บทที่ 5

ผลการทดลอง วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบ ลักษณะของอนุภาค ขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม(TKP)และโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(TSP)ที่ได้รับจากบริษัท GM Ichihara ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า MAKAM 200 และ SOABIGUM(หรือ TG 200) ตามลำดับ

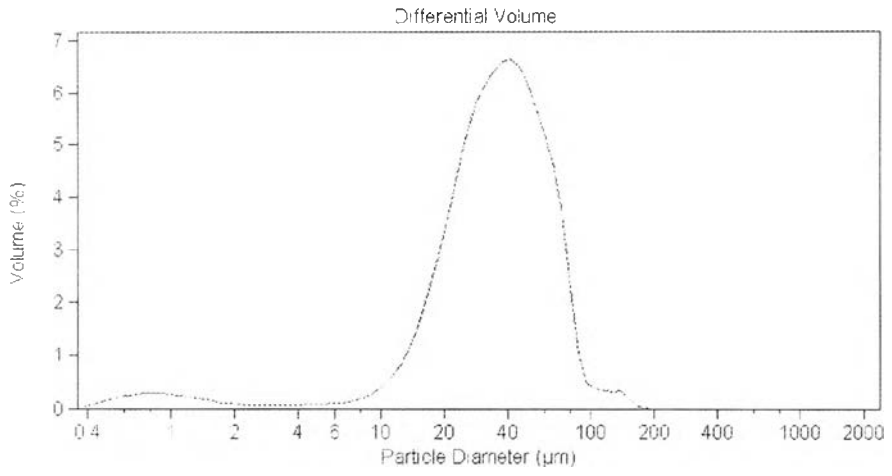
จากการนำ MAKAM 200 ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลองโดยได้รับจากบริษัท GM Ichihara และ TG 200 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของบริษัท GM Ichihara มาวิเคราะห์หาปริมาณต่างๆ ตามหัวข้อ 4.3.1 ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 5.1 จากตารางที่ 5.1 พบว่าปริมาณโปรตีนและไขมันใน MAKAM 200 จะมากกว่าใน TG 200 ซึ่งมีผลทำให้ MAKAM 200 มีลักษณะเป็นผงที่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อนและเมื่อพิจารณาขนาดอนุภาคของ MAKAM 200 และ TG 200 จะพบว่า MAKAM 200 มีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า TG 200 อาจเป็นเพราะทางบริษัทได้นำ MAKAM 200 มากำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออก แล้วทำการดัดแปลงรูปร่าง(modification)ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อผลทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของบริษัท

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบและขนาดอนุภาคของ MAKAM 200 และ TG 200 (องค์ประกอบอื่นๆ ใน MAKAM 200 และ TG 200 ถือว่ามีค่าน้อยจึงไม่นำมาคำนวณ)

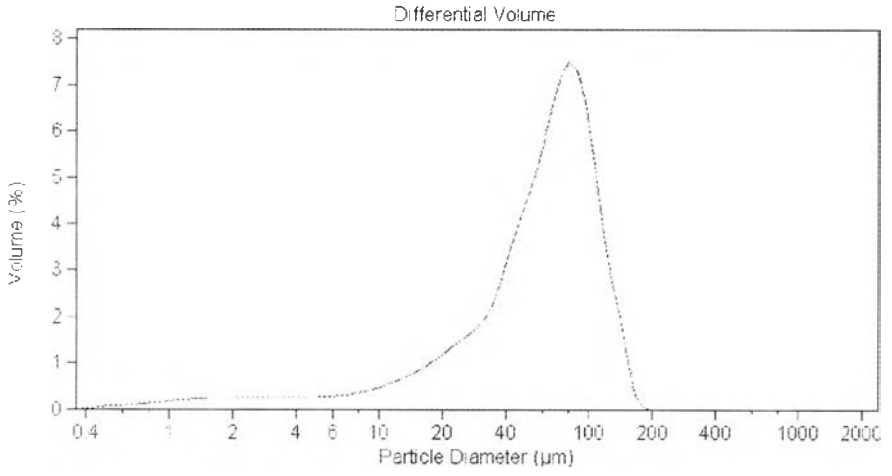
	ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณโปรตีน(ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ปริมาณไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมโครเมตร)
		วิธีวัดปริมาณ N	วิธีลาวรี		
MAKAM 200	68.213	23.1	19.505	8.687	39.83
TG 200	99.725	0.125	0.122	0.150	64.49

กราฟการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของ MAKAM 200 และ TG 200 แสดงในรูปที่ 5.1 จะเห็นว่า MAKAM 200 มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่กว้างกว่า TG 200

ผลการวิเคราะห์ลักษณะและรูปร่างของ MAKAM 200 และ TG 200 โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด(scanning electron microscopy, SEM) แสดงในรูปที่ 5.2 จากรูปที่ 5.2 พบว่า MAKAM 200 จะมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า TG 200 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดขนาดอนุภาคและเมื่อดูลักษณะพื้นผิวของ MAKAM 200 และ TG 200 พบว่า MAKAM 200 มีพื้นผิวของอนุภาคที่ขรุขระกว่า TG 200 อาจเป็นเพราะอนุภาคขนาดเล็กของโปรตีนที่มีอยู่มากใน MAKAM 200 จะเกาะอยู่บนพื้นผิวของ MAKAM 200

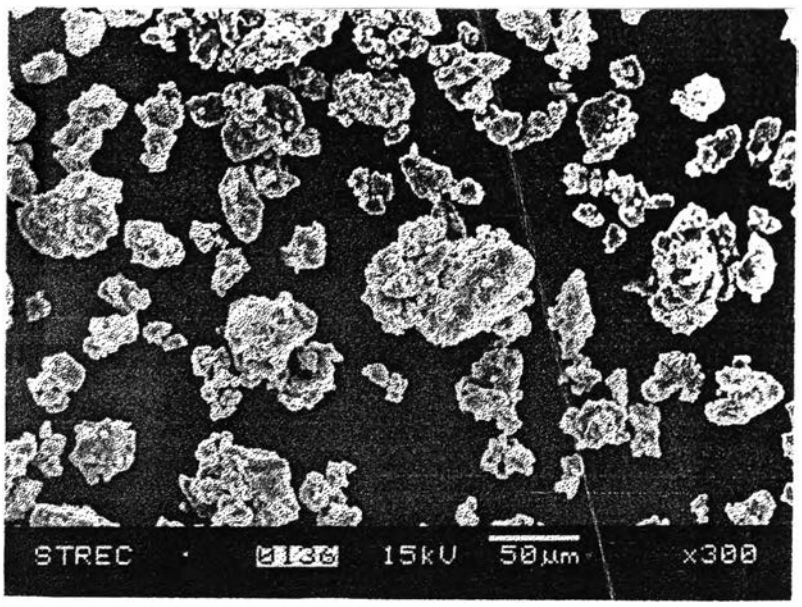


MAKAM 200 (TKP)

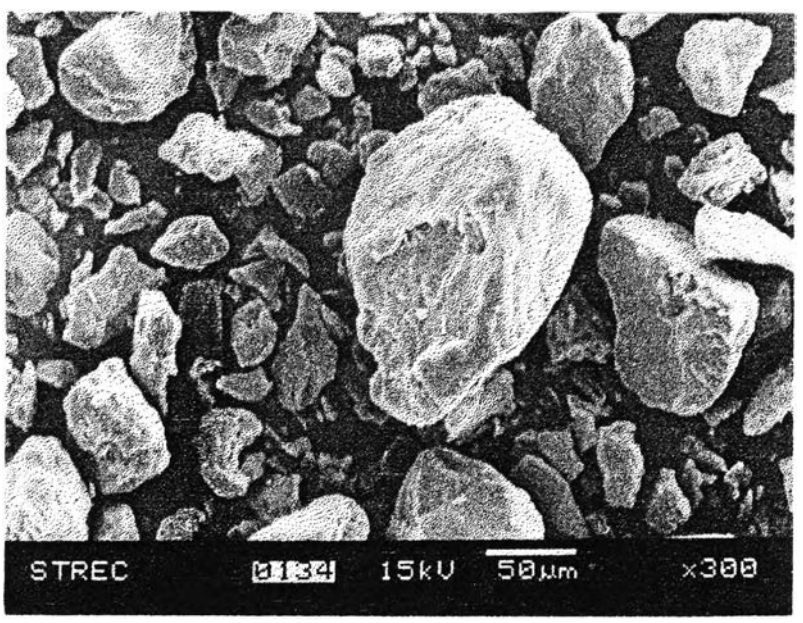


TG 200 (TSP)

รูปที่ 5.1 แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของ MAKAM 200 (TKP) และ TG 200 (TSP)



MAKAM 200 (TKP)



TG 200 (TSP)

รูปที่ 5.2 แสดงภาพถ่ายลักษณะและรูปร่างของ MAKAM 200 (TKP) และ TG 200 (TSP)

5.2 ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

5.2.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลและเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อการแยกโปรตีน

ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 0 (ทำการกวนในน้ำ ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง) 30 50 และ 60 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 30 60 และ 180 วินาที(ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 0 จะไม่มีการผ่านคลื่นเหนือเสียง) ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร ทำการซะเค้กที่เกิดจากการกรอง (เค้กคือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ)ด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จำนวน 15 ครั้ง ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.3 จากรูปที่ 5.3 แสดงภาพถ่ายลักษณะของผงเนื้อในเมล็ดมะขามในสารละลายเอทานอลก่อนการผ่านคลื่นเหนือเสียงและหลังการผ่านคลื่นเหนือเสียงด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400 เท่า โดยทำการย้อมสีก่อนถ่ายภาพด้วยสารละลายไอโอดีน แป้งจะติดสีน้ำเงิน โปรตีนจะติดสีเหลืองและไขมันจะละลายในสารละลายเอทานอล จะเห็นว่าเมื่อไม่มีการผ่านคลื่นเหนือเสียงอนุภาคของโพลีแซคคาไรด์และอนุภาคของโปรตีนจะเกาะติดกัน แต่เมื่อมีการผ่านคลื่นเหนือเสียงอนุภาคของโพลีแซคคาไรด์และอนุภาคของโปรตีนจะหลุดออกจากกันซึ่งจะมีผลต่อการกรองเพื่อกำจัดโปรตีนในหัวข้อ 5.3 เมื่อพิจารณาร้อยละการแยกโปรตีนกับจำนวนครั้งของการซะซึ่งแสดงในรูปที่ 5.4 พบว่าการแยกโปรตีนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงการกรองและการซะ 4 ครั้งแรกเท่านั้น ดังนั้นผลของความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลและเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อร้อยละการแยกโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของการกรองและการซะทั้งหมด 4 ครั้งซึ่งแสดงในรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลและเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงที่เหมาะสมต่อการแยกโปรตีน คือที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนักและเวลาในการ

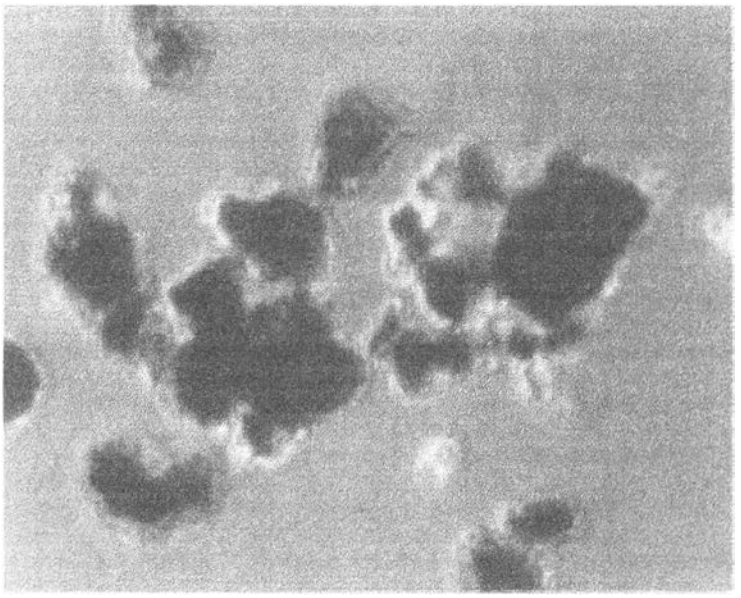
ผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาที โดยมีค่าร้อยละการแยกโปรตีน 92.203 และร้อยละการสูญเสียโพลี-แซคคาไรด์ 68.512 ทั้งนี้เนื่องจากเป็นภาวะที่มีร้อยละการแยกโปรตีนสูงแต่ขณะเดียวกันก็มีร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์สูงด้วย

ผลการทดลองแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ของผงเนื้อในเมล็ดมะขามในน้ำและในสารละลายเอทานอลซึ่งแสดงในรูปที่ 5.5 พบว่าร้อยละการแยกโปรตีนในน้ำสูงกว่าร้อยละการแยกโปรตีนในสารละลายเอทานอลเล็กน้อย แต่ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ในน้ำจะสูงมากเมื่อเทียบกับร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ในสารละลายเอทานอล โดยร้อยละการแยกโปรตีนในน้ำและในสารละลายเอทานอลเป็น 92.660 และ 92.203 ตามลำดับ ส่วนร้อยละการสูญเสียโพลี-แซคคาไรด์ในน้ำและในสารละลายเอทานอลเป็น 78.035 และ 68.512 ตามลำดับ ดังนั้นการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ของผงเนื้อในเมล็ดมะขามในน้ำจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการแยกโปรตีน

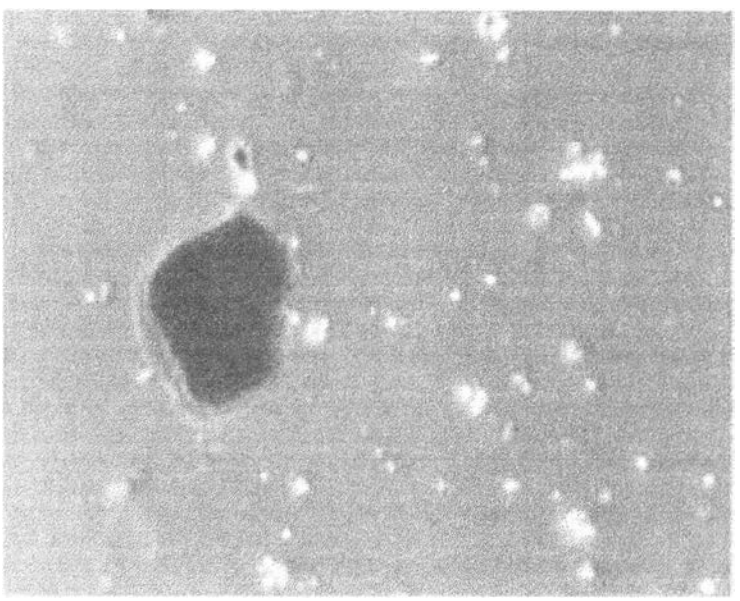
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 0 30 50 และ 60 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 30 60 และ 180 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก อนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามจะมีขนาดใหญ่อาจเป็นเพราะโปรตีนที่อยู่ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามละลายได้น้อยและจะเหนียวติดกันเองหรือติดกับโพลี-แซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามซึ่งจะทำให้ร้อยละการแยกโปรตีนโดยการกรองต่ำ ส่วนที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามเกิดการบวมพองอาจเป็นเพราะน้ำที่มีอยู่มากในสารละลายเอทานอลเข้าไปขยายโครงสร้างของผงเนื้อในเมล็ดมะขามทำให้อนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมีขนาดใหญ่ซึ่งจะไปอุดตันรูพรุนและเกิดเค้กได้เร็วบนตัวกรองมีผลทำให้ร้อยละการแยกโปรตีนโดยการกรองต่ำ และที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล

ร้อยละ 50 โดยน้ำหนักจะมีขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามต่ำที่สุดจึงทำให้ร้อยละการแยกโปรตีนสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5.5

เมื่อพิจารณาผลของเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ดังแสดงในตารางที่ 5.2 พบว่าเมื่อเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงเพิ่มขึ้นขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามจะเล็กลง เนื่องจากอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมีเวลานานพอที่จะถูกพลังงานจากคลื่นเหนือเสียงแล้วทำให้อนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามแตกออก และจากรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าเมื่อขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามเล็กลง ร้อยละการแยกโปรตีนโดยการกรองจะสูงขึ้น เนื่องจากอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามจะลอดรูพรุนของตัวกรองได้ง่ายขึ้นและเมื่อพิจารณาที่เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงเป็น 60 และ 180 วินาที พบว่าร้อยละการแยกโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทำการผ่านคลื่นเหนือเสียงเป็นเวลานานซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

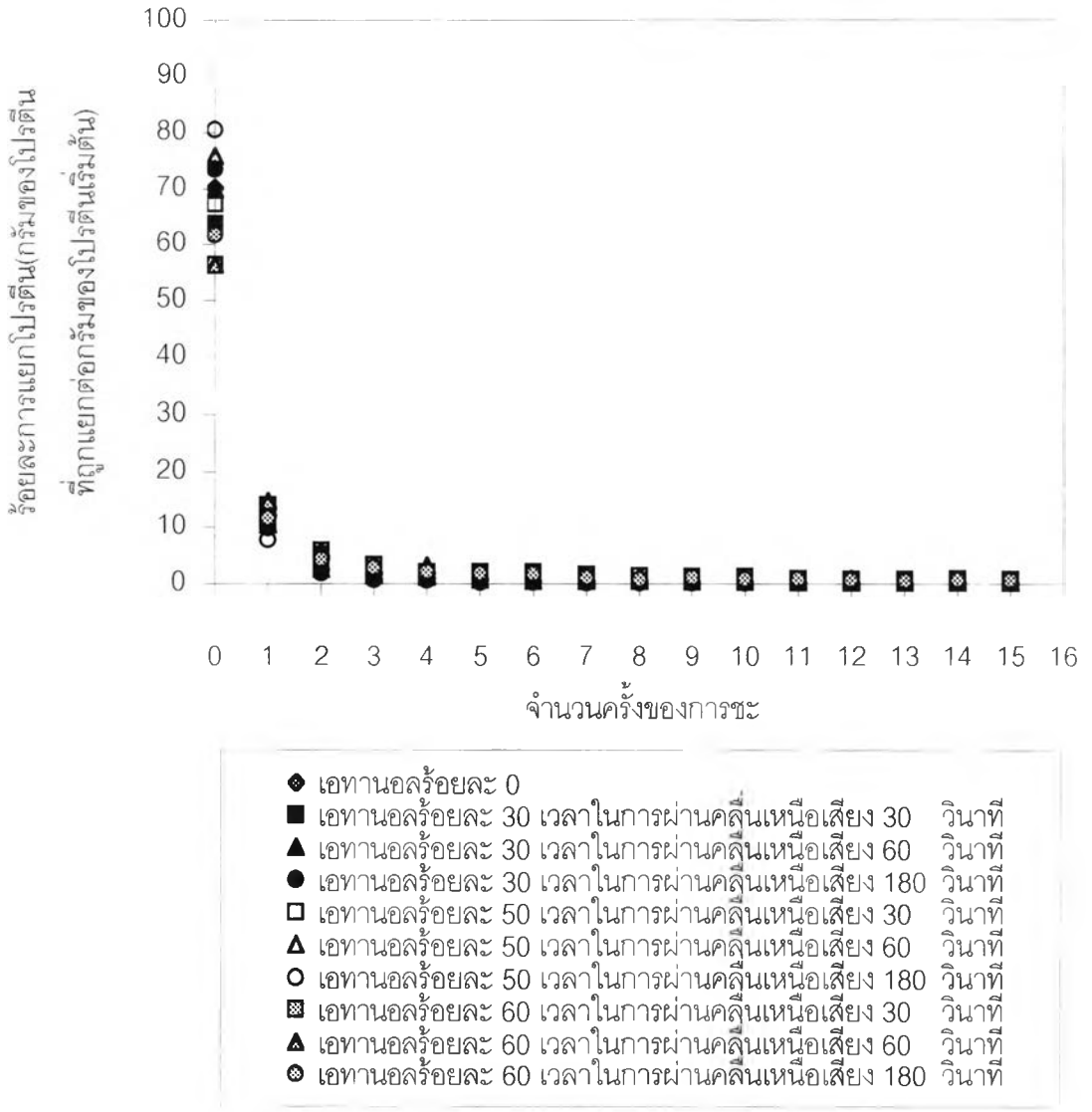


ก่อนการผ่านคลื่นเหนือเสียง

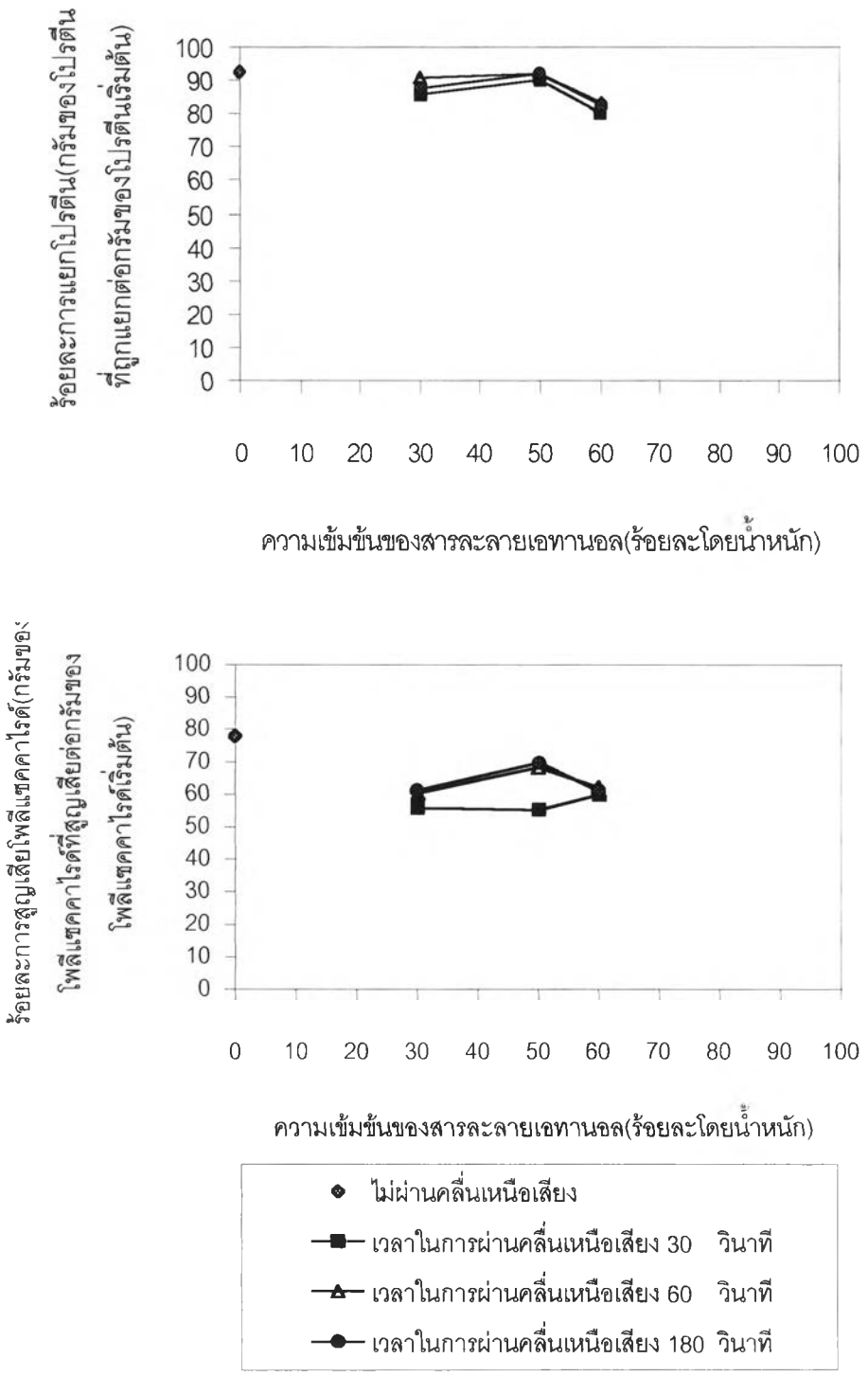


หลังการผ่านคลื่นเหนือเสียง

รูปที่ 5.3 แสดงภาพถ่ายลักษณะของผงเนื้อในเมล็ดมะขามในสารละลายเอทานอลก่อนการผ่านคลื่นเหนือเสียงและหลังการผ่านคลื่นเหนือเสียงด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400 เท่า



