การผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยการกรอง

นางสาววารี จารุวัฒนายนต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0664-4

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19939139 - 9 มิ.ย. 2547

PRODUCTION OF TAMARIND SEED POLYSACCHARIDE FROM TAMARIND KERNEL POWDER USING FILTRATION

Miss Waree Jaruwattanayon

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 2000

ISBN 974-13-0664-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยการกรอง
โดย	นางสาววารี จารุวัฒนายนต์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ชฎา พิศาลพงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจนัจที)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.ชฎา พิศาลพงศ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรุ้ง ปรีชานนท์)

วารี จารุวัฒนายนต์ : การผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยการกรอง (PRODUCTION OF TAMARIND SEED POLYSACCHARIDE FROM TAMARIND KERNEL POWDER USING FILTRATION) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ , อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ชฎา พิศาลพงศ์, 156 หน้า. ISBN 974-13-0664-4

การศึกษาการใช้สารละลายเอทานอลและกระบวนการกรองเพื่อกำจัดโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม โดยศึกษาองค์ประกอบและขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามซึ่งเป็นวัตถุดิบในการทดลอง พบว่ามีปริมาณโพลีแซคคาไรด์ โปรตีนและไขมันร้อยละ 68.213,19.505และ 8.687 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 39.83 ไมโครเมตร(ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร)และจากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)ยังพบว่าอนุภาคโปรตีนเกาะติดกับอนุภาคโพลี-แซคคาไรด์ จึงทำการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ของผงเนื้อในเมล็ดมะขามในสารละลายเอทานอลโดยใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่าก่อนใช้คลื่นเหนือเสียงอนุภาคโปรตีนจะเกาะติดกับอนุภาคโพลีแซคคาไรด์โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 39.67 ไมโครเมตร (ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก)แต่เมื่อใช้คลื่นเหนือเสียงอนุภาคโปรตีนและอนุภาคโพลีแซคคาไรด์จะกระจายตัวเป็นอนุภาคเดี่ยว ๆ โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 30.15 ไมโครเมตร

ศึกษาภาวะการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ โดยทำการศึกษาที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 30 60 และ 180 วินาที ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 30 50 และ 60 โดยน้ำหนัก พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 30 และ 60 โดยน้ำหนัก จะมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยใหญ่ ทำให้ร้อยละการแยกโปรตีนโดยการกรองต่ำ เนื่องจากที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 30 โดยน้ำหนักอนุภาคจะบวมเพราะมีน้ำปริมาณมากเป็นองค์ประกอบในสารละลายเอทานอลและที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 60 โดยน้ำหนักพบว่าอนุภาคโปรตีนยังคงเกาะติดกับอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ ส่วนผลของเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อการแยกโปรตีนพบว่าที่เวลา 30 วินาทีจะมีร้อยละการแยกโปรตีนต่ำกว่าที่ 60 และ 180 วินาทีโดยร้อยละการแยกที่ 60 และ180 วินาทีจะมีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์คือที่ ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาทีและความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก จะให้ร้อยละการแยกโปรตีนเท่ากับ 92.203 และร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 68.512 โดยที่ร้อยละการแยกโปรตีนจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้น

นำภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์มาใช้ในการศึกษาการกรองเพื่อกำจัดอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ในถังกวน ทำการศึกษาการกวน 4 ชนิดคือ ไม่ทำการกวน กวนด้วยใบกวน กวนด้วยใบกวาดและกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด พบว่าการกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดจะให้ฟลักซ์สูงโดยร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 52.611 และ 28.697 ตามลำดับซึ่งมีค่าสูงกว่าการกวน 3 ชนิดแรก เมื่อศึกษาผลของความเข้ม-ข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามต่อการกำจัดโปรตีนและฟลักซ์ของการกรองโดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด พบว่าเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นร้อยละการกำจัดโปรตีน ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์และฟลักซ์ของการกรองจะลดลง

สุดท้ายจะเป็นการนำภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมสำหรับการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์มาใช้กับการกรองโดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด พบว่าร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 81.216 และ 70.995 ตามลำดับ โพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองมีปริมาณโพลีแซคคาไรด์ โปรตีนและไขมันร้อยละ 93.616 4 844 และ 1.540 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....วารี จารุวัฒนายนต์.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2543.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4070416021: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORD: TAMARIND KERNEL POWDER / TAMARIND SEED POLYSACCHARIDE / FILTRATION

