต (sodium potassium tartrate) เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
3. สารละลาย C คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) เข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร
4. สารละลาย D คือ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) เข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
5. Folin-Ciocalteu reagent

วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลาย E โดยผสมสาร C จำนวน 49 มิลลิลิตร และสารละลาย D จำนวน 49 มิลลิตร แล้วเติมสารละลาย A จำนวน 1 มิลลิลิตร และสารละลาย B จำนวน 1 มิลลิลิตร โดยสารละลาย E จะต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนทำการทดลอง
2. เตรียมสารละลาย F โดยเจือจาง Folin-Ciocalteu reagent ด้วยน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1:1
3. นำสารตัวอย่างที่ต้องการหาปริมาณโปรตีนจำนวน 0.5 มิลลิลิตร (โดยมีปริมาณโปรตีนไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม) เติมสารละลาย E จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
4. เติมสารละลาย F จำนวน 0.25 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณหาปริมาณโปรตีน โดยนำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน
6. การเตรียมกราฟมาตรฐาน ใช้โบวีนซีรัมอัลบูมินความเข้มข้นระหว่าง 0.05-0.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 2 เส้นกราฟมาตรฐานของโปรตีน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การวัดขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

วัดขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดอนุภาค (Particle analyzer) รุ่น Coulter LS 230

วิธีการใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค

1. เปิดโปรแกรม Coulter ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องวัดขนาดอนุภาค
2. เปิดเครื่องวัดขนาดอนุภาคทิ้งไว้ 30 นาที
3. ล้างเซลล์สำหรับวัดอนุภาคด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนเต็มเซลล์ แล้วทำการได้ฟองอากาศในเซลล์
4. กดเลือกคำสั่ง run cycle ในโปรแกรม coulter เพื่อทำการวัด offset และวัด background ของเซลล์ จนโปรแกรมแสดงข้อความให้ใส่สารตัวอย่าง
5. ทำการใส่สารตัวอย่างลงในเซลล์วัดขนาดอนุภาค จนกระทั่งค่า obscuration อยู่ในช่วง 8-12 %
6. ใส่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสารตัวอย่างที่ทำการวัดอนุภาค และเลือกชนิดของตัวทำละลายเป็นน้ำ
7. กดคำสั่ง Done เพื่อให้เครื่องทำการวัดขนาดอนุภาค
8. เครื่องวัดขนาดอนุภาคจะใช้สมการ Fraunhofer model ในการคำนวณขนาดของอนุภาค



ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองการทำคอนเซนเตรชันไม่เต็มเอินไซม์นิวเทรส

Concentration factor	Volume		Time s	Viscosity cp
	Tank ml	Filtrate ml		
1.00	1000	0	0	2.24
1.11	900	100	63.55	2.86
1.25	800	200	162.45	2.94
1.42	700	300	287.72	3.88
1.66	600	400	496.88	5.31
2.00	500	500	803.55	7.50

Concentration factor	Tank					
	Dry weight		Polysaccharide		Protein	
	Start g	Final g	Start g	Final g	Start g	Final g
1.00	-	-	-	-	-	-
1.11	19.6600	16.0740	13.2741	11.5131	3.4038	3.0110
1.25	19.7400	15.0240	12.9973	10.8725	3.3993	2.8103
1.42	19.6000	13.7200	13.1846	10.1427	3.3174	2.6746
1.66	19.4800	13.0320	13.3793	9.7136	3.4040	2.5005
2.00	19.5600	12.4100	13.4142	9.3037	3.2255	2.3537

ผลการทดลองการทำคอนเซนเตรชันไม่เต็มเออนไซม์นิวเทรส(ต่อ)

Concentration factor	Filtrate			Filter		
	Dry weight g	Polysaccharide g	Protein g	Dry weight g	Polysaccharide g	Protein g
1.00	-	-	-	-	-	-
1.11	1.6900	0.3137	0.1590	1.7300	1.2308	0.3169
1.25	2.4880	0.6615	0.2668	2.2140	1.6667	0.2676
1.42	3.3300	1.1641	0.4105	2.3840	1.6838	0.3065
1.66	3.6060	1.2991	0.5314	2.4900	1.7863	0.3283
2.00	4.3200	1.6581	0.6472	2.6300	2.0171	0.3587

Concentration factor	Flow rate ml / s	Flux L / m ² -h	Mass flux	
			Polysaccharide g /m ² -h	Protein g /m ² -h
1.00	-	-	-	-
1.11	1.5736	1357.82	4259.49	2158.94
1.25	0.6156	531.18	3513.73	1417.18
1.42	0.3476	299.91	3491.23	1231.12
1.66	0.2013	173.66	2256.05	922.84
2.00	0.1244	107.39	1780.56	695.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองการทำคอนเซนเตรชันไม่เต็มเออนไซม์นิวเทรส(ต่อ)

Concentration factor	Impurity			
	Tank		Filtrate g	Filter g
	Start g	Final g		
1.00	-	-	-	-
1.11	2.9821	1.5499	1.2173	0.1823
1.25	3.3434	1.3412	1.5597	0.2797
1.42	3.0980	0.9027	1.7554	0.3937
1.66	2.6967	0.8179	1.7755	0.3754
2.00	2.9203	0.7526	2.0147	0.2542