รูปที่ 5.4 แสดงร้อยละการแยกโปรตีนกับจำนวนครั้งของการชะที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล ร้อยละ 0 30 50 และ 60 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 30 60 และ 180 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 5.5 แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลและเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อร้อยละการแยกโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของการกรองและการซะทั้งหมด 4 ครั้ง

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

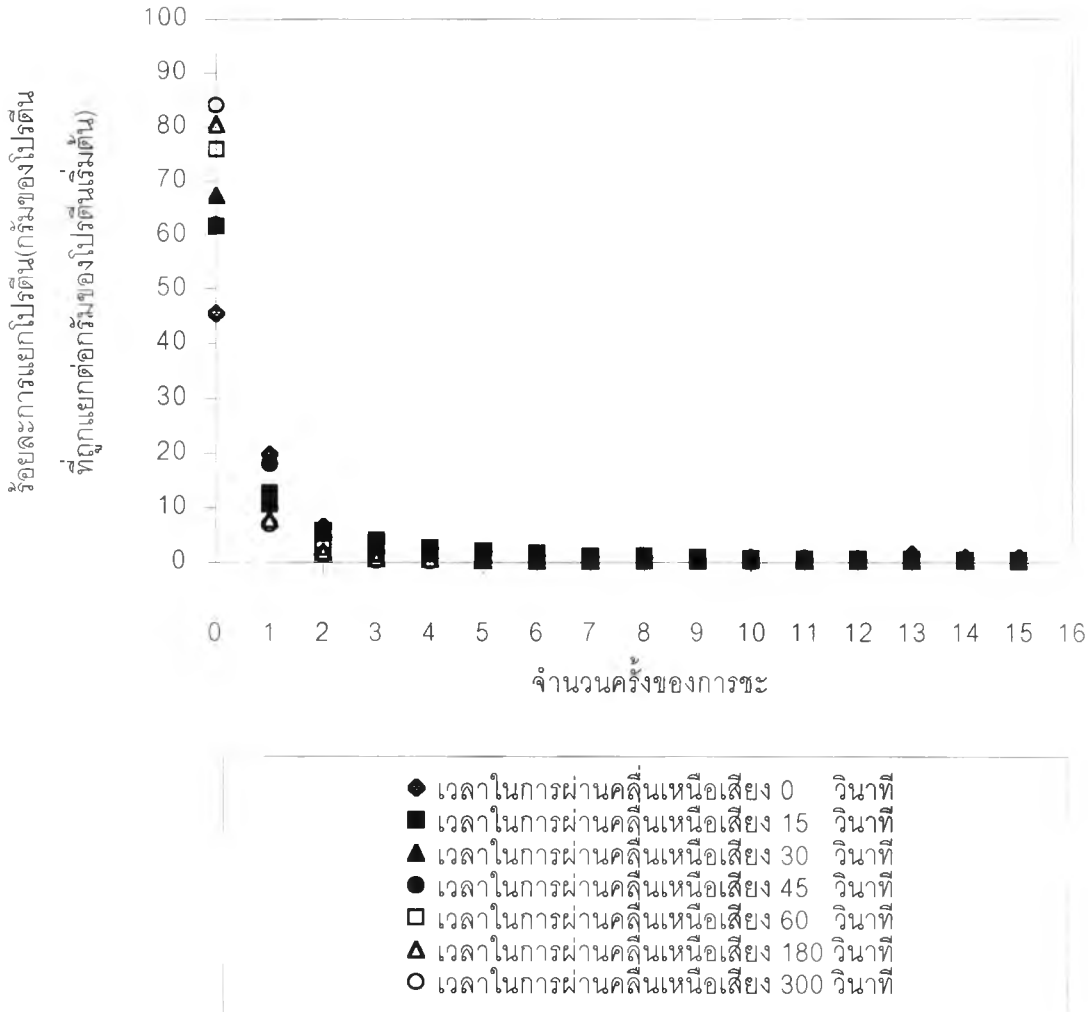
ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม(ไมโครเมตร) ที่เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง(วินาที)			
	0 วินาที	30 วินาที	60 วินาที	180 วินาที
0	79.15	--	--	--
30	--	33.07	31.32	31.08
50	--	38.08	30.15	22.23
60	--	38.59	37.58	36.19

5.2.2 ผลของเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อการแยกโปรตีน

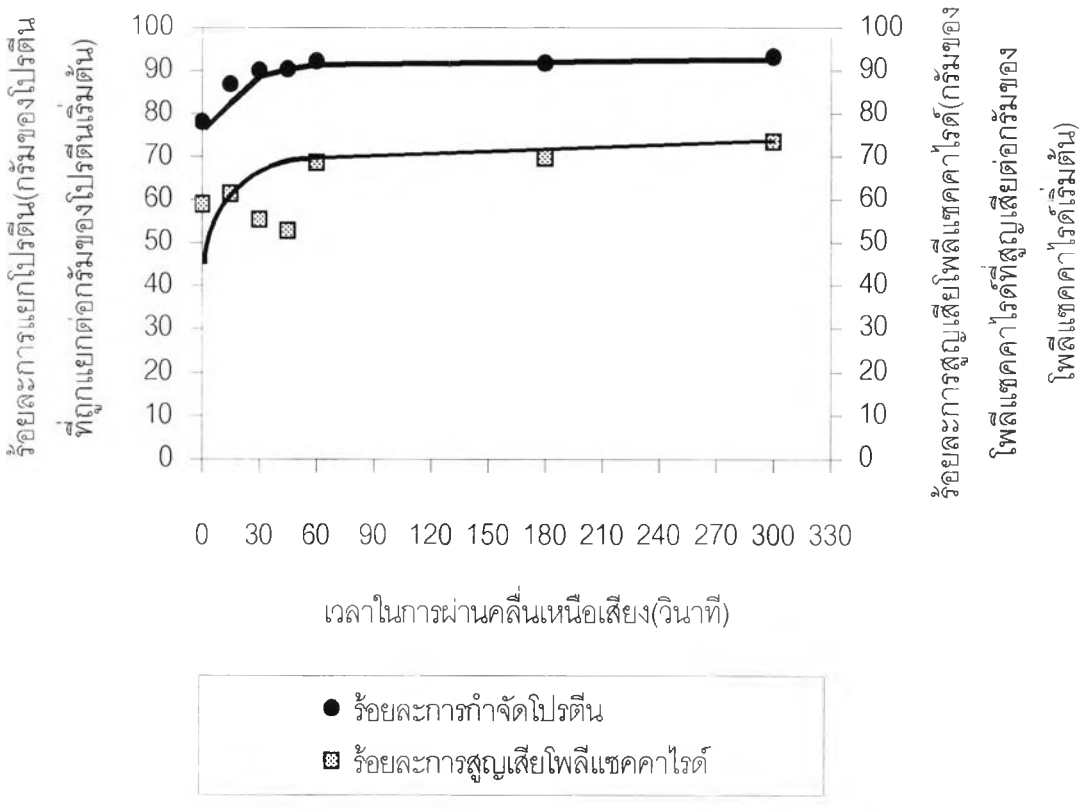
ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 0(ทำการกวนในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง) 15 30 45 60 180 และ 300 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร ทำการชะเค้กที่เกิดจากการกรอง(เค้กคือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ) ด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จำนวน 15 ครั้ง ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.6 จากรูปที่ 5.6 แสดงร้อยละการแยกโปรตีนกับจำนวนครั้งของการชะ พบว่าการแยกโปรตีนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงการกรองและการชะ 4 ครั้งแรกเท่านั้น ดังนั้นผลของเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อร้อยละการแยกโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของการกรองและการชะทั้งหมด 4 ครั้งจะแสดงในรูปที่ 5.7 จากรูปที่ 5.7 จะเห็นว่าเมื่อเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงเพิ่มขึ้นร้อยละการแยกโปรตีนโดยการกรองจะสูงขึ้น โดยในช่วงเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 0 – 60 วินาที จะมีอัตราการเพิ่มของร้อยละการแยกโปรตีนโดยการกรองมากกว่าช่วงเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 – 300 วินาที และจะสังเกตได้ว่าที่เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 180 และ 300 วินาที มีค่าร้อยละการแยกโปรตีนโดยการกรองไม่ต่างกันมากนัก ด้วยเหตุนี้จึงไม่จำเป็นต้องทำการผ่านคลื่นเหนือเสียงเป็นเวลานาน ดังนั้นเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงที่เหมาะสมต่อการแยกโปรตีนคือ 60 วินาที โดยมีร้อยละการแยกโปรตีนเป็น 92.203 และร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เป็น 68.512 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 5.2.1

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างมีการผ่านและไม่มีการผ่านคลื่นเหนือเสียงพบว่าร้อยละการแยกโปรตีนเมื่อมีการผ่านคลื่นเหนือเสียงจะสูงกว่าเมื่อไม่มีการผ่านคลื่นเหนือเสียง โดยร้อยละการแยกโปรตีนเมื่อไม่ผ่านคลื่นเหนือเสียงเป็น 78.042 และร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เมื่อไม่ผ่านคลื่นเหนือเสียงเป็น 58.772 ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคโปรตีนซึ่งอยู่ในสารแขวนลอยของผงเนื้อในเมล็ดมะขามใน

สารละลายเอทานอลที่ไม่มีการผ่านคลื่นเหนือเสียงจะยังคงเกาะติดกับอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อ-ในเมล็ดมะขาม ดังนั้นจึงกรองแยกโปรตีนออกมาได้น้อยกว่าสารแขวนลอยของผงเนื้อในเมล็ดมะขามในสารละลายเอทานอลที่มีการผ่านคลื่นเหนือเสียงซึ่งอธิบายได้ว่าพลังงานจากคลื่นเหนือเสียงจะไปสั่นอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ทำให้อนุภาคโพลีแซคคาไรด์และอนุภาคโปรตีนหลุดออกจากกันซึ่งจะสามารถกรองแยกโปรตีนออกมาได้ ทำให้ร้อยละการแยกโปรตีนจึงสูงกว่าเมื่อไม่มีการผ่านคลื่นเหนือเสียง



รูปที่ 5.6 แสดงร้อยละการแยกโปรตีนกับจำนวนครั้งของการชะที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 0 15 30 45 60 180 และ 300 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 5.7 แสดงผลของเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อร้อยละการแยกโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของการกรองและการซะทั้งหมด 4 ครั้ง

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

เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง (วินาที)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม (ไมโครเมตร)
0	39.67
15	38.58
30	38.08
45	37.38
60	30.15
180	22.23
300	24.70