WAREE JARUWATTANAYON : PRODUCTION OF TAMARIND SEED POLYSACCHARIDE FROM TAMARIND KERNEL POWDER USING FILTRATION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHIRAKARN MUANGNAPOH, Dr. Ing. THESIS CO-ADVISOR : CHADA PHISALAPHONG, Ph. D. 156 pp. ISBN 974-13-0664-4

Protein removal from tamarind kernel powder(TKP) using ethanol and filtration was studied. The composition and particle size of TKP which is the raw material in this experiment were determined. It was found that the contents of polysaccharide , protein and fat were 68.213,19.505 and 8.687 %(wt/wt),respectively. Average particle size of powder is 39.83 micrometer(in 95 % v/v ethanol solution). From observation by SEM, protein adheres to polysaccharide. Therefore, ultrasonic wave was used for protein separation from polysaccharide in ethanol solution. It was found that before pretreating with ultrasonic, protein still adhered to polysaccharide and average particle size of powder was 39.67 micrometer(in 50%wt/wt ethanol solution). But when using ultrasonic, protein and polysaccharide were dispersed as individual particles and average particle size of powder was 30.15 micrometer.

The separation of protein from polysaccharide was studied at various TKP concentration(20,40,60 g/l),time of ultrasonic application(30,60,180 sec.) and ethanol solution(30,50,60 %wt/wt). It was found that 30 and 60%wt/wt ethanol solution gave large average particle size resulting in low percent protein separation. 30%wt/wt ethanol solution had major component as water, so particles swelled. For 60%wt/wt ethanol solution, protein still adhered to polysaccharide. Duration of ultrasonic application had effect on percent protein separation. It was found that for ultrasonic application of 30 seconds, percent protein separation is lower than those of 60 and 180 seconds. In addition, percent protein separation at 60 and 80 seconds are not different. Therefore the optimum condition for protein separation was TKP concentration 20 g/l , time of ultrasonic 60 sec and 50 %wt/wt ethanol solution. Under these conditions, percent protein separation and percent polysaccharide loss were found to be 92.203 and 68.512,respectively. In addition, percent protein separation decreased with increasing TKP concentration.

Filtration for protein removal from polysaccharide in stirred tank at optimum condition was studied at four types of stirring(no stirring , stirred with stirrer , stirred with wiper and sweeped filter media with wiper). It was found that sweeped filter media with wiper gave higher flux than other methods. Percent protein removal and percent polysaccharide loss were 52.611 and 28.698 , respectively. Percent protein removal , percent polysaccharide loss and flux decreased with increasing TKP concentration.

Finally, the optimum condition for protein removal from polysaccharide was used with filtration with wiper. It was found that percent protein removal and percent polysaccharide loss were 81.216 and 70.995 , respectively. Tamarind seed polysaccharide(TSP) from this experiment had polysaccharide , protein and fat of 93.616 , 4.844 and 1.540 %wt/wt, respectively.

Department.....Chemical Engineering.....Student's signature.....WAREE JARUWATTANAYON

Field of study.....Chemical Engineering .....Advisor's signature .....C. Muangnapoh.....

Academic year.....2000.....Co-advisor 's signature .....Chada Phisalaphong.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายท่าน ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจนัจที ที่เป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรุ้ง ปรีชานนท์ ที่เป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.ชฎา พิศาลพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บริษัท GM Ichihara จำกัดที่ได้ให้ผงเนื้อในเมล็ดมะขามซึ่งเป็นวัตถุดิบในการวิจัยและข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับมะขาม

ขอขอบคุณ บริษัทไทยแอลกอฮอล์จำกัดที่ได้ให้เอทานอลซึ่งเป็นวัตถุดิบในการวิจัย

ขอขอบคุณ ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่สนับสนุนให้ทุนวิจัย

ขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ห้องวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี ที่ได้ให้กำลังใจ คำแนะนำและช่วยต่อเครื่องมือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณทุกคนในครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจตลอดจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....ง

บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญรูป.....ฏ

สัญลักษณ์.....ณ

บทที่

1 บทนำ.....1

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....3

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย.....3

2. ตรวจเอกสาร.....4

2.1 ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ของมะขาม.....4

2.1.1 ผงเนื้อในเมล็ดมะขาม(Tamarind Kernel Powder :TKP).....4

2.1.2 โพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(Tamarind Seed Polysaccharide :TSP).....5

2.1.2.1 องค์ประกอบและโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม.....5