Concentration factor	%Purity Polysacchride		%Purity Protein		%Impurity	
	Start	Final	Start	Final	Start	Final
1.00	-	-	-	-	-	-
1.11	67.52	71.63	17.31	18.73	15.17	9.64
1.25	65.84	72.37	17.22	18.71	16.94	8.93
1.42	67.27	73.93	16.93	19.49	15.81	6.58
1.66	68.68	74.54	17.47	19.19	13.84	6.28
2.00	68.58	74.97	16.49	18.97	14.93	6.06

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองการทำคอนเซนเตรชันเติมเอนไซม์นิวเทรส

Concentration factor	Volume		Time s	Viscosity cp
	Tank ml	Filtrate ml		
1.00	1000	0	0	2.40
1.11	900	100	80.23	2.99
1.25	800	200	185.13	3.17
1.42	700	300	311.55	4.01
1.66	600	400	502.49	5.04
2.00	500	500	746.46	6.51

Concentration factor	Tank					
	Dry weight		Polysaccharide		Protein	
	Start g	Final g	Start g	Final g	Start g	Final g
1.00	-	-	-	-	-	-
1.11	19.4800	15.8940	13.1732	11.1077	3.6103	3.0894
1.25	19.6000	14.8200	13.1231	10.6256	3.5742	2.8564
1.42	19.6600	14.0200	13.2173	10.2507	3.5110	2.7341
1.66	19.5800	12.8600	13.5233	9.6581	3.5780	2.4597
2.00	19.6400	11.8840	13.2014	9.0146	3.6011	2.2863

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองการทำคอนเซนเตรชันเติมเอนไซม์นิวเทรส(ต่อ)

Concentration factor	Filtrate			Filter		
	Dry weight g	Polysaccharide g	Protein g	Dry weight g	Polysaccharide g	Protein g
1.00	-	-	-	-	-	-
1.11	1.4020	0.4077	0.2052	1.7240	1.3504	0.1841
1.25	2.3200	0.7231	0.3925	1.8500	1.4444	0.1955
1.42	3.4200	1.2179	0.6263	2.1400	1.7009	0.2240
1.66	3.8600	1.5658	0.8434	2.5100	2.0171	0.2619
2.00	4.7020	1.9231	1.1634	3.0300	2.4701	0.3359

Concentration factor	Flow rate ml / s	Flux L / m ² -h	Mass flux	
			Polysaccharide g /m ² -h	Protein g /m ² -h
1.00	-	-	-	-
1.11	1.2464	1075.53	4384.92	2206.98
1.25	0.5402	466.10	3370.39	1829.45
1.42	0.3210	276.97	3373.20	1734.65
1.66	0.1990	171.72	2688.85	1448.32
2.00	0.1340	115.60	2223.07	1344.87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองการทำคอนเซนเตรชันเติมเอนไซม์นิวเทรส(ต่อ)

Concentration factor	Impurity			
	Tank		Filtrate g	Filter g
	Start g	Final g		
1.00	-	-	-	-
1.11	2.6965	1.6969	0.7891	0.1895
1.25	2.9027	1.3380	1.2044	0.2101
1.42	2.9317	1.0352	1.5758	0.2151
1.66	2.4787	0.7422	1.4508	0.2310
2.00	2.8375	0.5831	1.6155	0.2240

Concentration factor	%Purity Polysacchride		%Purity Protein		%Impurity	
	Start	Final	Start	Final	Start	Final
1.00	-	-	-	-	-	-
1.11	67.62	69.89	18.53	19.44	13.84	10.68
1.25	66.95	71.70	18.24	19.27	14.81	9.03
1.42	67.23	73.11	17.86	19.50	14.91	7.38
1.66	69.07	75.10	18.27	19.13	12.66	5.77
2.00	67.22	75.85	18.34	19.24	14.45	4.91

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองการทำคอนเซนเตรชันเติมเอนไซม์นิวเทรส(ต่อ)

Concentration factor	%Removal			%Eliminate		
	Polysaccharide	Protein	Impurity	Polysaccharide	Protein	Impurity
1.00	-	-	-	-	-	-
1.11	84.32	85.57	62.93	3.09	5.68	29.26
1.25	80.97	79.92	46.10	5.51	10.98	41.49
1.42	77.56	77.87	35.31	9.21	17.84	53.75
1.66	71.42	68.75	29.94	11.58	23.57	58.53
2.00	68.29	63.49	20.55	14.57	32.31	56.93

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองการทำไดอะฟิลเตรชันไม่เติมเอนไซม์นิวเทรส

Diafiltration volume	Volume			Time		Viscosity cp
	Tank	Filtrate	Total filtrate	Time	Total	
	ml	ml	ml	s	s	
0.00	1000	0	0	0.00	0.00	2.24
1.00	1000	500	1000	453.72	633.28	1.93
2.00	1000	1000	2000	1094.11	1727.39	1.67
3.00	1000	1000	3000	1344.03	3071.42	1.56
4.00	1000	1000	4000	1725.37	4796.79	1.47
5.00	1000	1000	5000	2618.00	7414.79	1.40