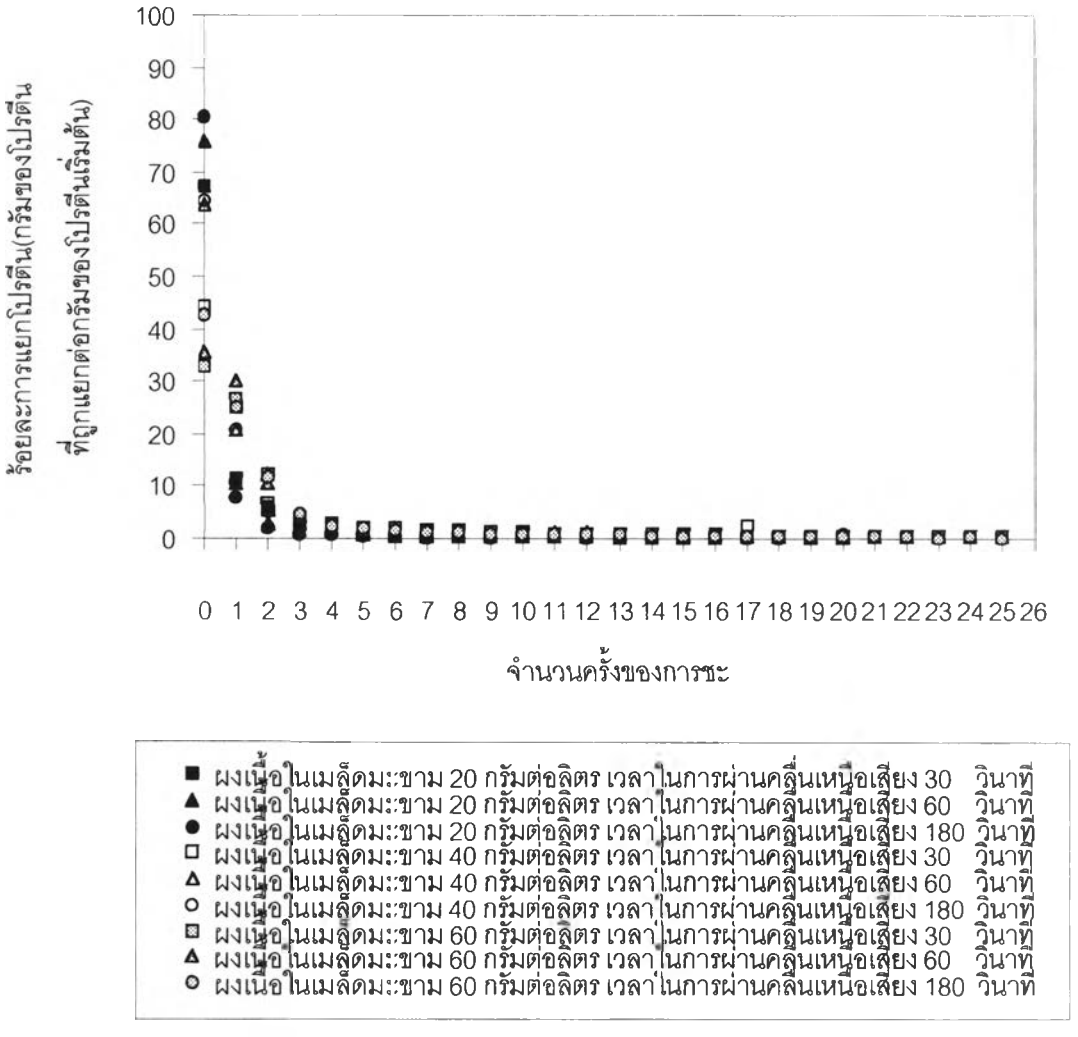
จากตารางจะเห็นว่าเมื่อเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงมากขึ้นจะทำให้ขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมีแนวโน้มที่จะลดลงเนื่องจากอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมีเวลานานพอที่จะเกิดการแตกตัว เมื่ออนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมีขนาดเล็กลงจะทำให้การแยกโปรตีนออกจากโพลีแซคคาไรด์ทำได้ยากทั้งนี้เป็นเพราะทั้งอนุภาคโปรตีนและอนุภาคโพลีแซคคาไรด์จะมีขนาดเล็กและจะลอดตัวกรองซึ่งเป็นตะแกรงได้ง่ายโดยอนุภาคทั้งสองชนิดจะลอดตะแกรงมารวมกันในฟิวเทรต และจะมีผลทำให้การสูญเสียโพลีแซคคาไรด์มีมากตามไปด้วย

5.2.3 ผลของความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามและเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อการแยกโปรตีน

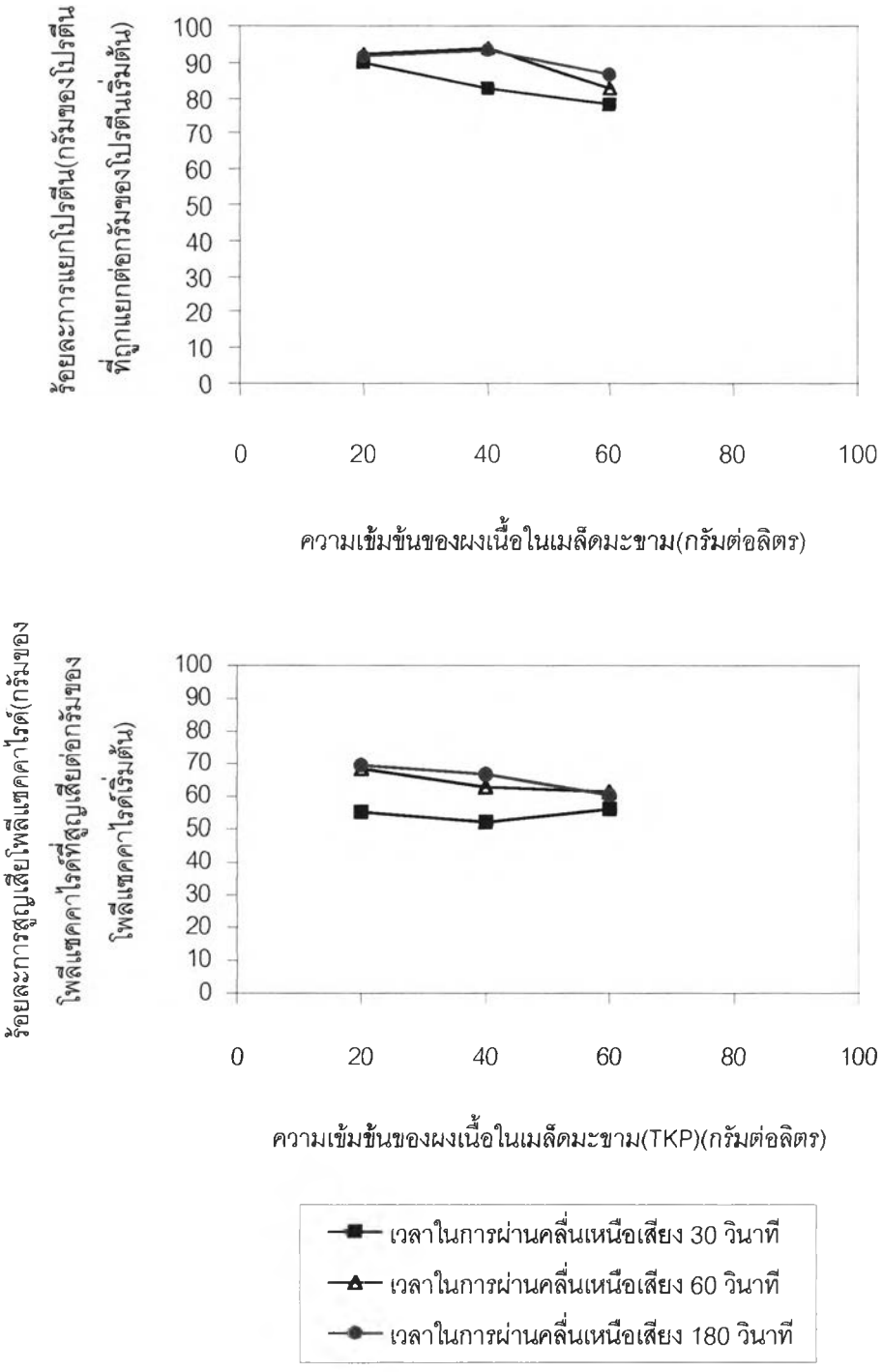
ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 30 60 และ 180 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร ทำการชะเค้กที่เกิดจากการกรอง(เค้กคือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ)ด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จำนวน 15 ครั้ง(สำหรับความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร) จำนวน 20 ครั้ง(สำหรับความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 40 กรัมต่อลิตร) และจำนวน 25 ครั้ง(สำหรับความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 60 กรัมต่อลิตร) ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.8 จากรูปที่ 5.8 แสดงร้อยละการแยกโปรตีนกับจำนวนครั้งของการชะ พบว่าการแยกโปรตีนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงการกรองและการชะ 4 ครั้งแรกเท่านั้น เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามและเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อร้อยละการแยกโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของการกรองและการชะทั้งหมด 4 ครั้งซึ่งแสดงในรูปที่ 5.9 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมากขึ้นร้อยละการแยกโปรตีนจะมีแนวโน้มต่ำลงเล็กน้อย อาจเนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมากขึ้นปริมาณของอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามจะหนาแน่นขึ้นจึงทำให้คลื่นเหนือเสียงที่ส่งออกไปเพื่อกระจายอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคของโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามไม่เพียงพอต่อการแยกโปรตีนซึ่งจะสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามดังแสดงในตารางที่ 5.4 คือ เมื่อความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมากขึ้นขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามจะใหญ่ขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อการแยกโปรตีน(แสดงในรูปที่ 5.9)และขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม(แสดงในตารางที่ 5.4) ที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร พบว่าจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับหัวข้อ 5.2.1 คือเมื่อเวลาใน

การผ่านคลื่นเหนือเสียงมากขึ้นร้อยละการแยกโปรตีนจะสูงขึ้นและขนาดอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามจะเล็กลง ดังนั้นเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงและความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่เหมาะสมต่อการแยกโปรตีน คือที่เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาทีและความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร โดยมีร้อยละการแยกโปรตีนเป็น 92.203 และร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เป็น 68.512



รูปที่ 5.8 แสดงร้อยละการแยกโปรตีนกับจำนวนครั้งของการชะที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอล ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 30 60 และ 180 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 5.9 แสดงผลของความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามและเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อร้อยละการแยกโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของการกรองและการชะทั้งหมด 4 ครั้ง

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

ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม (กรัมต่อลิตร)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม(ไมโครเมตร) ที่เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง(วินาที)		
	30 วินาที	60 วินาที	180 วินาที
20	38.08	30.15	22.23
40	35.17	34.96	34.46
60	36.63	35.27	33.11

จากการศึกษาปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อการแยกโปรตีนพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขาม คือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาทีและความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร โดยมีร้อยละการแยกโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เป็น 92.203 และ 68.512 ตามลำดับ

เนื่องจากได้มีผู้ศึกษาการกำจัดโปรตีนออกจากโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามภายใต้ภาวะที่อยู่ในสารละลายแอลกอฮอล์ซึ่งภาวะนี้ทั้งโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์จะเกิดเป็นอนุภาคที่มีขนาดต่างกันโดยอนุภาคโพลีแซคคาไรด์จะมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคโปรตีน แล้วทำการแยกอนุภาคทั้งสองออกจากกันโดยวิธีไฮโดรไซโคลน(5)ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและได้โพลีแซคคาไรด์มากกว่าร้อยละ 94(เมื่อคำนวณองค์ประกอบอื่น ๆ ในโพลีแซคคาไรด์) หรือร้อยละ 96(โดยถือว่าองค์ประกอบอื่น ๆ ในโพลีแซคคาไรด์มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณโพลีแซคคาไรด์ โปรตีนและไขมัน) แต่กระบวนการนี้จะต้องใช้ภาวะความดันสูงจึงสิ้นเปลืองพลังงานในการดำเนินงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะกำจัด

โปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่ไม่ต้องการออกจากโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้สารละลายเอทานอลและกระบวนการกรอง โดยเริ่มกระบวนกำจัดโปรตีนดังนี้(ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ข.)