2.1.2.2 น้ำหนักโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม.....6

2.1.2.2 คุณสมบัติด้านความหนืด.....7

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม.....9

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกรอง.....14

3. ทฤษฎี.....24

3.1 โพลีแซคคาไรด์.....24

3.2 ทฤษฎีการกรอง (filtration thoery).....27

3.2.1 ประเภทของการกรอง.....28

3.2.2 สมการที่ใช้ในการกรอง.....31

3.2.3 การเลือกชนิดของการกรอง.....38

4. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย.....39

4.1 เคมีภัณฑ์.....39

4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง.....40

4.3 วิธีการทดลอง.....41

5. ผลการทดลอง วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....53

5.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบ ลักษณะของอนุภาค ขนาดอนุภาคของ

ผงเนื้อในเมล็ดมะขามและโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม.....53

5.2 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาค

โพลีแซคคาไรด์ของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม.....57

5.2.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลและเวลาในการผ่าน

คลื่นเหนือเสียงต่อการแยกโปรตีน.....57

5.2.2 ผลของเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อการแยกโปรตีน.....64

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.2.3 ผลของความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามและเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อการแยกโปรตีน.....69

5.3 ผลการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดไหลผ่านตัวกรอง(dead – end filtration) ในถังกวนโดยศึกษาลักษณะการกวนหลายชนิด.....76

5.3.1 ผลของลักษณะการกวนต่อการกำจัดโปรตีนและฟลักซ์ของการกรอง.....76

5.3.2 ผลของความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามต่อการกำจัดโปรตีนและฟลักซ์ของการกรองโดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด.....83

5.4 ผลการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดไหลผ่านตัวกรองในถังกวนโดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด และมีการชะเค้กด้วยสารละลายเอทานอล.....88

สรุปผลการทดลอง.....93

ข้อเสนอแนะ.....96

รายการอ้างอิง.....97

ภาคผนวก.....102

ภาคผนวก ก. เส้นกราฟมาตรฐาน.....103

ภาคผนวก ข. การทดลองกำจัดโปรตีนโดยวิธีต่าง ๆ.....109

ภาคผนวก ค. ข้อมูลการทดลองของบทที่ 5..... ..126

ภาคผนวก ง. ข้อมูลการทดลองของภาคผนวก ข.....147

ประวัติผู้แต่ง.....156

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

5.1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและอนุภาคของ MAKAM 200 และ TG 200.....53

5.2 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 0 30 50 และ 60 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 30 60 และ 180 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร.....63

5.3 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 0 15 30 45 60 180 และ 300 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร..... ..68

5.4 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 30 60 และ 180 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร.....73

5.5 แสดงชนิดของลักษณะการกวนต่อร้อยละการกำจัดโปรตีนทั้งหมดและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมด.....80

5.6 แสดงความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามต่อร้อยละการกำจัดโปรตีนทั้งหมดและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมด โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด.....86

5.7 แสดงร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของการกรองและการซะ 4 ครั้งและ 15 ครั้ง ที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมตอลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด.....91

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.8 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(TSP)ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกรองที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดและมีการชะเค้กด้วยสารละลายเอทานอล.....91

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงสูตรโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม.....6

2.2 แสดงสูตรโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(Kooiman).....6

2.3 แสดงสูตรโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(Savur,SrivastavaและSingh).....6

2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการอุดตันตัวกรดง(รูป a) ความต้านทานการกรอง(รูป b) ฟลักซ์ของการกรอง(รูป c) และความเค้นเฉือนเมื่อนำเค้กออก(รูป d) กับจำนวนรอบในการกรอง.....15

2.5 แสดงลักษณะของเส้นใยของตัวกรองที่ใช้ในการทดลอง.....16

2.6 แสดงลักษณะการอุดตันของอนุภาคที่รูพรุนของตัวกรอง.....17

2.7 แสดงผลของเวลาในการกรองกับความเข้มข้นของสารแขวนลอยในฟิวเทรต(รูปa) แสดงลักษณะการกรองโดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง(รูปb) และแสดงผลของเวลาในการกรองกับความต้านทานของตัวกรอง 4 ชนิด(รูปc).....18

2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของของแข็งซึ่งเกิดเป็นเค้กกับความสูงของเค้ก 19

2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของเวลาต่อปริมาตรของฟิวเทรตที่ได้กับปริมาตรฟิวเทรตที่ได้ที่ความดันต่าง ๆ กัน(รูป a) และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของของแข็งที่เกิดเป็นเค้กกับความสูงของเค้ก(รูป b).....20

2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของของแข็งกับเวลาในการกรอง.....21

2.11 แสดงภาพภาคตัดขวางของเค้กที่ได้จากการกรองเมื่อรูพรุนของตัวกรองมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคโพลีสไตรีน(a) และรูพรุนของตัวกรองมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคของโพลีสไตรีน(b).....23

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	แสดงการกรองแบบติดอยู่ที่ผิวตัวกรอง(cake,surface or screen filtration)	28
3.2	แสดงการกรองแบบติดค้างอยู่ในตัวกรอง(deep bed filtration)	29
4.1	แผนภาพอุปกรณ์การกรองชนิดไหลผ่านตัวกรองในถังกวนโดยมีลักษณะการกวนชนิดต่าง ๆ คือไม่ทำการกวน กวนด้วยใบกวน กวนด้วยใบกวาดและกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด	46
4.2	แผนภาพอุปกรณ์การกรองชนิดไหลผ่านตัวกรองในถังกวนโดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดและมีการชะเค้กด้วยสารละลายเอทานอล	47
5.1	แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของ MAKAM 200 และ TG 200	55
5.2	แสดงภาพถ่ายลักษณะและรูปร่างของ MAKAM 200 และ TG 200	56
5.3	แสดงภาพถ่ายลักษณะของผงเนื้อในเมล็ดมะขามในสารละลายเอทานอลก่อนการผ่านคลื่นเหนือเสียงและหลังการผ่านคลื่นเหนือเสียงด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400 เท่า	60
5.4	แสดงร้อยละการแยกโปรตีนกับจำนวนครั้งของการชะที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 0 30 50 และ 60 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 30 60 และ 180 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร	61
5.5	แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลและเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อร้อยละการแยกโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของการกรองและการชะทั้งหมด 4 ครั้ง	62

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.6 แสดงค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนกับจำนวนครั้งของการซะที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 0 15 30 45 60 180และ 300 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร.....66

5.7 แสดงผลของเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อร้อยละการแยกโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของการกรองและการซะทั้งหมด 4 ครั้ง.....67

5.8 แสดงค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนกับจำนวนครั้งของการซะที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 30 60 และ 180 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร.....71

5.9 แสดงผลของความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามและเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อร้อยละการแยกโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของการกรองและการซะทั้งหมด 4 ครั้ง.....72

5.10 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาในการกรองกับร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของลักษณะการกวน 4 ชนิด.....79

5.11 แสดงบริเวณภาคตัดขวางของเค้กที่ได้จากการกรองโดยไม่ทำการกวน กวนด้วยใบกวน กวนด้วยใบกวาดและกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด โดยถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM).....81

5.12 แสดงฟลักซ์ของการกรองกับเวลาในการกรองของลักษณะการกวน 4 ชนิด.....82

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.13 แสดงฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนกับเวลาในการกรองของลักษณะการกวน 4 ชนิด.....82

5.14 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาในการกรองกับร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด.....85

5.15 แสดงฟลักซ์ของการกรองกับเวลาในการกรองที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด.....87

5.16 แสดงฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนกับเวลาในการกรองที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด.....87

5.17 แสดงร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์กับจำนวนครั้งของการชะที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด.....90

5.18 แสดงบริเวณพื้นผิวและบริเวณภาคตัดขวางของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(TSP) ที่ได้จากการทดลองที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดโปรตีนออกจากโพลีแซคคาไรด์ โดยถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....92

สัญลักษณ์

A	พื้นที่การกรอง	(cm^2)
k	ความสามารถในการแพร่ผ่านของ Darcy's Law	(cm^2)
L	ความหนาของชั้นฟิวเตอร์เค้ก	(cm)
$-\Delta P_f$	ความดันลดเนื่องจากการไหลผ่านชั้นของอนุภาคที่เป็นเค้ก	(psi)
$-\Delta P_t$	ความดันลดทั้งหมดในการกรอง	(psi)
R_C	ความต้านทานที่เกิดจากตัวเค้ก	(cm^{-1})
R_M	ความต้านทานที่เกิดจากตัวกรอง	(cm^{-1})
S_0	พื้นที่ผิวจำเพาะ(specific area)	(cm^2/cm^3)
t	เวลาในการกรอง	(sec)
V	ปริมาตรของของไหล	(cm^3)
V_e	ปริมาตรเทียบเท่าของของไหลที่ทำให้เกิดเค้กที่มีความต้านทานเท่ากับความต้านทานการกรองของระบบ	(cm^3)
W	น้ำหนักอนุภาคในของไหลต่อปริมาตรของของไหล	(g/cm^3)
W_0	น้ำหนักอนุภาคของของไหล	(g)
ε	ค่าความพรุนของฟิวเตอร์เค้ก	(-)
ρ_s	ความหนาแน่นของอนุภาค	(g/cm^3)
α	ความต้านทานเค้กจำเพาะ	(cm/g)
μ	ความหนืดของของไหล	(cps)