Diafiltration volume	Dry weight		Polysaccharide		Protein	
	Tank	Filtrate	Tank	Filtrate	Tank	Filtrate
	g	g	g	g	g	g
0.00	19.7500	0.0000	13.7521	0.0000	3.3365	0.0000
1.00	15.9400	1.6200	11.8504	0.7913	2.3837	0.4311
2.00	12.8600	2.2400	10.1020	0.8277	1.7707	0.5536
3.00	11.8800	0.9800	9.7436	0.3420	1.5904	0.2319
4.00	10.8400	0.9200	9.2051	0.3256	1.4443	0.2293
5.00	10.1000	0.3700	8.6838	0.2131	1.2811	0.1245

ผลการทดลองการทำไดอะฟิลเตรชันไม่เติมเอนไซม์นิวเทรส(ต่อ)

Diafiltration volume	Flow rate ml / s	Flux L / m ² -h	Mass flux		*Flux L / m ² -h
			Polysaccharide g /m ² -h	Protein g /m ² -h	
0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	1.1020	950.91	1504.91	819.88	1362.58
2.00	0.9140	788.67	652.79	436.61	999.07
3.00	0.7440	642.02	219.57	148.88	842.83
4.00	0.5796	500.12	162.84	114.68	719.56
5.00	0.3820	329.60	70.24	41.04	581.87

Diafiltration volume	Impurity		%Removal in tank		
	In tank g	In filtrate g	Polysaccharide	Protein	Impurity
0.00	2.6614	0.0000	100.00	100.00	100.00
1.00	1.7059	0.3976	86.17	71.44	64.10
2.00	0.9873	0.8587	73.46	53.07	37.10
3.00	0.5460	0.4061	70.85	47.67	20.52
4.00	0.1906	0.3651	66.94	43.29	7.16
5.00	0.1351	0.0324	63.15	38.40	5.08

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองการทำไดอะฟิลเตรชันเติมเอนไซม์นิวเทรส

Diafiltration volume	Volume			Time		Viscosity cp
	Tank	Filtrate	Total filtrate	Time	Total	
	ml	ml	ml	s	s	
0.00	1000	0	0	0.00	0.00	2.44
1.00	1000	500	1000	323.27	575.64	1.87
2.00	1000	1000	2000	854.41	1430.05	1.59
3.00	1000	1000	3000	903.71	2333.76	1.54
4.00	1000	1000	4000	1188.25	3522.01	1.47
5.00	1000	1000	5000	1412.01	4934.02	1.34

Diafiltration volume	Dry weight		Polysaccharide		Protein	
	Tank	Filtrate	Tank	Filtrate	Tank	Filtrate
	g	g	g	g	g	g
0.00	19.6800	0.0000	13.7864	0.0000	3.5281	0.0000
1.00	13.8200	2.2100	11.0513	1.1732	2.1712	0.7840
2.00	10.8200	2.3100	9.3162	1.2050	1.2315	0.8020
3.00	9.6600	1.1700	8.6923	0.7090	0.8047	0.3568
4.00	8.4800	0.9200	7.8121	0.4871	0.5485	0.2644
5.00	7.7000	0.5200	7.1880	0.3758	0.4194	0.1283

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองการทำไดอะฟิลเตรชันเติมเอนไซม์นิวเทรส(ต่อ)

Diafiltration volume	Flow rate ml / s	Flux L / m ² -h	Mass flux		*Flux L / m ² -h
			Polysaccharide g /m ² -h	Protein g /m ² -h	
0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	1.5467	1334.64	3131.59	2092.71	1499.02
2.00	1.1704	1009.93	1216.97	809.96	1206.80
3.00	1.1065	954.84	676.98	340.69	1109.23
4.00	0.8416	726.19	353.73	192.00	980.00
5.00	0.7082	611.11	229.66	78.41	874.43

Diafiltration volume	Impurity		%Removal		
	In tank g	In filtrate g	Polysaccharide	Protein	Impurity
0.00	2.3655	0.0000	100.25	105.74	88.88
1.00	0.5975	0.2528	80.36	65.07	22.45
2.00	0.2723	0.3030	67.74	36.91	10.23
3.00	0.1630	0.1042	63.21	24.12	6.12
4.00	0.1194	0.1685	56.81	16.44	4.49
5.00	0.0926	0.0159	52.27	12.57	3.48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันและคอนเซนเตรชัน

การกรองด้วย 1.11 CF และ 5 DV

	Time s	Viscosity cp	Dry weight g/volume	flux L/m ² *h	Tank ml	Filtrate ml	Total filtrate ml
Start	-	2.26	19.6400		1000	-	-
1.11 CF	59.41	2.81	17.2320	1452.44	900	100	100
1 DV	480.10	2.24	12.8840	1617.59	900	900	1000
2 DV	622.23	1.88	9.5220	1248.10	900	900	1900
3 DV	635.44	1.68	8.4940	1222.15	900	900	2800
4 DV	683.57	1.43	7.3360	1136.10	900	900	3700
5 DV	641.15	1.32	6.6780	1211.27	900	900	4600
Total	3121.90		Mean	1271.44			