1. การกำจัดโปรตีนโดยการกรองชนิดไมโครฟิลเทรชันแบบไหลขนานตัวกรองและใช้เยื่อแผ่นเซรามิกเป็นตัวกรอง พบว่ามีเค้กจากการกรองมากและมีอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามไปอุดตันในรูพรุนของเยื่อแผ่นเซรามิก จึงทำให้ฟลักซ์ของการกรองต่ำลงเมื่อทำการกรองครั้งต่อไป ดังนั้นกระบวนการนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำมากำจัดโปรตีนออกจากโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ข. ต่อมาจึงทำการทดลองกำจัดโปรตีนโดยการปั่นเหวี่ยงเพื่อกำจัดปัญหาของเค้กที่เกิดบนเยื่อแผ่นเซรามิกและอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่อุดตันรูพรุนของเยื่อแผ่นเซรามิก

2. การกำจัดโปรตีนโดยการปั่นเหวี่ยงเพื่อให้อนุภาคโพลีแซคคาไรด์ตกตะกอนแยกตัวออกจากอนุภาคโปรตีน พบว่าเมื่อมีการปั่นเหวี่ยงจะทำให้อนุภาคโปรตีนตกตะกอนมารวมกับอนุภาคโพลีแซคคาไรด์จึงทำให้ไม่สามารถแยกโปรตีนออกจากโพลีแซคคาไรด์ได้ ต่อมาจึงได้ทำการทดลองกำจัดโปรตีนโดยการกรองชนิดไหลขนานตัวกรองในโมดูลแบบท่อซึ่งใช้ความดันเป็นแรงขับและมีตะแกรงสแตนเลสขนาด 33 ไมโครเมตรเป็นตัวกรองซึ่งมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่าขนาดรูพรุนของเยื่อแผ่นเซรามิกเพื่อกำจัดปัญหาของเค้กที่เกิดบนเยื่อแผ่นเซรามิก การอุดตันรูพรุนของอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามในเยื่อแผ่นเซรามิกและการตกตะกอนของอนุภาคโปรตีนโดยการปั่นเหวี่ยง

3. การกำจัดโปรตีนโดยการกรองชนิดไหลขนานตัวกรองในโมดูลแบบท่อซึ่งใช้ความดันเป็นแรงขับและมีตะแกรงสแตนเลสขนาด 33 ไมโครเมตรเป็นตัวกรอง พบว่าเกิดเค้กมากบนตัวกรองเนื่องจากการใช้ความดันและร้อยละการกำจัดโปรตีนต่ำมาก ซึ่งแสดงว่ายังคงมีโปรตีนอยู่มากในผงเนื้อในเมล็ดมะขามที่ต้องการแยก ดังนั้นจึงได้นำผงเนื้อในเมล็ดมะขามในสารละลายเอทานอลมาศึกษาลักษณะของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าอนุภาคโปรตีนยังคงเกาะติดกับอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ ดังแสดง

ในรูปที่ 5.3(ภาพก่อนการผ่านคลื่นเหนือเสียง)ซึ่งมีผลทำให้ไม่สามารถกำจัดโปรตีนได้ จึงได้นำคลื่นเหนือเสียงมาประยุกต์ใช้เพื่อแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

4. การแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามเพื่อให้อนุภาคโพลีแซคคาไรด์และอนุภาคโปรตีนกระจายตัวเป็นอนุภาคเดี่ยว ๆ ในสารละลายเอทานอลโดยใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่าหลังการผ่านคลื่นเหนือเสียงอนุภาคโปรตีนจะหลุดออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ดังแสดงในรูปที่ 5.3(ภาพหลังการผ่านคลื่นเหนือเสียง)และร้อยละการแยกโปรตีนจะสูงถึง 98.344 ดังนั้นจึงได้ทำการกำจัดโปรตีนออกจากโพลีแซคคาไรด์โดยการใช้คลื่นเหนือเสียงแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามแล้วจึงทำการกำจัดอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลี-แซคคาไรด์โดยการกรองชนิดไหลขนานตัวกรองในโมดูลแบบท่อซึ่งไม่ใช้ความดันเป็นแรงขับ และมีตะแกรงสแตนเลสขนาด 33 ไมโครเมตรเป็นตัวกรอง เพื่อกำจัดปัญหาของอนุภาคโปรตีนที่ติดอยู่กับอนุภาคโพลีแซคคาไรด์และกำจัดปัญหาของเค้กที่เกิดจากการกรองโดยใช้ความดันเป็นแรงขับ

5. การกำจัดโปรตีนออกจากโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยการใช้คลื่นเหนือเสียงแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามแล้วจึงทำการกำจัดอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์โดยการกรองชนิดไหลขนานตัวกรองในโมดูลแบบท่อซึ่งไม่ใช้ความดันเป็นแรงขับและมีตะแกรงสแตนเลสขนาด 33 ไมโครเมตรเป็นตัวกรอง พบปัญหาในการทดลองคือไม่สามารถควบคุมปริมาตรในโมดูลทำให้ไม่สามารถวัดปริมาตรตามเวลาได้และยังพบว่ามีเค้กจากการกรองมากซึ่งมีผลต่อฟลักซ์ของการกรอง ดังนั้นจึงไม่สามารถกำจัดโปรตีนออกจากโพลี-แซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามได้

5.3 ผลการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดไหลผ่านตัวกรอง(dead – end filtration)ในถังกวนโดยศึกษาลักษณะการกวนหลายชนิด

จากปัญหาที่พบในการทดลองข้างต้นจึงได้สนใจที่จะใช้คลื่นเหนือเสียงร่วมกับการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดไหลผ่านตัวกรองในถังกวนโดยศึกษาลักษณะการกวนหลายชนิด และจากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม คือที่ ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาทีและความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร นำสภาวะที่เหมาะสมที่สุดมาทำการทดลองในหัวข้อนี้โดยทำการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดไหลผ่านตัวกรองในถังกวนโดยศึกษาลักษณะการกวนหลายชนิด

5.3.1 ผลของลักษณะการกวนต่อการกำจัดโปรตีนและฟลักซ์ของการกรอง

ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร ทำการกรองโดยมีการกวนตลอดเวลา ลักษณะการกวนมีดังนี้

1. ไม่ทำการกวน
2. กวนด้วยใบกวน ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที
3. กวนด้วยใบกวาด ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที
4. กวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด ที่ความเร็วรอบ 65 รอบต่อนาที(เนื่องจากที่ความเร็วรอบสูงกว่า 65 รอบต่อนาที จะทำให้ตะแกรงสแตนเลสขาด)

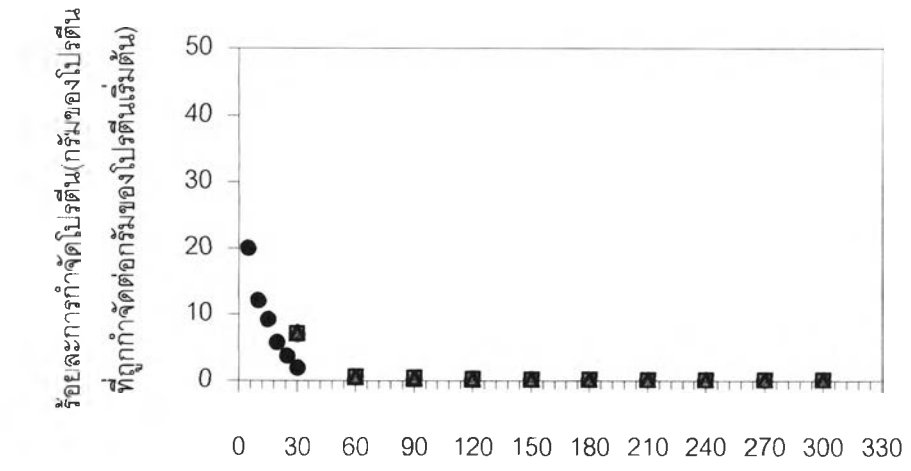
ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.10 และตารางที่ 5.5 จากรูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาในการกรองกับร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของลักษณะการ

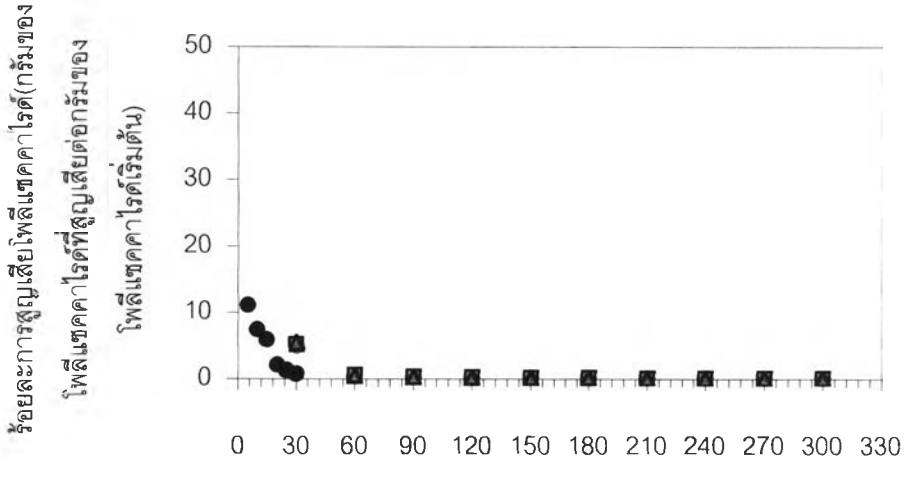
กวน 4 ชนิด และตารางที่ 5.5 แสดงชนิดของลักษณะการกวนต่อร้อยละการกำจัดโปรตีนทั้งหมดและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมด พบว่าเมื่อมีการกวนและไม่มีการกวนจะให้ผลที่ไม่แตกต่างกันคือ เมื่อเวลาในการกรองเพิ่มขึ้นค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนจะต่ำและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคา-ไรด์ก็ต่ำด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของโพลีแซคคาไรด์มีน้ำหนักมากกว่าอนุภาคของโปรตีนจึงตกตะกอนได้เร็วกว่า ซึ่งโพลีแซคคาไรด์จะไปอุดตันตัวกรองโดยเกิดเป็นเค้กที่ผิวหน้าตัวกรองทำให้ร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ต่ำซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Weigert และ Ripperger(29) และสอดคล้องกับผลการถ่ายภาพบริเวณภาคตัดขวางของเค้กที่ได้จากการกรองดังแสดงในรูปที่ 5.11 จากรูปที่ 5.11 แสดงบริเวณภาคตัดขวางของเค้กที่ได้จากการกรองโดยไม่ทำการกวน กวนด้วยใบกวน กวนด้วยใบกวาดและกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด โดยถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) จะเห็นชั้นซ้อนกันสองชั้นคือชั้นบนจะมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าซึ่งเป็นโปรตีน และชั้นล่างเป็นโพลีแซคคาไรด์ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าจึงตกตะกอนได้เร็วกว่าอนุภาคโปรตีน

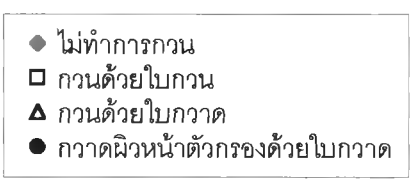
เมื่อพิจารณาการกรองโดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด จากรูปที่ 5.10 และตารางที่ 5.5 จะเห็นว่าร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์จะสูงมากเมื่อเทียบกับลักษณะการกวนชนิดอื่น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อมีการกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดจะทำให้ไม่เกิดเค้กสะสมบนตัวกรองมีผลทำให้โปรตีนถูกกำจัดออกจากโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามได้ดีและจากรูปที่ 5.11 จะเห็นผลที่สอดคล้องกันคือ เมื่อมีการกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด พบว่าเค้กที่ได้จะเห็นเป็นชั้นอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเป็นโปรตีนโดยความหนาของชั้นโปรตีนจะน้อยกว่าชั้นโปรตีนในเค้กที่ได้จากการกรองโดยไม่ทำการกวน กวนด้วยใบกวนและกวนด้วยใบกวาด

รูปที่ 5.12 แสดงฟลักซ์ของการกรองกับเวลาในการกรองของลักษณะการกวน 4 ชนิด พบว่าเมื่อมีการกวนและไม่มีการกวนจะให้ผลที่ไม่แตกต่างกันคือ เมื่อเวลาในการกรองเพิ่มขึ้นฟลักซ์ของการกรองจะลดลงเนื่องจากโพลีแซคคาไรด์มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าขนาดอนุภาคของโปรตีนจึงตกตะกอนได้ง่ายและเกิดเป็นเค้ก มีผลทำให้อนุภาคโปรตีนซึ่งมีขนาดเล็กไม่สามารถผ่านรูพรุนของเค้กของโพลีแซคคาไรด์จึงทำให้เกิดความต้านทานการกรองเพิ่มขึ้นและฟลักซ์ของการกรองต่ำลงซึ่งจะสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Tanaka และคณะ(32)

และเมื่อพิจารณาฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนกับเวลาในการกรองของลักษณะการกวน 4 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 5.13 พบว่าเมื่อมีการกวนและไม่มีการกวนจะให้ผลที่ไม่แตกต่างกันคือ ฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนในช่วงแรกของการกรอง(0 - 30 วินาที)จะสูงกว่าช่วงเวลาในการกรองถัดไป(ช่วง 30 – 60 วินาที)โดยในช่วงนี้(30 – 60 วินาที) ฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนจะตกลงมาก ดังนั้นทั้งมีการกวนและไม่มีการกวนจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการกรองเพื่อกำจัดอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขาม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดพบว่าการกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดจะให้ฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนที่สูงกว่ามากเมื่อเทียบกับลักษณะการกวนชนิดอื่น เนื่องจากมีเค้กสะสมบนตัวกรองน้อยจึงเกิดการกรองได้ดีกว่าการกรองที่ไม่มีการกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด



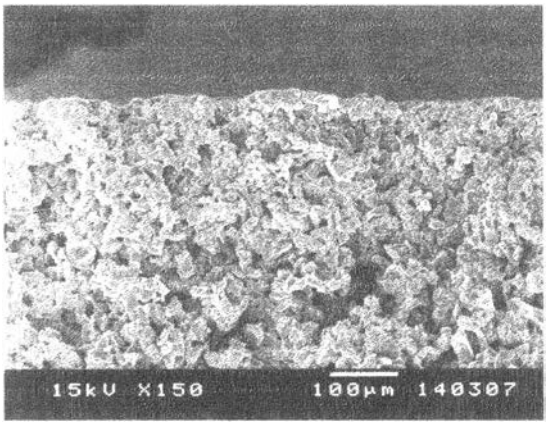




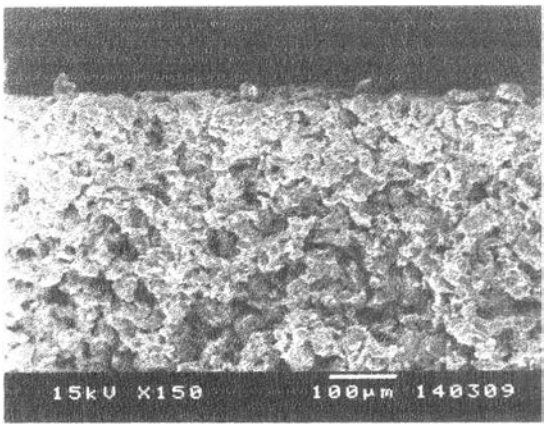
รูปที่ 5.10 **แสดงความสัมพันธ์ของเวลาในการกรองกับร้อยละการกำจัดโปรตีน และร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของลักษณะการกวน 4 ชนิด**

ตารางที่ 5.5 แสดงชนิดของลักษณะการกวนต่อร้อยละการกำจัดโปรตีนทั้งหมดและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมด

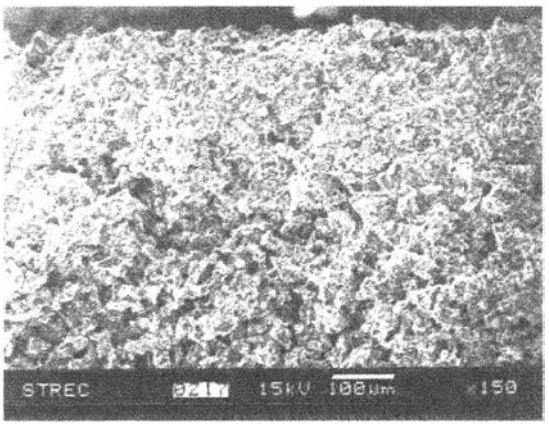
ลักษณะการกวน	ร้อยละการกำจัดโปรตีนทั้งหมด (total % protein removal)	ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมด (total % polysaccharide loss)
ไม่มีการกวน	9.086	6.982
กวนด้วยใบกวน	9.053	7.029
กวนด้วยใบกวาด	9.102	7.218
กวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด	52.611	28.697



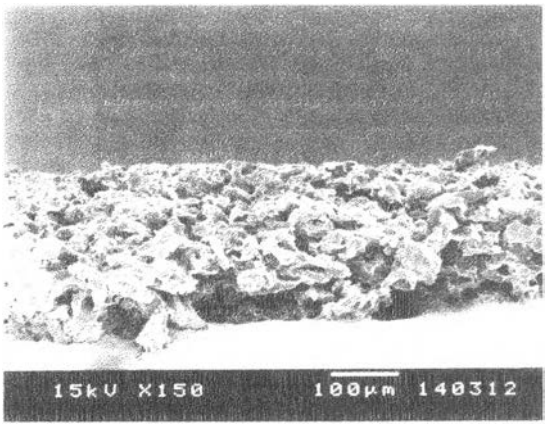
ไม่ทำการกวน



กวนด้วยใบกวน

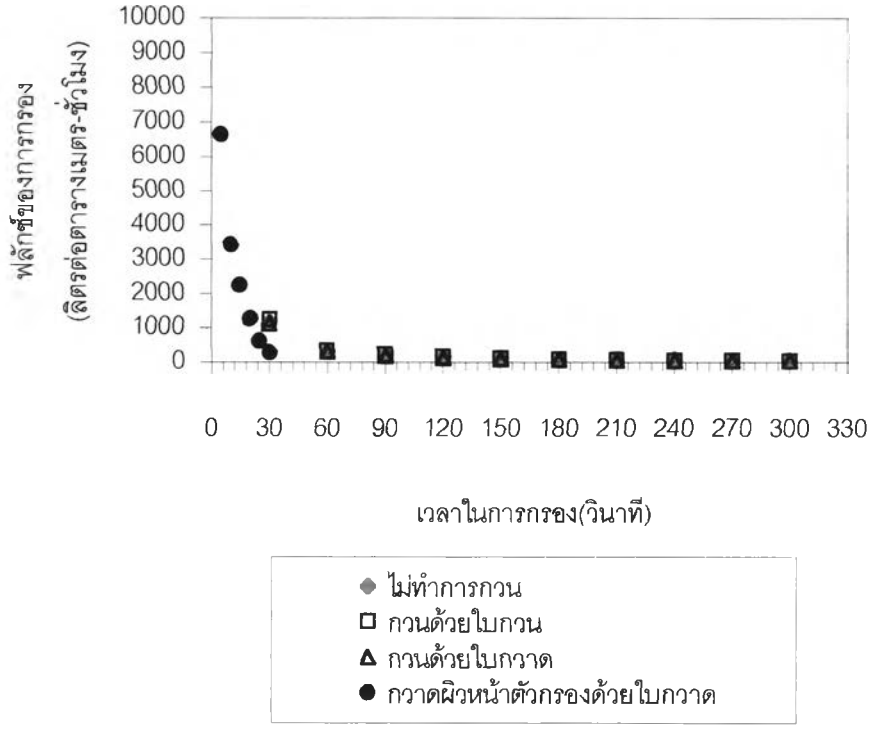


กวนด้วยใบกวาด

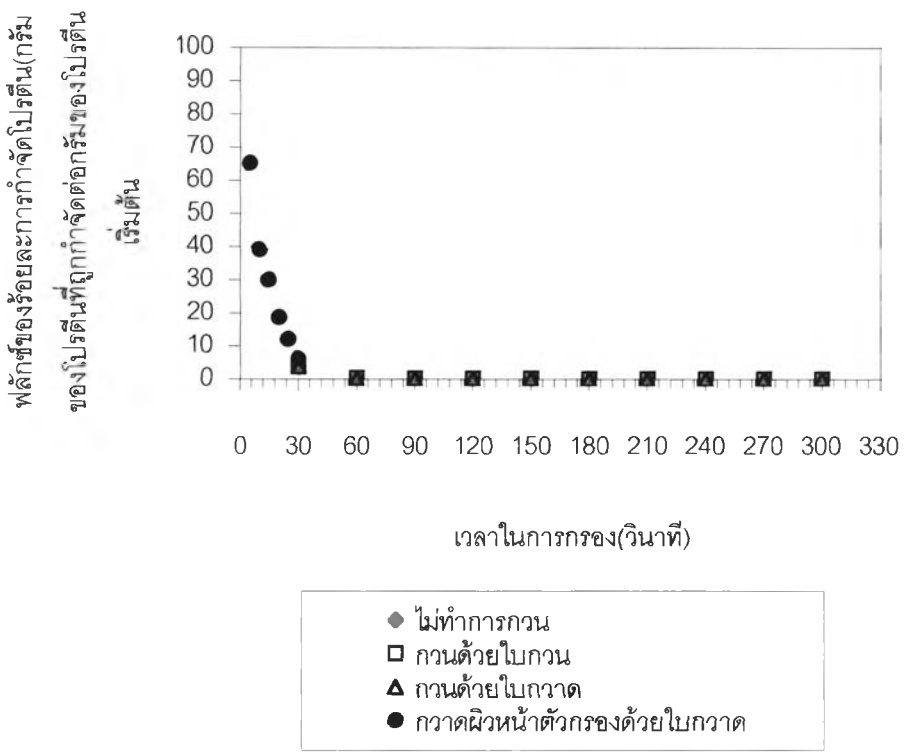


กวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด

รูปที่ 5.11 แสดงบริเวณภาคตัดขวางของเค้กที่ได้จากการกรองโดยไม่ทำการกวน กวนด้วยใบกวน กวนด้วยใบกวาดและกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด โดยถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)



รูปที่ 5.12 แสดงฟลักซ์ของการกรองกับเวลาในการกรองของลักษณะการกวน 4 ชนิด



รูปที่ 5.13 แสดงฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนกับเวลาในการกรองของลักษณะการกวน 4 ชนิด

5.3.2 ผลของความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามต่อการกำจัดโปรตีนและฟลักซ์ของการกรองโดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด

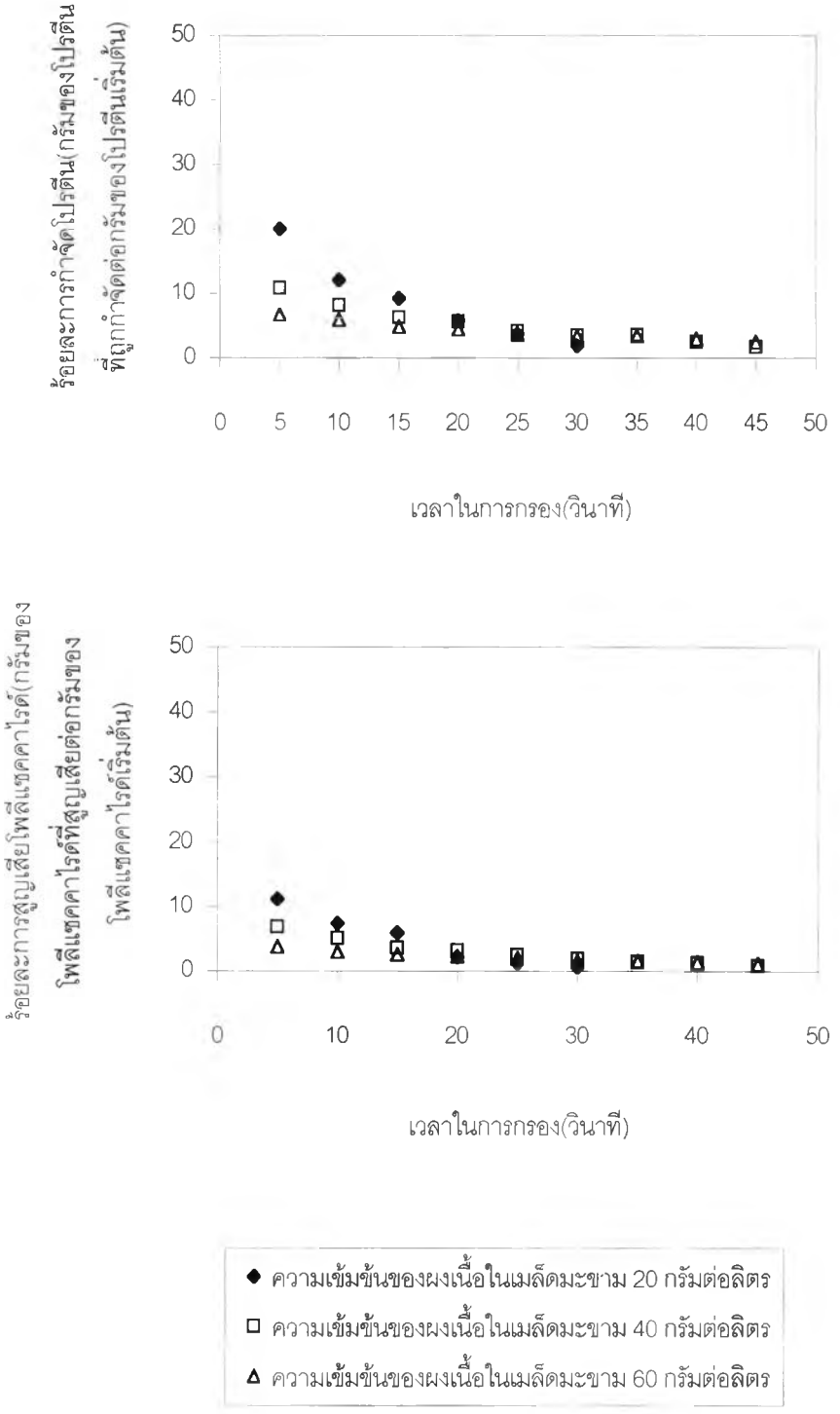
ผลการทดลองที่ 5.3.1 สรุปว่าลักษณะการกวนโดยใช้การกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดจะให้ฟลักซ์ของการกรองและฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนที่สูงกว่าลักษณะการกวนชนิดอื่น (ไม่มีการกวนและมีการกวน) ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการกรองโดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามต่อการกำจัดโปรตีนและฟลักซ์ของการกรอง ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ60 กรัมต่อลิตร ทำการกรองโดยมีการกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.14 และตารางที่ 5.6 จากรูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาในการกรองกับร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด และตารางที่ 5.6 แสดงความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามต่อร้อยละการกำจัดโปรตีนทั้งหมดและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมด โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด พบว่าเมื่อความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้นร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์โดยการกรองจะลดลงเนื่องจากที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมากจะมีปริมาณของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมากซึ่งมีผลทำให้เกิดเค้กมากและส่งผลให้อุดตันตัวกรองได้มากกว่าที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามต่ำถึงแม้ว่าจะมีการกวาดผิวหน้าตัวกรองก็ตาม ซึ่งผลการทดลองนี้จะสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Tarleton และ Willmer(31)