	Polysaccharide			Protein		
	Tank g/volume	Filtrate g/volume	Filter g/volume	Tank g/volume	Filtrate g/volume	Filter g/volume
Start	13.7094	-	-	3.8812	-	-
1.11 CF	12.6462	0.3897	-	3.3957	0.2238	-
1 DV	9.9692	2.2159	-	2.1590	1.4194	-
2 DV	7.6923	1.1305	-	1.3597	0.6867	-
3 DV	7.1077	0.7693	-	0.8814	0.3690	-
4 DV	6.2769	0.5692	-	0.6576	0.2443	-
5 DV	5.8462	0.4923	-	0.3758	0.1981	-
Filter	-	-	1.6371	-	-	0.3593
Total		5.5670		Total	3.1412	

การกรองด้วย 1.11 CF และ 5 DV(ต่อ)

	Polysaccharide			Protein			impurity %	Reynold Number	Taylor Number
	%Recovery	%Loss	%Purity	%Recovery	%Eliminate	%Purity			
Start	100.00	0.00	69.80	100.00	0.00	19.76	10.43	-	-
1.11 CF	92.24	7.76	73.39	87.49	12.51	19.71	6.91	40.46	6476.87
1 DV	72.72	27.28	77.38	55.63	44.37	16.76	5.87	50.76	8125.00
2 DV	56.11	43.89	80.78	35.03	64.97	14.28	4.94	60.48	9680.85
3 DV	51.85	48.15	83.68	22.71	77.29	10.38	5.94	67.68	10833.33
4 DV	45.79	54.21	85.56	16.94	83.06	8.96	5.47	79.51	12727.27
5 DV	42.64	57.36	87.54	9.68	90.32	5.63	6.83	86.14	13787.88

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันและคอนเซนเตรชัน

การกรองด้วย 1.25 CF และ 5 DV

	Time s	Viscosity cp	Dry weight g/volume	flux L/m ² *h	Tank ml	Filtrate ml	Total filtrate ml
Start	-	2.26	19.8600		1000	-	-
1.25 CF	120.16	3.01	15.4840	1436.24	800	200	200
1 DV	356.27	2.72	12.8540	1937.62	800	800	1000
2 DV	320.71	2.34	10.5840	2152.46	800	800	1800
3 DV	357.14	2.03	9.4360	1932.90	800	800	2600
4 DV	402.14	1.67	8.1240	1716.61	800	800	3400
5 DV	384.51	1.47	7.3060	1795.31	800	800	4200
Total	1940.93		Mean	1867.23			

	Polysaccharide			Protein		
	Tank g/volume	Filtrate g/volume	Filter g/volume	Tank g/volume	Filtrate g/volume	Filter g/volume
Start	13.5726	-	-	3.6705	-	-
1.25 CF	11.0222	0.6015	-	2.9486	0.2113	-
1 DV	9.6821	2.0133	-	2.1317	1.3286	-
2 DV	8.2325	0.8232	-	1.4060	0.7134	-
3 DV	7.6034	0.6784	-	0.8928	0.3127	-
4 DV	6.5915	0.4650	-	0.6438	0.2001	-
5 DV	6.0773	0.4103	-	0.4555	0.1314	-
Filter	-	-	1.8637	-	-	0.3593
Total		4.9916		Total	2.8975	

การกรองด้วย 1.25 CF และ 5 DV(ต่อ)

	Polysaccharide			Protein			impurity %	Reynold Number	Taylor Number
	%Recovery	%Loss	%Purity	%Recovery	%Eliminate	%Purity			
Start	100.00	0.00	68.34	100.00	0.00	18.48	13.18	-	-
1.25 CF	81.21	18.79	71.18	80.33	19.67	19.04	9.77	37.77	6046.51
1 DV	71.34	28.66	75.32	58.08	41.92	16.58	8.09	41.80	6691.18
2 DV	60.65	39.35	77.78	38.30	61.70	13.28	8.93	48.59	7777.78
3 DV	56.02	43.98	80.58	24.32	75.68	9.46	9.96	56.01	8965.52
4 DV	48.56	51.44	81.14	17.54	82.46	7.92	10.94	68.08	10898.20
5 DV	44.78	55.22	83.18	12.41	87.59	6.23	10.58	77.35	12380.95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชันและคอนเซนเตรชัน

การกรองด้วย 1.43 CF และ 5 DV

	Time s	Viscosity cp	Dry weight g/volume	flux L/m ² *h	Tank ml	Filtrate ml	Total filtrate ml
Start	-	2.26	19.7400		1000	-	-
1.43 CF	203.27	3.85	14.1320	1273.52	700	300	300
1 DV	533.47	3.12	12.6500	1132.26	700	700	1000
2 DV	495.33	2.63	11.0220	1219.44	700	700	1700
3 DV	481.31	2.21	9.4780	1254.96	700	700	2400
4 DV	457.13	1.90	8.2600	1321.35	700	700	3100
5 DV	469.77	1.61	7.5460	1285.79	700	700	3800
Total	2640.28		Mean	1241.91			

	Polysaccharide			Protein		
	Tank g/volume	Filtrate g/volume	Filter g/volume	Tank g/volume	Filtrate g/volume	Filter g/volume
Start	13.3333	-	-	3.6231	-	-
1.43 CF	9.7162	0.9271	-	2.7354	0.4731	-
1 DV	8.9504	1.9624	-	1.9396	1.0342	-
2 DV	8.1607	0.8007	-	1.2687	0.6214	-
3 DV	7.2274	0.5476	-	0.8928	0.3454	-
4 DV	6.5094	0.3111	-	0.6523	0.2417	-
5 DV	6.0308	0.2393	-	0.5407	0.1050	-
Filter	-	-	2.1126	-	-	0.3593
Total		4.7882		Total	2.8208	

การกรองด้วย 1.43 CF และ 5 DV(ต่อ)

	Polysaccharide			Protein			impurity %	Reynold Number	Taylor Number
	%Recovery	%Loss	%Purity	%Recovery	%Eliminate	%Purity			
Start	100.00	0.00	67.54	100.00	0.00	18.35	14.10	-	-
1.43 CF	72.87	27.13	68.75	75.50	24.50	19.36	11.89	29.53	4727.27
1 DV	67.13	32.87	70.75	53.54	46.46	15.33	13.91	36.44	5833.33
2 DV	61.21	38.79	74.04	35.02	64.98	11.51	14.45	43.23	6920.15
3 DV	54.21	45.79	76.25	24.64	75.36	9.42	14.33	51.45	8235.29
4 DV	48.82	51.18	78.81	18.00	82.00	7.90	13.30	59.84	9578.95
5 DV	45.23	54.77	79.92	14.92	85.08	7.17	12.91	70.62	11304.35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่า เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Re) และค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ (Ta)

ความหนาแน่นของไหล 1000 กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร

ท่อทรงกระบอกชั้นนอก 0.032 เมตร

ความเร็วรอบของตัวกรอง 1700 รอบ / นาที

ท่อทรงกระบอกชั้นใน 0.024 เมตร

Re	อัตราการไหล (ลิตร / ชั่วโมง)															Ta	shear
	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40			
ความหนืด x 0.001 กิโลกรัม / เมตร-วินาที	1.00	44.22	50.54	56.86	63.18	69.49	75.81	82.13	88.45	94.76	101.08	107.40	113.72	120.03	126.35	18241.00	16587.98
	1.25	35.38	40.43	45.49	50.54	55.60	60.65	65.70	70.76	75.81	80.87	85.92	90.97	96.03	101.08	14592.80	14836.74
	1.50	29.48	33.69	37.91	42.12	46.33	50.54	54.75	58.96	63.18	67.39	71.60	75.81	80.02	84.23	12160.67	13544.03
	1.75	25.27	28.88	32.49	36.10	39.71	43.32	46.93	50.54	54.15	57.76	61.37	64.98	68.59	72.20	10423.43	12539.33
	2.00	22.11	25.27	28.43	31.59	34.75	37.91	41.06	44.22	47.38	50.54	53.70	56.86	60.02	63.18	9120.50	11729.47
	2.25	19.65	22.46	25.27	28.08	30.89	33.69	36.50	39.31	42.12	44.93	47.73	50.54	53.35	56.16	8107.11	11058.65
	2.50	17.69	20.22	22.74	25.27	27.80	30.32	32.85	35.38	37.91	40.43	42.96	45.49	48.01	50.54	7296.40	10491.16
	2.75	16.08	18.38	20.68	22.97	25.27	27.57	29.87	32.16	34.46	36.76	39.05	41.35	43.65	45.95	6633.09	10002.93
	3.00	14.74	16.85	18.95	21.06	23.16	25.27	27.38	29.48	31.59	33.69	35.80	37.91	40.01	42.12	6080.33	9577.07
	3.25	13.61	15.55	17.49	19.44	21.38	23.33	25.27	27.21	29.16	31.10	33.05	34.99	36.93	38.88	5612.62	9201.35
	3.50	12.64	14.44	16.25	18.05	19.86	21.66	23.47	25.27	27.08	28.88	30.69	32.49	34.30	36.10	5211.72	8866.65
	3.75	11.79	13.48	15.16	16.85	18.53	20.22	21.90	23.59	25.27	26.96	28.64	30.32	32.01	33.69	4864.27	8565.99
	4.00	11.06	12.64	14.21	15.79	17.37	18.95	20.53	22.11	23.69	25.27	26.85	28.43	30.01	31.59	4560.25	8293.99
	4.25	10.41	11.89	13.38	14.86	16.35	17.84	19.32	20.81	22.30	23.78	25.27	26.76	28.24	29.73	4292.00	8046.35
	4.50	9.83	11.23	12.64	14.04	15.44	16.85	18.25	19.65	21.06	22.46	23.87	25.27	26.67	28.08	4053.56	7819.65
	4.75	9.31	10.64	11.97	13.30	14.63	15.96	17.29	18.62	19.95	21.28	22.61	23.94	25.27	26.60	3840.21	7611.09
	5.00	8.84	10.11	11.37	12.64	13.90	15.16	16.43	17.69	18.95	20.22	21.48	22.74	24.01	25.27	3648.20	7418.37
	5.50	8.04	9.19	10.34	11.49	12.64	13.78	14.93	16.08	17.23	18.38	19.53	20.68	21.82	22.97	3316.55	7073.14
	6.00	7.37	8.42	9.48	10.53	11.58	12.64	13.69	14.74	15.79	16.85	17.90	18.95	20.01	21.06	3040.17	6772.01
	6.50	6.80	7.78	8.75	9.72	10.69	11.66	12.64	13.61	14.58	15.55	16.52	17.49	18.47	19.44	2806.31	6506.34
7.00	6.32	7.22	8.12	9.03	9.93	10.83	11.73	12.64	13.54	14.44	15.34	16.25	17.15	18.05	2605.86	6269.67	
7.50	5.90	6.74	7.58	8.42	9.27	10.11	10.95	11.79	12.64	13.48	14.32	15.16	16.00	16.85	2432.13	6057.07	
8.00	5.53	6.32	7.11	7.90	8.69	9.48	10.27	11.06	11.85	12.64	13.42	14.21	15.00	15.79	2280.13	5864.74	
8.50	5.20	5.95	6.69	7.43	8.18	8.92	9.66	10.41	11.15	11.89	12.64	13.38	14.12	14.86	2146.00	5689.63	
9.00	4.91	5.62	6.32	7.02	7.72	8.42	9.13	9.83	10.53	11.23	11.93	12.64	13.34	14.04	2026.78	5529.33	
9.50	4.66	5.32	5.99	6.65	7.32	7.98	8.65	9.31	9.98	10.64	11.31	11.97	12.64	13.30	1920.11	5381.85	
10.00	4.42	5.05	5.69	6.32	6.95	7.58	8.21	8.84	9.48	10.11	10.74	11.37	12.00	12.64	1824.10	5245.58	