รูปที่ 5.15 แสดงฟลักซ์ของการกรองกับเวลาในการกรองที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด พบว่าเมื่อเวลาในการ

กรองเพิ่มขึ้นฟลักซ์ของการกรองจะลดลงเนื่องจากมีเค้กเกิดขึ้นที่ผิวหน้าตัวกรองและเมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามต่อฟลักซ์ของการกรอง พบว่าที่เวลาในการกรองช่วงแรกเมื่อความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาของเค้กมากขึ้น มีผลทำให้ค่าฟลักซ์ของการกรองต่ำลง

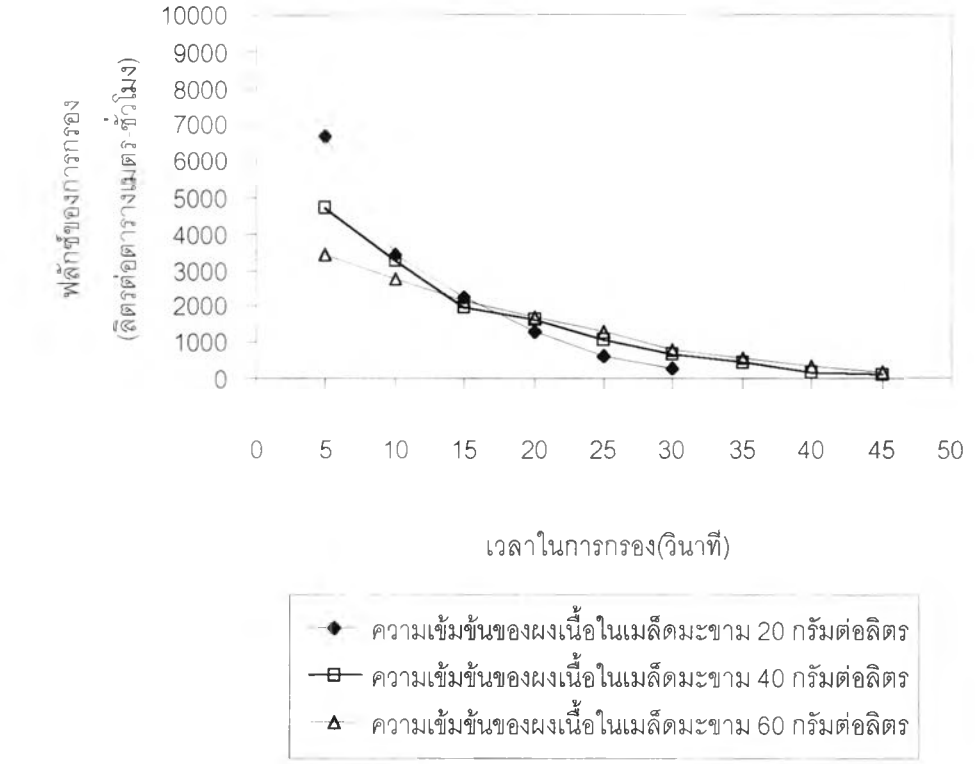
รูปที่ 5.16 แสดงฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนกับเวลาในการกรองที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด พบว่าเมื่อเวลาในการกรองเพิ่มขึ้นฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนจะลดลงและเมื่อความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้นจะทำให้ฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนต่ำลง ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมากขึ้นจะเกิดเค้กมากขึ้นซึ่งจะไปอุดตันตัวกรองทำให้ปริมาณโปรตีนที่ถูกกำจัดออกจากโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามน้อยลงมีผลทำให้ฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนต่ำลง



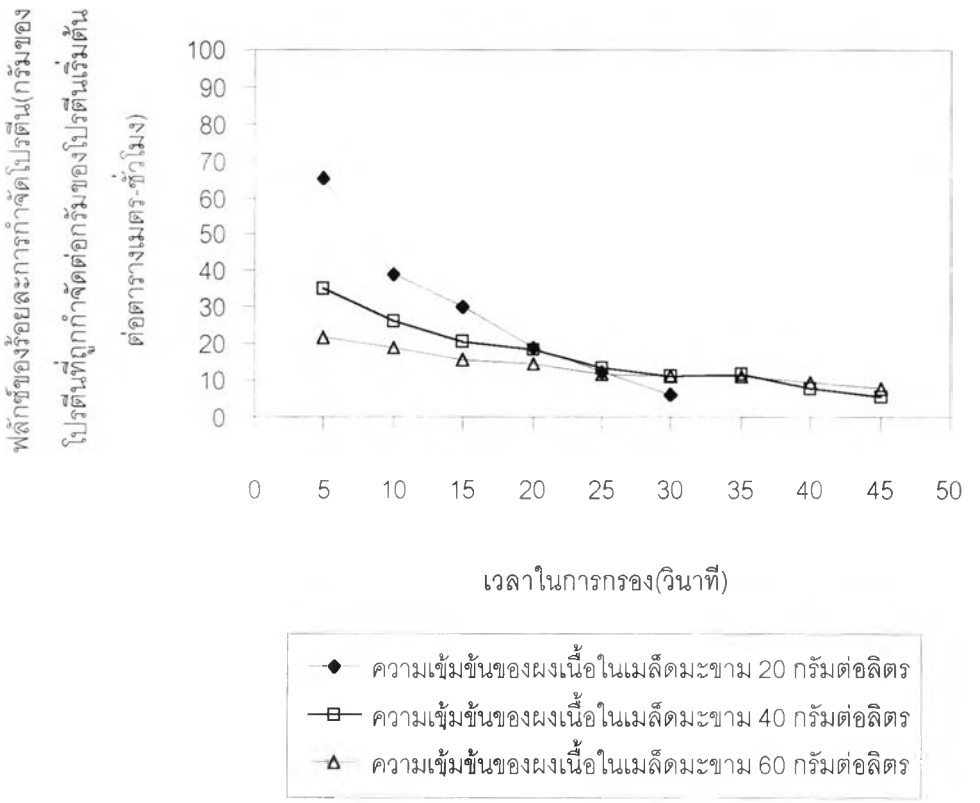
รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาในการกรองกับร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด

ตารางที่ 5.6 แสดงความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามต่อร้อยละการกำจัดโปรตีนทั้งหมดและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมด โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด

ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม (กรัมต่อลิตร)	ร้อยละการกำจัดโปรตีนทั้งหมด (total % protein removal)	ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมด (total % polysaccharide loss)
20	52.611	28.697
40	46.023	26.320
60	37.569	19.231



รูปที่ 5.15 แสดงฟลักซ์ของการกรองกับเวลาในการกรองที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด



รูปที่ 5.16 แสดงฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนกับเวลาในการกรองที่ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด

5.4 ผลการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดไหลผ่านตัวกรอง(dead – end filtration)ในถังกวนโดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดและมีการชะเค้กด้วยสารละลายเอทานอล

จากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลี-แซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามและการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดไหลผ่านตัวกรอง (dead – end filtration)ในถังกวนโดยศึกษาลักษณะการกวนหลายชนิด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขาม คือที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาที ความเข้ม-ข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตรและใช้การกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการกรองโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซค-คาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามและมีการชะเค้กด้วยสารละลายเอทานอลเพื่อทำการผลิตโพลีแซคคา-ไรด์ของเมล็ดมะขาม(TSP) โดยทำการทดลองดังนี้

ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร ทำการกรองโดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด และมีการชะเค้กที่เกิดจากการกรอง(เค้กคือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ) จำนวน 15 ครั้งด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.17 ตารางที่ 5.7 ตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.18 จากรูปที่ 5.17 แสดงร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์กับจำนวนครั้งของการชะ พบว่าการกำจัดโปรตีนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงการกรองและการชะ 4 ครั้งแรกเท่านั้น ตาราง 5.7 แสดงร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของการกรองและการชะ 4 ครั้ง และ 15 ครั้ง ตาราง 5.8 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(TSP)ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์(เค้กจากการกรอง)ที่ได้จาก

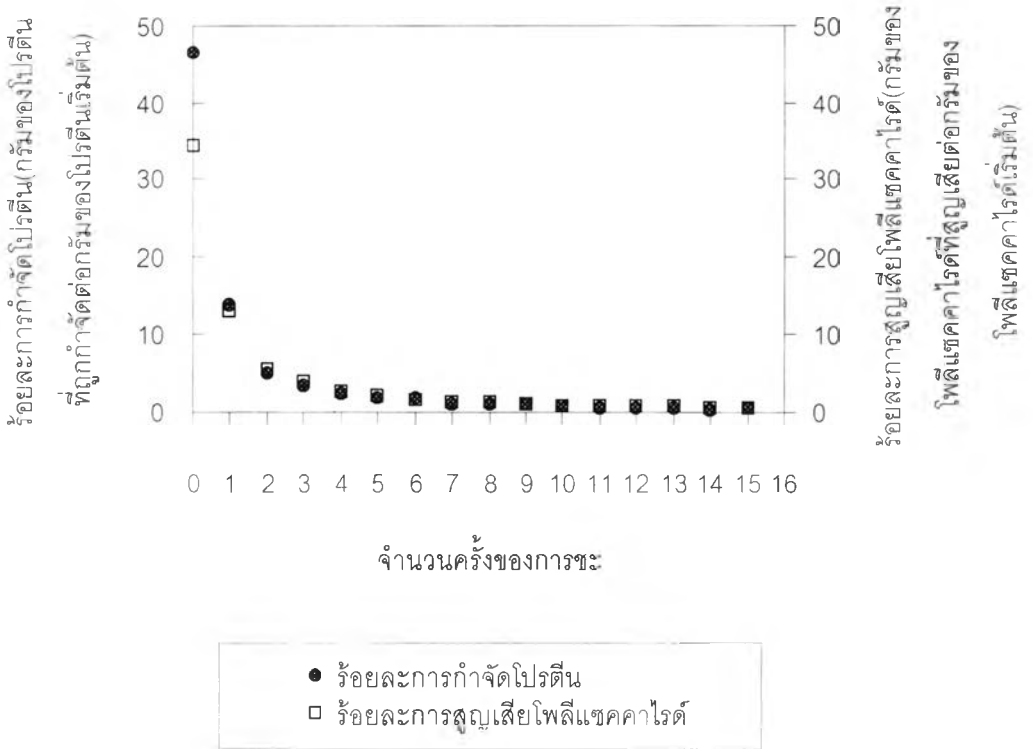
การกรองที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง โดยปริมาณโพลีแซคคาไรด์และปริมาณโปรตีน คำนวณได้จาก

$$\text{ร้อยละโดยน้ำหนักของโพลีแซคคาไรด์} = \frac{[\text{ปริมาณโพลีแซคคาไรด์เริ่มต้น(g)} - \text{ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ในฟิวเทรต(g)}] \times 100}{\text{ปริมาณโพลีแซคคาไรด์เริ่มต้น(g)}}$$

$$\text{ร้อยละโดยน้ำหนักของโปรตีน} = \frac{[\text{ปริมาณโปรตีนเริ่มต้น(g)} - \text{ปริมาณโปรตีนในฟิวเทรต(g)}] \times 100}{\text{ปริมาณโปรตีนเริ่มต้น(g)}}$$

จากตารางจะเห็นว่าโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(TSP)ที่ได้จากการทดลองมีปริมาณโพลีแซคคาไรด์ ปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันร้อยละ 93.616 4.844 และ 1.540 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ TG 200 พบว่าโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามที่ได้จากการทดลองมีปริมาณโพลีแซคคาไรด์น้อยกว่า TG 200

รูปที่ 5.18 แสดงบริเวณพื้นผิวและบริเวณภาคตัดขวางของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(TSP)ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์(เค้กจากการกรอง)ที่ได้จากการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดไหลผ่านตัวกรองในถังกวนโดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด ที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)



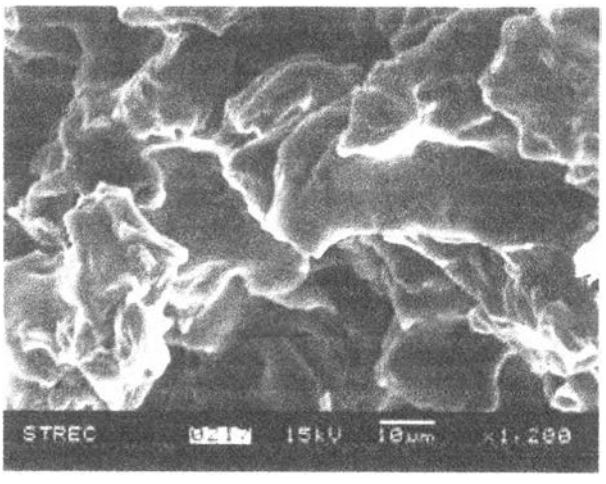
รูปที่ 5.17 แสดงร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์กับจำนวนครั้งของการชะที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดและมีการชะเค้กด้วยสารละลายเอทานอล

ตารางที่ 5.7 แสดงร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ของ (1)การกรองและการชะทั้งหมด 4 ครั้ง และ (2)การกรองและการชะทั้งหมด 15 ครั้ง ที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด

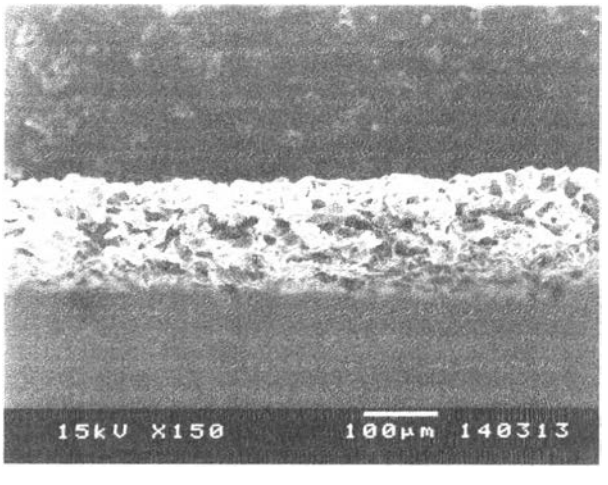
	ร้อยละการกำจัดโปรตีนทั้งหมด (total % protein removal)	ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมด (total % polysaccharide loss)
(1) กรองและชะ 4 ครั้ง	71.253	59.457
(2) กรองและชะ 15 ครั้ง	81.216	70.995

ตารางที่ 5.8 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(TSP)ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์(เค้กจากการกรอง)ที่ได้จากการกรองที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง คือที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาที ความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร โดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดและมีการชะเค้กด้วยสารละลายเอทานอล(องค์ประกอบอื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองถือว่าน้อยมากจึงไม่นำมาคำนวณ)

โพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามที่ได้จากการทดลอง		
ปริมาณโพลีแซคคาไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
93.616	4.844	1.540



บริเวณพื้นผิวของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(TSP)ที่ได้จากการทดลอง



บริเวณภาคตัดขวางของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(TSP)ที่ได้จากการทดลอง

รูปที่ 5.18 แสดงบริเวณพื้นผิวและบริเวณภาคตัดขวางของโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(TSP)ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์(เค้กจากการกรอง)ที่ได้จากการกรองที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขาม และมีการกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาด โดยถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)

สรุปผลการทดลอง

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม(TKP : MAKAM 200) ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการทดลอง และโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(TSP : TG 200) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท GM Ichihara พบว่า MAKAM 200 มีโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 68.213 โปรตีนร้อยละ 19.505 และไขมันร้อยละ 8.687 สำหรับ TG 200 มีโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 99.725 โปรตีนร้อยละ 0.122 และไขมันร้อยละ 0.150 (คำนวณโดยถือว่าองค์ประกอบอื่นใน MAKAM 200 และ TG 200 มีค่าน้อย) และจากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) พบว่าใน MAKAM 200 จะมีอนุภาคโปรตีนซึ่งมีขนาดเล็กเกาะติดกับอนุภาคโพลีแซคคาไรด์

2. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขาม

2.1 เมื่อนำผงเนื้อในเมล็ดมะขามมากระจายตัวในสารละลายเอทานอล พบว่าก่อนการผ่านคลื่นเหนือเสียงอนุภาคของโปรตีนจะเกาะติดกับอนุภาคโพลีแซคคาไรด์โดยมีขนาดอนุภาค 39.67 ไมโครเมตร(ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก) แต่หลังผ่านคลื่นเหนือเสียงอนุภาคโปรตีนและอนุภาคโพลีแซคคาไรด์จะกระจายตัวเป็นอนุภาคเดี่ยวในสารละลายเอทานอลโดยมีขนาดอนุภาค 30.15 ไมโครเมตร(ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก)

2.2 จากการแยกโปรตีนออกจากโพลีแซคคาไรด์ในผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยการกรอง และการซะทั้งหมด 15 ครั้ง พบว่าร้อยละการแยกโปรตีนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงการกรองและการซะทั้งหมด 4 ครั้ง โดยร้อยละการแยกโปรตีนที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลา

ในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาทีและความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร เป็น 92.203

2.3 ผลของความเข้มข้นสารละลายเอทานอลต่อร้อยละการแยกโปรตีน ร้อยละการสูญเสียโพลี-แซคคาไรด์และขนาดอนุภาค พบว่าที่เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาทีและความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร จะมีร้อยละการแยกโปรตีนในน้ำเป็น 92.660 ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ในน้ำเป็น 78.035 และมีขนาดอนุภาค 79.15 ไมโครเมตร แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลเป็นร้อยละ 30 50 และ 60 โดยน้ำหนัก จะพบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนักจะได้ร้อยละการแยกโปรตีนสูงสุดเป็น 92.203 ร้อยละการสูญเสียโพลี-แซคคาไรด์เป็น 68.512 และมีขนาดอนุภาค 30.15 ไมโครเมตร ในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 60 โดยน้ำหนักจะพบว่าอนุภาคโปรตีนไม่หลุดออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ทำให้อนุภาคยังคงมีขนาดใหญ่โดยร้อยละการแยกโปรตีนเป็น 83.165 ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เป็น 62.209 และมีขนาดอนุภาค 37.58 ไมโครเมตร ส่วนที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก อนุภาคโพลีแซคคาไรด์จะบวมเนื่องจากมีน้ำปริมาณมากเป็นองค์ประกอบในสารละลายเอทานอลมีผลทำให้อนุภาคใหญ่ โดยมีร้อยละการแยกโปรตีนเป็น 90.428 ร้อยละการสูญเสียโพลี-แซคคาไรด์เป็น 60.282 และมีขนาดอนุภาค 31.32 ไมโครเมตร

2.4 ผลของเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อร้อยละการแยกโปรตีน พบว่าเมื่อเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงเพิ่มขึ้น ร้อยละการแยกโปรตีนจะสูงขึ้นโดยในช่วงเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 0 – 60 วินาทีจะมีอัตราการเพิ่มของร้อยละการแยกโปรตีนสูงกว่าช่วงเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 – 180 วินาที

2.5 ผลของเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงต่อขนาดอนุภาค พบว่าเมื่อเวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงมากขึ้นขนาดอนุภาคจะเล็กลงเนื่องจากอนุภาคจะมีเวลามากพอสำหรับให้พลังงานจากคลื่นเหนือ

เสียงผ่านเข้าไปสั่นอนุภาคให้หลุดออกจากกัน

2.6 ผลของความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามต่อขนาดอนุภาคและร้อยละการแยกโปรตีนพบว่าเมื่อความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของอนุภาคจะมากขึ้นมีผลทำให้พลังงานจากคลื่นเหนือเสียงไม่เพียงพอต่อการแยกโปรตีนทำให้อนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมีขนาดใหญ่และไปกีดขวางการกรองจึงกรองแยกโปรตีนออกมาได้น้อยและได้ร้อยละการกำจัดโปรตีนต่ำ

2.7 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาไรด์ คือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียง 60 วินาทีและความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม 20 กรัมต่อลิตร

3. การทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดไหลผ่านตัวกรอง(dead – end filtration)ในถังกวนโดยศึกษาลักษณะการกวนหลายชนิด

3.1 เมื่อมีและไม่มีการกวนจะให้ร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ต่ำเนื่องจากโพลีแซคคาไรด์มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าโปรตีน จึงตกตะกอนได้ง่ายมีผลทำให้อนุภาคโปรตีนซึ่งมีขนาดเล็กไม่สามารถผ่านรูพรุนของเค้กของโพลีแซคคาไรด์จึงทำให้เกิดความต้านทานการกรองเนื่องจากการอุดตันตัวกรอง

3.2 เมื่อมีการกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดจะมีร้อยละการกำจัดโปรตีน และร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์มากขึ้นเมื่อเทียบลักษณะการกวนชนิดอื่น เนื่องจากไม่มีการสะสมเค้กบนตัวกรองโดยร้อยละการกำจัดโปรตีนเป็น 52.611 และร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เป็น 28.697

3.3 ฟลักซ์ของการกรองและฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนเมื่อมีการกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการกรองเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีอนุภาคไปอุดตันตัวกรองทำให้มีความต้านทานการกรอง

3.4 เมื่อความเข้มข้นของผงเนื้อในเมล็ดมะขามเพิ่มขึ้น ฟลักซ์ของการกรองและฟลักซ์ของร้อยละการกำจัดโปรตีนจะต่ำลง เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นมากขึ้นจะเกิดเค้กมากทำให้เกิดการอุดตันตัวกรอง

4. การทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดไหลผ่านตัวกรอง(dead – end filtration)ในถังกวนโดยกวาดผิวหน้าตัวกรองด้วยใบกวาดและมีการชะเค้กด้วยสารละลายเอทานอล จากการทดลองพบว่าจะได้ร้อยละการกำจัดโปรตีน 81.216 และร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ 70.995 ส่วนโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขาม(เค้กจากการกรอง)ที่ได้จากการทดลองจะมีปริมาณโพลีแซคคาไรด์ ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมันร้อยละ 93.616 4.844 และ 1.540 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเพิ่มพื้นที่ผิวในการกรองเพื่อทำการผลิตในปริมาณมาก
2. เค้กที่เกิดขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกรองต่ำ ดังนั้นจึงควรปรับปรุงเครื่องกรองให้เป็นการกรองชนิดไหลขนานตัวกรอง และมีการหมุน
3. จากการทดลองผ่านคลื่นเหนือเสียงพบว่าอนุภาคของผงเนื้อในเมล็ดมะขามมีขนาดเล็กลง(โปรตีนและโพลีแซคคาไรด์จะสามารถกรองผ่านตัวกรองออกมารวมกันในฟิวเทรต)ซึ่งมีผลทำให้การแยกโปรตีนออกจากโพลีแซคคาไรด์ทำได้ยากจึงควรปรับปรุงโดยการใช้เอ็นไซม์เพื่อย่อยโปรตีน