ภาคผนวก ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน

สารแขวนลอยมีปริมาตร 1000 ลิตร ประกอบด้วยสารอนุภาคขนาดใหญ่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (หลังจากนี้จะใช้เพียงคำว่า “ร้อยละ” แทน) และสารอนุภาคขนาดเล็กร้อยละ 1 ต้องการแยกสารอนุภาคขนาดเล็กออกมาให้ได้มากที่สุดโดยการใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชัน

การทำไดอะฟิลเตรชันที่ปริมาตรเริ่มต้น 1000 ลิตร จะคำนวณหาสารอนุภาคขนาดเล็กต่อการทำทุกปริมาตรของสารละลายที่เติมได้จาก

$$C_s = C_{s0}(\exp(-V_D / V_0))$$

ทำ 1 ไดอะฟิลเตรชัน สารละลายที่เติมเท่ากับ 1000 ลิตร

$$C_s = 1 \times \exp(-1000/1000)$$

$$C_s = 0.368$$

ดังนั้นอนุภาคขนาดเล็กที่อยู่ในรีเทนเททจะเหลือร้อยละ 0.368

อนุภาคขนาดเล็กที่ออกไปกับเพอมีเอทร้อยละ 0.632

สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่เท่ากับร้อยละ 1 เพราะไม่ออกไปกับเพอมีเอท

ทำ 2 ไดอะฟิลเตรชัน สารละลายที่เติมเท่ากับ 2000 ลิตร

$$C_s = 1 \times \exp(-2000/1000)$$

$$C_s = 0.135$$

ดังนั้นอนุภาคขนาดเล็กที่อยู่ในรีเทนเททจะเหลือร้อยละ 0.135

อนุภาคขนาดเล็กที่ออกไปกับเพอมีเอทร้อยละ 0.865

สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่เท่ากับร้อยละ 1 เพราะไม่ออกไปกับเพอมีเอท

ดังนั้นสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังตารางที่ ๑1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง 1 ตารางสรุปผลการคำนวณการทำไดอะฟิลเตรชัน

จำนวนครั้ง การทำ ไดอะฟิลเตร ชัน	ปริมาตร สารละลายที่ เติม (ลิตร)	ปริมาตร รีเทนเทท (ลิตร)	ความเข้มข้น สารอนุภาค ขนาดใหญ่ใน รีเทนเทท (ร้อยละ)	ความเข้มข้น สารอนุภาค ขนาดเล็กใน รีเทนเทท (ร้อยละ)	ปริมาตร เพอมีเอท (ลิตร)	ความ เข้มข้นสาร อนุภาค ขนาดเล็ก ในเพอมีเอท (ร้อยละ)
เริ่มต้น	-	-	1	1	-	0
1	1000	1000	1	0.368	1000	0.632
2	2000	1000	1	0.135	2000	0.436
3	3000	1000	1	0.049	3000	0.317
5	5000	1000	1	0.007	5000	0.197

ตัวอย่างการคำนวณเทคนิคคอนเซนเตรชัน

สารแขวนลอยมีปริมาตร 2000 ลิตร มีสารอนุภาคใหญ่ร้อยละ 1 และสารอนุภาคเล็ก
ร้อยละ 5 ต้องการลดปริมาตรสารละลาย

ใช้เทคนิคคอนเซนเตรชันเพื่อลดปริมาตรสารละลาย

ทำ 2 คอนเซนเตรชันแฟคเตอร์ (CF = 2)

$$CF = V_0 / V_F$$

$$V_F = 2000 / 2 = 1000 \text{ ลิตร}$$

$$C_F = C_0(CF)$$

$$C_F = 1 \times 2 = 2$$

ทำ 5 คอนเซนเตรชันแฟคเตอร์ (CF = 5)

$$CF = V_0 / V_F$$

$$V_F = 2000 / 5 = 400 \text{ ลิตร}$$

$$C_F = C_0(CF)$$

$$C_F = 1 \times 5 = 5$$

ทำ 10 คอนเซนเตรชันแฟคเตอร์ (CF = 10)

$$CF = V_0 / V_F$$

$$V_F = 2000 / 10 = 200 \text{ ลิตร}$$

$$C_F = C_0(CF)$$

$$C_F = 1 \times 10 = 10$$

ดังนั้นสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังตารางที่ ง2

ตารางที่ ง 2 ตารางสรุปผลการคำนวณการทำคอนเซนเตรชัน

Concentration factor	ปริมาณรีเทนเทท (ลิตร)	ความเข้มข้นอนุภาคใหญ่ในรีเทนเทท (ร้อยละ)	ความเข้มข้นอนุภาคเล็กในรีเทนเทท (ร้อยละ)	ปริมาตรเพอมีเอท (ลิตร)	ความเข้มข้นอนุภาคเล็กในเพอมีเอท (ร้อยละ)
เริ่มต้น	2000	1	5	-	-
2	1000	2	5	1000	5
5	400	5	5	1600	5
10	200	10	5	1800	5
20	100	20	5	1900	5

ตัวอย่างการใช้เทคนิคทำให้บริสุทธิ์

สารแขวนลอยประกอบด้วย สารอนุภาคขนาดใหญ่ ร้อยละ 1 ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนอยู่ในสายรีเทนเทท และสารอนุภาคขนาดเล็ก ร้อยละ 5 เป็นผลิตภัณฑ์อยู่ในสายเพอมีเอท โดยมีปริมาตรของสารแขวนลอยเริ่มต้น 1000 ลิตร ต้องการแยกสารอนุภาคขนาดเล็กออกมาให้มากที่สุด

ใช้เทคนิคคอนเซนเตรชันโดยทำให้เข้มข้นเพิ่มขึ้น 10 เท่า (concentration factor = 10)

พิจารณาสายรีเทนเทท

$$CF = 10$$

$$V_F = V_0 / CF$$

$$V_F = 1000 / 10 = 100 \text{ ลิตร}$$

$$C_F = C_0 (CF)$$

อนุภาคขนาดใหญ่หลังทำให้เข้มข้น

$$C_F = 1 \times 10 = 10$$

อนุภาคขนาดเล็กหลังทำให้เข้มข้นเท่ากับร้อยละ 5 เพราะอนุภาคขนาดเล็กผ่านตัวกรองออกไปได้ทำให้ความเข้มข้นจึงคงเดิม

พิจารณาสายเพอมีเอท

$$V_P = V_0 - V_F$$

$$V_P = 1000 - 100 = 900 \text{ ลิตร}$$

เพราะฉะนั้นร้อยละการแยกอนุภาคขนาดเล็กเท่ากับ

$$\text{ร้อยละการแยก} = (V_P C_P) / (V_0 C_0)$$

$$\text{ร้อยละการแยก} = (900 \times 0.05) / (1000 \times 0.05) = 90$$

ฉะนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการทำคอนเซนเตรชัน 10 เท่าจะมี อนุภาคขนาดใหญ่ร้อยละ 10 อนุภาคขนาดเล็กร้อยละ 5 และปริมาตร 100 ลิตร

ใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชัน 1 ปริมาตร

พิจารณาสายรีเทนเทท

ยังคงเหลืออนุภาคขนาดใหญ่ร้อยละ 10 คงเดิมเพราะไม่มีการสูญเสียระหว่างการกรอง และมีปริมาตร 100 ลิตรคงเดิม

อนุภาคขนาดเล็กจะถูกชะออกไปด้วยปริมาตรที่เต็ม 100 ลิตร

$$V_D / V_0 = 100 / 100 = 1$$

ฉะนั้นจะเหลืออนุภาคขนาดเล็กเท่ากับ

$$C_S = C_{S0} (\exp (-V_D/V_0))$$

$$C_S = 5 (\exp (-1))$$

$$C_S = 1.84$$

พิจารณาสายเพอมีเอท

ปริมาตรเดิมก่อนทำไดอะฟิลเตรชัน = 900 ลิตร

ปริมาตรหลังทำไดอะฟิลเตรชัน = 900 + 100 = 1000 ลิตร

ฉะนั้นอนุภาคขนาดเล็กที่มีทั้งหมด = อนุภาคขนาดเล็กก่อนทำไดอะฟิลเตรชัน

+ อนุภาคขนาดเล็กได้จากไดอะฟิลเตรชัน

$$= 900 \times 0.05 + (5 - 1.84)$$

$$= 48.16$$

ฉะนั้นจะมีอนุภาคขนาดเล็กในสายเพอมีเอทร้อยละ 4.816

เพราะฉะนั้นร้อยละการส่งผ่านอนุภาคขนาดเล็กเท่ากับ $4.816 \times 100 / 5 = 96.3$

ดังนั้นการทำ 10 คอนเซนเตรชัน และ 1 ไดอะฟิลเตรชัน

ในสายรีเทนเททจะมีปริมาตร 100 ลิตร อนุภาคขนาดใหญ่ร้อยละ 10 อนุภาคขนาดเล็กเหลือร้อยละ 1.84

ในสายเพอมีเอทจะมีปริมาตร 1,000 ลิตร อนุภาคขนาดเล็กร้อยละ 4.816 และไม่มีอนุภาคขนาดใหญ่

ในการทำงานเดียวกันถ้าใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันก่อนแล้วจึงทำคอนเซนเตรชันก็จะคำนวณได้เช่นกัน

ในสายรีเทนเททจะมีปริมาตร 100 ลิตร อนุภาคขนาดใหญ่ร้อยละ 10 อนุภาคขนาดเล็กเหลือร้อยละ 1.84

ในสายเพอมีเอทจะมีปริมาตร 1,000 ลิตร อนุภาคขนาดเล็กร้อยละ 4.816 และไม่มีอนุภาคขนาดใหญ่

ตัวอย่างการคำนวณภาวะที่เหมาะสมในการทำให้บริสุทธิ์

สารแขวนลอยมีปริมาตร 1000 ลิตร ประกอบด้วยสารอนุภาคขนาดใหญ่ร้อยละ 2 และสารอนุภาคขนาดเล็กร้อยละ 5 ต้องการทำให้เข้มข้นขึ้น 10 เท่า และมีอนุภาคขนาดเล็กเหลืออยู่ร้อยละ 0.05 โดยหาค่าฟลักซ์จากการทดลองได้ ต้องการทราบเวลาที่น้อยที่สุดในการทำการระบวณการ

$$J = 500 \ln \frac{27}{C_b}$$

การทำให้เข้มข้นขึ้น 10 เท่า จะได้

ปริมาตรสุดท้าย = 100 ลิตร

ความเข้มข้นอนุภาคขนาดใหญ่ร้อยละ = 20

การกำจัดโมเลกุลขนาดเล็ก

ร้อยละอนุภาคขนาดเล็กเริ่มต้น = 5

ร้อยละโมเลกุลขนาดเล็กสุดท้าย = 0.05

ดังนั้นร้อยละการส่งผ่าน = 99

จาก

$$C_s = C_{s0} \exp(-V_D/V_0)$$

$$0.05 = 5 \exp(-V_D/V_0)$$

$$V_D/V_0 = 4.6$$

จะต้องใช้ปริมาตรของสารที่เติมเพื่อทำไดอะฟิลเตรชันเท่ากับ 4.6 เท่าของปริมาตรเริ่มต้น

การคำนวณไดอะฟิลเตรชันเรท

$$C_b \text{ ความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ} = 2$$

$$J = 500 \ln \frac{27}{C_b}$$

$$J = 1300 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง}$$

การคำนวณเวลาการทำไดอะฟิลเตรชัน

$$\text{เวลาในการทำไดอะฟิลเตรชัน} = \frac{\text{ปริมาตรในการทำไดอะฟิลเตรชันปริมาตร}}{\text{ไดอะฟิลเตรชันเรท}}$$

$$\text{เวลาในการทำไดอะฟิลเตรชัน} = 4600 / 1300 = 3.5 \text{ ชั่วโมง}$$

จากตารางที่ 3 การทำไดอะฟิลเตรชันที่ความเข้มข้นอนุภาคขนาดใหญ่ร้อยละ 10 จะใช้เวลาในการดำเนินงานน้อยที่สุด

ดังนั้นควรที่จะดำเนินการดังนี้

1. ทำให้ความเข้มข้นสูงขึ้น 5 เท่า จะได้ ความเข้มข้นอนุภาคขนาดใหญ่ร้อยละ 10
2. ทำไดอะฟิลเตรชัน 4.6 ปริมาตร จะลดอนุภาคขนาดเล็กลงเหลือร้อยละ 0.05
3. ทำให้ความเข้มข้นสูงขึ้น 2 เท่า จะได้ ความเข้มข้นอนุภาคขนาดใหญ่ร้อยละ 20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง 3 การคำนวณการทำไดอะฟิลเตรชันร่วมกับคอนเซนเตรชัน

อนุภาคขนาดใหญ่(ร้อยละ)	ปริมาณที่ได้จากการทำคอนเซนเตรชัน (ลิตร)	ปริมาณของไดอะฟิลเตรชัน (ลิตร)	ไดอะฟิลเตรชันเรท (ลิตรต่อชั่วโมง)	เวลาในการทำไดอะฟิลเตรชัน (ชั่วโมง)
2	1000	4600	1300	3.5
5	400	1840	840	2.2
10	200	920	500	1.8
20	100	460	150	3.1

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุชুম ภูมรินทร์วรากุล เกิดวันที่ 27 ธันวาคม 2519 จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่ โรงเรียน ราชวินิต มัธยม สำเร็จการศึกษา
ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย