การผลิตเยื่อกรองไคโตซานจากเปลือกกุ้ง *Penaeus vanamei* ที่สกัดภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง

PRODUCTION OF CHITOSAN MEMBRANE FROM *Penaeus vanamei* SHELL EXTRACTED UNDER HIGH PRESSURE AND TEMPERATURE CONDITION

วีรวรรณ ภู่เกษร
WEERAWAN POOKASURN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550

การผลิตเยื่อกรองไคโตซานจากเปลือกกุ้ง *Penaeus vanamei* ที่สกัดภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง

PRODUCTION OF CHITOSAN MEMBRANE FROM *Penaeus vanamei* SHELL EXTRACTED UNDER HIGH PRESSURE AND TEMPERATURE CONDITION

วีรวรรณ ภู่เกษร

WEERAWAN POOKASURN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

PRODUCTION OF CHITOSAN MEMBRANE FROM *Penaeus vanamei* SHELL EXTRACTED UNDER HIGH PRESSURE AND TEMPERATURE CONDITION

WEERAWAN POOKASURN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2007

COPYRIGHT 2007
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตเยื่อกรองไคโตซานจากเปลือกกุ้ง *Penaeus vanamei* ที่สกัดภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง
นักศึกษา	นางสาววีรวรรณ ภู่เกษร
รหัสประจำตัว	47064003
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. สุวรรณี จรรยาพูน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้ง *Penaeus vanamei* ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดไคโตซาน และศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเกลือออกจากน้ำทะเลโดยเยื่อกรองไคโตซาน ขั้นตอนการสกัดไคโตซาน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ 1) ขั้นตอนการกำจัดโปรตีน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 2) ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 3) ขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความดันที่ 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ระยะเวลาในการสกัดต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่สภาวะไม่ให้ความดัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และวิธีสกัดโดยทั่วไป โดยใช้สภาวะไม่ให้ความดัน เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโปรตีนคือสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที สามารถกำจัดโปรตีนได้ $54.14 \pm 0.40\%$ สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแร่ธาตุคือ แช่ในกรดไฮโดรคลอริก 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสภาวะไม่ให้ความดัน เป็นเวลา 10 นาที สามารถกำจัดแร่ธาตุได้ทั้งหมด และสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดหมู่อะซิทิลคือ สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สามารถกำจัดหมู่อะซิทิล $83.91 \pm 0.15\%$ คุณสมบัติของไคโตซานที่ได้มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล 83.91% ความชื้น 3.85% ปริมาณเถ้า 0.92% น้ำหนักโมเลกุล 1.4235×10^6 กรัมต่อโมล และมีสีเนื้อ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไคโตซานที่มีจำหน่ายทางการค้า จากการศึกษาการกรองเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้เยื่อกรองไคโตซาน พบว่าสามารถกำจัดเกลือได้ 46.53% และ 67.62% ในการกรองครั้งที่ 1 และการกรองซ้ำครั้งที่ 2 ตามลำดับ

คำสำคัญ : ไคโตซาน การกำจัดโปรตีน การกำจัดแร่ธาตุ การกำจัดหมู่อะซิทิล เยื่อกรองไคโตซาน

Thesis Title	Production of Chitosan Membrane from *Penaeus vanamei* Shell Extracted under High Pressure and Temperature Condition
Student	Miss Weerawan Pookasurn
Student ID.	47064003
Degree	Master of Science
Program	Environmental Chemistry
Year	2006
Thesis Advisor	Dr. Suwannee Junyapoon
Thesis Co-Advisor	Assist. Prof. Dr.Usarat Thawornchaisit

ABSTRACT

This research studied extraction technique of chitosan from *Penaeus vanamei* (shrimp) shells under high pressure and temperature condition to increase efficiency of chitosan extraction technique. Removal efficiency of salt from sea water using chitosan membrane was also investigated. The extraction technique consisted of 3 steps: firstly deproteination with NaOH 5% (w/v), secondly demineralization with HCl 5% (w/v) and finally deacetylation with NaOH 50% (w/v). Extraction conditions were examined under pressure of 5, 10 and 15 psi with different extracted time. It was found that the optimum deproteination condition was extraction with 5% NaOH (w/v) under pressure of 10 psi for 30 minutes. Under this condition, protein was removed 54.14 ± 0.40%. All minerals were totally removed by soaking with 5% HCl (w/v) under non-pressurized condition for 10 minutes. The optimum deacetylation condition was extraction with 50% NaOH (w/v) under pressure of 5 psi for 3 hours. Percentage of deacetylation was 83.91 ± 0.15%. Characteristics of the extracted chitosan are similar to those of commercial chitosan. Degree of deacetylation, moisture content, ash content, and molecular weight were 83.91%, 3.85%, 0.92% and 1.4235×10^6 g/mol, respectively. As a result of salt removal using of chitosan membrane, salt from sea water was removed 46.53% and 67.62% after filtering through the membrane at first and second times, respectively.

Keywords: Chitosan, Deproteination, Demineralization, Deacetylation, Chitosan membrane

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน และ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ และ ดร. วิบูลย์ ประดิษฐเวียงคำ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือคำแนะนำ และช่วยตรวจสอบเพิ่มความสมบูรณ์ให้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. เบ็ญจมาศ ไพบูลย์กิจกุล อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีทางทะเล คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสารสนเทศจันทบุรี ที่ได้ให้คำแนะนำและเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหาของวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี และภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดในการทำวิทยานิพนธ์

นางสาววีรวรรณ ภู่เกษร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ไคติน-ไคโตซาน	4
2.1.1 ไคติน	4
2.1.2 ไคโตซาน	7
2.2 การผลิตไคโตซาน	9
2.2.1 กระบวนการการกำจัดโปรตีน	9
2.2.2 กระบวนการกำจัดแร่ธาตุ	9
2.2.3 กระบวนการการกำจัดหรือลดหมู่อะซิทิล	12
2.3 สมบัติที่สำคัญของไคโตซาน	15
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพไคโตซาน	18
2.5 การใช้ประโยชน์ของไคโตซาน	21
2.6 เยื่อกรองไคโตซาน	23
2.6.1 เยื่อกรองไคโตซาน	23
2.6.2 หลักการกรองของเยื่อกรองไคโตซาน	23
2.6.3 ลักษณะของเยื่อกรอง	25
2.6.4 การใช้ประโยชน์เยื่อกรองไคโตซาน	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.. 28

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.. 28

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 28

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์... 28

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย... 29

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ.. 29

3.2.2 การศึกษาวิธีการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวโดยใช้สภาวะที่

ความดันและอุณหภูมิสูง.. 30

3.2.2.1 การกำจัดโปรตีน.. 30

3.2.2.2 การกำจัดแร่ธาตุ.. 30

3.2.2.3 การกำจัดหมู่อะซิทิล 31

3.2.2.4 การศึกษาผลของขนาดของเปลือกกุ้งต่อ

คุณลักษณะของไคโตซาน.. 32

3.2.2.5 คำนวณต้นทุนการผลิตไคโตซาน... 33

3.2.3 การแยกเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้เยื่อกรองไคโตซาน 33

3.2.3.1 การเตรียมเยื่อกรองไคโตซาน 33

3.2.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการกรองน้ำทะเลด้วยเยื่อกรองไคโตซาน....... 34

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 36

4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเปลือกกุ้ง............................ 36

4.2 ผลศึกษาการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวโดยใช้สภาวะที่

ความดันและอุณหภูมิสูง.. 37

4.2.1 การกำจัดโปรตีน.. 37

4.2.2 การกำจัดแร่ธาตุ.. 39

4.2.3 การกำจัดหมู่อะซิทิล.. 40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.4 ผลของขนาดของเปลือกกุ้งต่อการสกัดไคโตซาน........ 44

4.2.5 ต้นทุนการผลิตไคโตซานที่ได้จากการทดลอง........ 45

4.3 ผลการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้เยื่อกรองไคโตซาน........ 46

4.3.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะเยื่อกรองไคโตซาน........ 46

4.3.2 ประสิทธิภาพการกรองน้ำทะเลด้วยเยื่อกรองไคโตซาน........ 47

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ........ 49

5.1 สรุปผลการวิจัย........ 49

5.1.1 การศึกษาวิธีการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวโดย ใช้สภาวะที่ความดันและอุณหภูมิสูง........ 49

5.1.2 การแยกเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้เยื่อกรองไคโตซาน........ 49

5.2 ข้อเสนอแนะ........ 49

เอกสารอ้างอิง........ 51

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์........ 55

ก1 วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมี........ 56

ก1.1 ปริมาณความชื้น........ 56

ก1.2 ปริมาณเถ้า........ 56

ก1.3 วิธีวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม , ปริมาณแมกนีเซียม, ปริมาณโซเดียม และ โปตัสเซียม........ 57

ก1.4 วิธีวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน........ 57

ก2 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิล........ 58

ก3 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ และ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนา........ 58

ก4 การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ด้วยวิธีโมฮร์........ 59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข การสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวโดยใช้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง........................ 60

ข4. ต้นทุนการผลิตไคโตซานที่ได้จากการทดลอง (คิดจากไคโตซาน 1 กิโลกรัม)........................ 67

ภาคผนวก ค ผลการศึกษาการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้เยื่อกรองไคโตซาน............. 68

ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ทางสถิติ........................ 72

ประวัติผู้เขียน 77

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกกุ้งแช่แข็งในปี พ.ศ.2549	1
2.1 ปริมาณไคตินที่พบในสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ	6
2.2 ความสามารถในการละลายของไคโตซานในกรดต่าง ๆ	8
2.3 สภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการกำจัดโปรตีนในการผลิตไคติน	10
2.4 สภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการกำจัดแร่ธาตุในการผลิตไคติน	11
2.5 สภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลในการผลิตไคโตซาน	14
2.6 คุณสมบัติของไคโตซานเมื่ออยู่ในรูปแบบต่าง ๆ	16
2.7 คุณลักษณะของไคติน-ไคโตซานที่ผลิตได้ของบริษัท แวนสัน	18
3.1 วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะของไคโตซาน	33
3.2 วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะของเยื่อกรองไคโตซาน	34
3.3 วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำทะเล	35
4.1 ตารางองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของกุ้งขาว	36
4.2 ขนาดของเปลือกกุ้งที่คัดแยกได้	37
4.3 คุณสมบัติของไคโตซานที่ผลิตได้	44
4.4 คุณสมบัติของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาดต่าง ๆ	45
4.5 ต้นทุนการผลิตไคโตซานที่ได้จาดการทดลอง	46
4.6 คุณลักษณะของเยื่อกรองไคโตซาน	47
4.7 คุณสมบัติของน้ำทะเลก่อนกรอง และ หลังกรองด้วยเยื่อกรองไคโตซาน	48
ข1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเปลือกกุ้งก่อนอบที่อุณหภูมิ 60 °C	61
ข1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเปลือกกุ้งหลังอบที่อุณหภูมิ 60 °C	61
ข1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของเปลือกกุ้ง	61
ข2.1 ประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนที่สภาวะความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการกำจัดโปรตีนที่สภาวะไม่ให้ความดัน (NP) 1 ชั่วโมง และ 18 ชั่วโมง	62
ข2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนที่สภาวะความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส) ที่เวลา 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข2.3 เปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิล โดยใช้สภาวะที่ความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเปรียบเทียบการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สภาวะไม่ให้ความดัน (NP) 1 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง และไคโตซานที่มีจำหน่ายทางการค้า	64
ข2.4 ค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล ที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) ที่เวลาต่าง ๆ	65
ข2.5 ค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล ที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ของเปลือกกุ้งขนาดต่างๆ	65
ข3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาด 30-40 เมช	66
ข3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาด 30-40 เมช	66
ข3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาด < 10 เมช ในการสกัด	66
ข3.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาด < 10 เมช	66
ข3.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของไคโตซานที่สกัดจาก เปลือกกุ้งไม่บด	66
ข3.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งไม่บดในการสกัด	67
ค1.1 ผลการศึกษาค่าความต้านแรงดึงของเยื่อกรองไคโตซาน	69
ค1.2 ผลการศึกษาร้อยละการยืดตัวของเยื่อกรองไคโตซาน	69
ค1.3 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเยื่อกรองไคโตซาน	69
ค1.4 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนาของเยื่อกรองไคโตซาน	70
ค2.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำทะเล	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ค2.2 ผลการศึกษาความเข้มของคลอไรด์ที่ผ่านการกรอง ด้วยเยื่อกรองไคโตซานครั้งแรก.......... 71

ค2.3 ผลการศึกษาความเข้มของคลอไรด์ที่ผ่านการกรอง ด้วยเยื่อกรองไคโตซานครั้งที่สอง.......... 71

ง1 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีน ที่สภาวะความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลา 1 ชั่วโมง.......... 73

ง2 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของประสิทธิภาพการ กำจัดโปรตีนที่ สภาวะความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส) ที่เวลา 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง.......... 73

ง3 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของเปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิล โดยใช้สภาวะที่ความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง.......... 74

ง4 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล ที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) ที่เวลาต่าง ๆ.......... 74

ง5 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล ที่สภาวะ ความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่ขนาดต่างกัน.......... 75

ง6 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของผลการวิเคราะห์ ปริมาณความชื้นของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาดต่างกัน.......... 75

ง7 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของผลการวิเคราะห์ ปริมาณเถ้าของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาดต่างกัน.......... 76

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและเซลลูโลส	5
2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน	7
2.3 ขั้นตอนทั่วไปของการผลิตไคติน	12
2.4 ขั้นตอนทั่วไปของการผลิตไคโตซาน	13
2.5 กระบวนการผลิตเยื่อกรองไคโตซาน	24
3.1 แผ่นกระจกที่ใช้ขึ้นรูปเยื่อกรองไคโตซาน	34
3.2 ชุดเยื่อกรองและการประกอบชุดเยื่อกรอง	35
4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนที่สภาวะความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการกำจัดโปรตีนที่สภาวะไม่ให้ความดัน (NP) 1 ชั่วโมง และ 18 ชั่วโมง	38
4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนที่สภาวะความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส) ที่เวลา 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง	39
4.3 เปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิล โดยใช้สภาวะที่ความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเปรียบเทียบการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สภาวะไม่ให้ความดัน ไม่ให้ความดัน (NP) 1 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง และไคโตซานที่ซื้อจากตัวแทนจำหน่าย	41
4.4 ค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล ที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) ที่เวลาต่าง ๆ	42
4.5 ไคโตซานที่ได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่เวลา 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง	43
4.6 อินฟราเรดสเปกตัมของไคโตซานจากตัวแทนจำหน่ายกับไคโตซาน ที่ได้จากการศึกษา	44
4.7 สภาพพื้นผิวด้านหน้า และ ภาคตัดขวางของเยื่อกรองที่กำลังขยาย 10,000 เท่า	46
4.8 เยื่อกรองไคโตซานที่ได้จากการศึกษา	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งออกกุ้งแช่แข็งเป็นสินค้าออกอันดับต้น ๆ ของโลก ข้อมูลปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทยส่งออกกุ้งแช่แข็งเป็นปริมาณ 178,573 ตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจาก ปี พ.ศ. 2548 จำนวน 17,386 ตัน (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2549) โดยเฉพาะกุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) มีการส่งออกเป็นอันดับสองรองจากกุ้งกุลาดำโดยมีปริมาณ 21,599 ตันเมื่อเทียบกับกุ้งชนิดอื่น ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกกุ้งแช่แข็งในปี พ.ศ. 2549 (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2549)

รายการ	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (บาท)
กุ้งกุลาดำ	29,078	6,985,711,706
กุ้งขาว	21,599	5,124,233,633
กุ้งก้ามกราม	8,095	1,713,642,507
กุ้งร็อคลอบสเตอร์และกุ้งหัวโขน	4	1,085,215
กุ้งลอบเตอร์ (ชนิดโฮมารัส)	6	2,160,525

โดยทั่วไปการส่งออกกุ้งแช่แข็งมักจะอยู่ในรูปเนื้อกุ้งเป็นตัวติดหาง (Cock-Tail Shrimp) ซึ่งคิดเป็น 30% ส่วนที่เหลืออีก 70% จะเป็นส่วนของหัวกุ้ง เปลือกกุ้งและหางกุ้ง (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2549) ส่งผลให้เกิดปัญหากากของเสียเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแช่แข็งเป็นจำนวนมาก หัวกุ้งและเปลือกกุ้งบางส่วนถูกนำไปจำหน่ายในราคาต่ำประมาณ 1-3 บาทต่อกิโลกรัม เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ ซึ่งสามารถใช้ทดแทนโปรตีนได้บางส่วน และใช้เป็นส่วนผสมในการทำน้ำปลา อย่างไรก็ตาม ยังคงมีหัวกุ้งและเปลือกกุ้งที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมากซึ่งของเหลือทิ้งเหล่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาทั้งด้านน้ำเสีย อากาศเสีย การจัดการขยะมูลฝอย ซึ่งนอกจากจะส่งกลิ่นเหม็นแล้วยังเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค ทำให้โรงงานต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดและแก้ไขปัญหามลภาวะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น การนำกากของเสียเหล่านี้มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไคโตซานซึ่งเป็นสารพอลีเมอร์ทางชีวภาพที่มีการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เช่น อุตสาหกรรมการเกษตร อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมสิ่งทอ ทางการแพทย์ เครื่องสำอาง การบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น นอกจากจะเป็นการใช้

ประโยชน์จากกากของเสียเหลือใช้แล้ว ยังลดปัญหามลพิษและการกำจัดของเสียของโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันเริ่มมีการนำไคโตซานมาผลิตเยื่อกรองเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมน้ำผลไม้และไวท์สำหรับการกรองน้ำผลไม้และไวท์ให้ใส (Muzzarelli, 1977) และการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากขบวนการล้างเห็ดดองเค็มของอุตสาหกรรมอาหาร (บุญชู, 2547) การกรองแยกคอลลอยย์ และ โลหะหนัก เช่น คอปเปอร์ (Cu), โครเมียม (Cr) จากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม (Muzzarelli, 1977)

ปัจจุบันการผลิตไคโตซานใช้ระยะเวลาในการสกัดค่อนข้างนาน ส่งผลให้ไคโตซานมีราคาแพง งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสภาวะในการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว ได้แก่ กระบวนการกำจัดโปรตีนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร กระบวนการกำจัดแร่ธาตุด้วยกรดไฮโดรคลอริก 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และกระบวนการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยทำการสกัดภายใต้สภาวะที่มีความดันและอุณหภูมิสูงโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดไคโตซาน ด้วยการลดระยะเวลาในการสกัด นอกจากนี้ ยังศึกษาประสิทธิภาพการกรองเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้เยื่อกรองไคโตซานที่ผลิตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพในการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) โดยใช้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการกรองเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้เยื่อกรองไคโตซานที่ผลิตจากไคโตซานที่สกัดได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีเริ่มต้นของเปลือกกุ้งขาว (*Penaeus-vannamei*) ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณความชื้น, ปริมาณเถ้า, ปริมาณโปรตีน และปริมาณแคลเซียม

1.3.2 ศึกษาสภาวะในการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) โดยใช้ความดันและอุณหภูมิสูง ขั้นตอนในการสกัด ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ 1) ขั้นตอนการกำจัดโปรตีน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 2) ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 3) ขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ภายใต้ความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108, 115 และ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) ที่ระยะเวลาในการสกัดต่าง ๆ

1.3.3 วิเคราะห์คุณลักษณะของไคโตซานที่สกัดได้ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิล, ปริมาณความชื้น, ปริมาณเถ้า และน้ำหนักโมเลกุล

1.3.4 ผลิตเยื่อกรองไคโตซาน เพื่อใช้ในกระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ค่าการเปลี่ยนความหนา สภาพพื้นผิวด้านหน้าและภาคตัดขวาง และประสิทธิภาพในการกำจัดเกลือของเยื่อกรองไคโตซาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้วิธีการสกัดไคโตซานวิธีใหม่ที่ใช้เวลาในการสกัดน้อย และ สามารถประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

1.4.2 ได้เยื่อกรองไคโตซานเพื่อใช้ในการกำจัดเกลือ

1.4.3 ลดปริมาณเปลือกกุ้งซึ่งเป็นของเสียอุตสาหกรรมแช่แข็ง

1.4.4 นำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าของเสียอุตสาหกรรม

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไคติน – ไคโตซาน (Chitin - Chitosan)

ไคติน-ไคโตซาน เป็นโคพอลีเมอร์ธรรมชาติ ประกอบด้วยโมโนเมอร์ของ Anhydro-*N*-Acetyl-*D*-Glucosamine และ Anhydro-*D*-Glucosamine ถ้าสัดส่วนของโมโนเมอร์ Anhydro-*N*-Acetyl-*D*-Glucosamine มากกว่า จะแสดงลักษณะเด่นเป็นไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของโมโนเมอร์ Anhydro-*D*-Glucosamine มากกว่า จะแสดงลักษณะสมบัติเด่นเป็นไคโตซาน ซึ่งองค์ประกอบของโคพอลีเมอร์ที่ต่างกันจะมีผลต่อสมบัติการละลายของไคติน-ไคโตซาน (Hirano, 1996)

2.1.1 ไคติน (Chitin)

ไคติน ถูกค้นพบครั้งแรกใน ปี ค.ศ. 1811 โดยบราคองน๊อต (Braconnot) ชาวฝรั่งเศส โดยนำเอาเห็ด *Agaricus volvaccus* และเห็ดชนิดอื่น ๆ มาละลายในสารละลายด่าง จากนั้นแยกไคตินซึ่งเป็นสารที่สกัดได้ แล้วทำให้แห้งเรียกสารนี้ว่า “fungine” 12 ปีต่อมา Odier พบว่าโครงสร้างภายนอกของแมลงมีสารชนิดเดียวกันกับที่พบในโครงสร้างของเห็ดจึงเรียกสารที่พบเป็นภาษากรีก ว่า “Chiton” และเป็นคนแรกที่ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างภายนอกของแมลงกับเนื้อเยื่อพืช (Knorr, 1991) ซึ่งไคตินในธรรมชาติเป็นของแข็งที่ไม่สามารถละลายน้ำ กรดอินทรีย์เจือจาง ด่างเจือจาง แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติไคตินสามารถละลายได้ในกรดอนินทรีย์เข้มข้น เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิก (Muzzarelli, 1977)

ไคติน เป็นสารพอลีเมอร์ธรรมชาติจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลยาวมากโดยไม่มีการแตกแขนง (Unbranched polysaccharide) สูตรโครงสร้างของไคติน คือ poly-β-(1,4)-2-acetamino-2-Deoxy-Glucose หรือ Poly (N-Acetylglucosamine) (Rege และ Block, 1999) ซึ่งแต่ละหน่วยจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β-(1,4) และมีสูตรทั่วไปคือ $(C_8H_{13}NO_5)_n$ ประกอบด้วยคาร์บอน 47.29% ไฮโดรเจน 6.45% ไนโตรเจน 6.89% และออกซิเจน 39.37% (Lee, 1974) จากสูตรโครงสร้างของไคตินพบว่าไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไม่มีประจุ (Non-electrolytic polymer) บางครั้งอาจจะจัดเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส แต่แตกต่างกับเซลลูโลสคือ หน่วยย่อยของเซลลูโลสเป็น D-glucose ส่วนหน่วยย่อยของไคตินเป็นอนุพันธ์ของกลูโคสคือ N-Acetylglucosamine โดยที่หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ตรงคาร์บอนตำแหน่งที่สองของเซลลูโลสจะถูกแทนที่ด้วย Acetylated amino ($-NH-COCH_3$) (นันทวัน, 2545) (ดังรูปที่ 2.1) สารไคตินในธรรมชาติที่พบจะมีโครงสร้าง

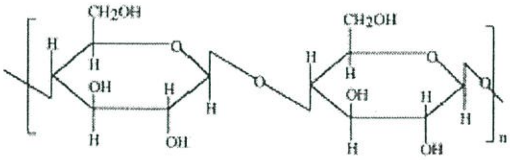
ต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่พบ สายโซ่ของไคตินจะมีการจัดเรียงตัวได้หลายแบบ ซึ่งจะมีความแข็งแรงแตกต่างกัน ลักษณะโครงสร้างของไคตินในธรรมชาติสามารถจำแนกเป็น 3 ประเภท คือ

- อัลฟาไคติน (α-chitin) เป็นสายโซ่จัดเรียงตัวกลับไปกลับมาซ้อนกัน สายโซ่เรียงตัวได้แน่นและมีความแข็งแรงสูงสุด

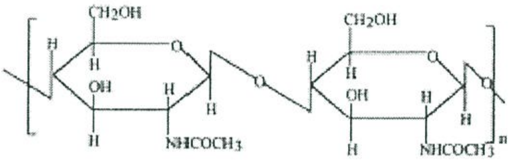
- เบตาไคติน (β-chitin) เป็นสายโซ่จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน สายโซ่เรียงตัวได้ไม่แน่นมาก

- แกมมาไคติน (γ-chitin) เป็นลักษณะผสมของ α และ β เป็นสายโซ่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบมีทั้งทิศทางเดียวกันและกลับทิศทางกัน

โครงสร้างของไคตินที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ ได้แก่ อัลฟาไคตินที่พบในเปลือกของกุ้งและปู และ เบตาไคตินที่พบในแกนปลาหมึก



Cellulose



Chitin

รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและเซลลูโลส

ไคตินเป็นพอลีเมอร์ที่พบมากในธรรมชาติเป็นอันดับที่สองรองจากเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fiber) ยึดสารต่าง ๆ ให้เป็นแผ่นๆ และเป็นเส้นๆ ทำหน้าที่หุ้มอวัยวะและสร้างความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์ (Exoskeleton) โดยทั่วไปพบสารไคตินได้ในสัตว์ที่มีปล้อง เช่น กุ้ง ปู แมลงทุกชนิด และยังพบในหอยเปลือกแข็ง (Mollusea) หอยมุก (Gastropoda) ปลาหมึก (Cephalopoda) ซึ่งในเปลือกของสัตว์ดังกล่าว นอกจากจะมีสารไคตินแล้ว ยังมีโปรตีนและเกลือแร่ต่าง ๆ ที่สำคัญได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ปริมาณของไคตินในสัตว์ต่าง ๆ มีปริมาณตั้งแต่ 0.01% จนถึง 40% ของน้ำหนักแห้ง ตัวอย่างเช่นไฟลัมอาร์โทโปดา คลาสครัสเตเชียน (Class Crustacean) เช่น กุ้ง ปู มีปริมาณไคตินอยู่ประมาณ 10-15% (เยาวภา, 2534) ตลอดจนคลาสอินเซ็คตา (Class Insecta) เช่น แมลง จะพบปริมาณไคตินถึง 85% นอกจากนี้ สารไคตินยังพบในผนังเซลล์ของพวกรา ยีสต์ รวมถึงจุลินทรีย์อีกหลายชนิด (Hirano, 1996) ซึ่งการพบไคตินในจุลินทรีย์มีการพัฒนาการผลิตของ

ไคติน-ไคโตซานด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ โดยทั่วไปปริมาณไคตินที่พบในธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไคตินที่พบในสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ (Knorr, 1984)

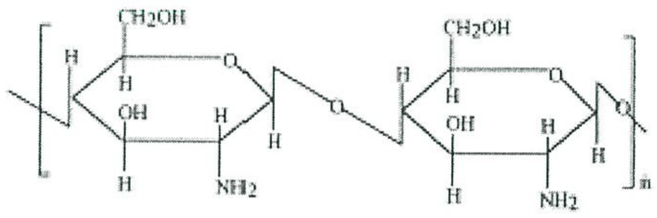
ประเภท	ปริมาณไคติน (%)	ประเภท	ปริมาณไคติน (%)
Crustacea		**Insects**	
Cancer (crab)	7.21[c]	May beetle	16[b]
Carcinus (crab)	0.4-3.3[a], 8.29[b]	Diptera (true fly)	54.8[c]
	64.2[b]	Pieris (sulfur butterfly)	64[c]
Paralithodes (King Crab)	35[b], 14[a]	Grasshopper	2-4[a], 20[c]
Callinectes (blue crab)	1.3-1.8[b]	Bombyx (silk worm)	44.2[c]
Pleuroncodes (red crab)	5.8[b]	Calleria (wax worm)	33.7[c]
Crangon (shrimp)	69.1[c], 28[d]	Penplaneta (cockroach)	18.4[c], 10[b], 35[c]
Alaskan shrimp	69.8[c]	Blatella (cockroach)	5-15[b]
Nephrops (lobster)	6.7[b]	Celcoptera (beetle)	27-35[c]
	60.8-77.0[c]	Tenebrio (beetle)	2.1[a].4.9[b].31.3[c]
Homarus (lobster)	58.3[c]		
		Fungi	
Molluscan Organs.		*Aspergillus niger*	42.0[c]
Clam shell	6.1[b]	*Penicillium notatum*	18.5[c]
Oyster shell	3.6[a]	*Penicillium chrysogenium*	20.1[c]
Squid skeletal pen	41.0[c]	*Saccharomyces cerevisiae*	2.9[c]
		Mucor rouxii	44.5[c]
		Lactarius vellereus	19.0[c]

หมายเหตุ : [a] น้ำหนักเปียก, [b] น้ำหนักแห้ง, [c] น้ำหนักสารอินทรีย์ของผิวหรือเปลือก, [d] น้ำหนักแห้งทั้งหมดของผิวหรือเปลือก, [d] น้ำหนักแห้งของผนังเซลล์

2.1.2 ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซานถูกค้นพบโดย Rouget ในปี ค.ศ. 1859 โดยนำเอาไคตินมาต้มจนเดือดในสารละลายโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง และพบว่าไคตินสามารถละลายในกรดอินทรีย์ได้ จึงเรียก modified chitin และเมื่อนำมาทดสอบสี โดยการผสมด้วยสารละลายไอโอดีนและกรด พบว่าให้สีม่วง ในขณะที่ไคตินให้สีน้ำตาล ต่อมาในปี ค.ศ. 1984 Hoppe Seyler ได้เปลี่ยนชื่อจาก modified chitin เป็น chitosan (วีระ, 2546)

ไคโตซาน มีชื่อทางเคมีว่า poly-β-(1,4)-2-amino-2-Deoxy-Glucose หรือ Poly N-Glucosamine (รูปที่ 2.2) มีสูตรทางเคมีของโมโนเมอร์ คือ $C_6H_{12}NO_4$ ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่เกิดจากการแทนที่หมู่อะซิทิล (Deacetylation) คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ในวงแหวนไพราโนส (Pyranose ring) ของอะตอมไคตินด้วยหมู่อะมิโน (สมการที่ 2.1) สมบัติทางกายภาพของไคโตซานเป็นสายพอลีเมอร์ประจุบวก (Cationic polymer) สามารถทำปฏิกิริยาเคมีได้หลายชนิด โดยปกติไคโตซานละลายได้ดีในกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซิตริก กรดฟอร์มิก กรดมาลิก กรดแลกติก และกรดซิตริก เป็นต้น เนื่องจากมีหมู่เอมีน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) (ตารางที่ 2.2) สารละลายของไคโตซานมีความเหนียว ความใส สามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น เป็นแผ่นเยื่อบาง เจล เม็ด เส้นใย คอลลอยด์ และสารเคลือบ เป็นต้น (Shigemasa และคณะ, 1998) ไคโตซานเป็นสารที่ย่อยสลายไม่ได้ ดังนั้นจึงไม่ให้พลังงาน การเกิดไคโตซานขึ้นอยู่กับการกำจัดหมู่อะซิทิลโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%DD) (Shigemasa และคณะ, 1998) คำนวณโดยใช้สมการที่ 2.2 – 2.3 ซึ่ง ค่า K หมายถึง ค่าคงที่สมดุลของการเกิดปฏิกิริยา และ Q หมายถึง ค่าการกำจัดหมู่ อะซิทิล (%DD)



Chitosan

รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน

$$R-NH-CO-H_3C+NaOH \rightarrow R-NH_2+CH_3COOH \quad (2.1)$$

chitin base chitosan acid

$$K = \frac{[Chitosan]\,[Acid]}{[Chitin]\,[Base]} \quad (2.2)$$

$$\frac{[Chitosan]}{[Chitin]} = \frac{[-NH_2]}{[CH_3CO-]} = K\frac{[Acid]}{[Base]} = Q \quad (2.3)$$

ถ้า %DD เกินกว่า 50% ขึ้นไป ไคโตซานสามารถทำปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การลดลงของหมู่อะซิทิล (CH_3CO-) ในไคตินโดยการเพิ่มหมู่เอมีน (-NH_2) ในสายพอลีเมอร์เพิ่มสมบัติความเป็นประจุบวก (Polycationic) ทำให้เกิดเป็นไคโตซานมากขึ้นนั่น คือ โครงสร้างของไคตินจะต่างจากโครงสร้างของไคโตซานตรงหน่วยกลูโคซามีน (Glucosamine) ในสายพอลีเมอร์

ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการละลายของไคโตซานในกรดต่าง ๆ (ไคโตซาน 1 มิลลิกรัม/สารละลายกรดอะซิติก 100 มิลลิลิตร) (Gross และคณะ, 1982)

Acid Concentration	1%	5%	10%	50%	>50%
Acetic acid (CH_3COOH)	+	+	+	+	
Adipic acid ($C_6H_{10}O_4$)	+				
Citric acid ($C_6H_{10}O_7$)	-	-	+		
Formic acid (CH_4O_2)	+	+	+	+	+
Lactic acid ($C_3H_6O_3$)	+	+	+		
Malic acid ($C_4H_6O_5$)	+	+	+		
Tartaric acid ($C_4H_6O_6$)	-		+		
Hydrochloric acid (HC1)	+	-	-		
Nitric acid (HNO_3)	+	-	-		
Phosphoric acid (H_3PO_4)	-	-	-		
Sulfuric acid (H_2SO_4)	-	-	-		

หมายเหตุ : ไคโตซานไม่ละลายใน H_2SO_4 แต่ละลายใน H_3PO_4 ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 0.5%, + หมายถึงละลายได้, - หมายถึงไม่ละลาย

สารละลายไคโตซานที่มีสมบัติเป็นประจุบวกนั้น จะมีสมบัติพิเศษในการดูดซับทั้งไอออนบวกและไอออนลบได้ ดังนั้น จึงถูกนำมาใช้ในกระบวนการจับไอออนต่าง ๆ ในสารละลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ กระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) และตกตะกอน (Flocculation) และการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ (Waste recovery) (Win, 1996)

2.2 การผลิตไคโตซาน

สัตว์ในไฟลัมอาร์โทโปดา (Arthropoda Phylum) ได้แก่ กุ้ง ปู ประกอบไคติน 20-30% โปรตีน 30-40% แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมฟอสเฟต 30-50% ซึ่งปริมาณของสารเหล่านี้จะแปรผันตามสปีชีร์และฤดูกาล (Hong และ Meyers, 1995) การผลิตไคโตซานจึงแปรผันตามแหล่งที่มาและองค์ประกอบของวัตถุดิบ กระบวนไคโตซานประกอบด้วยกระบวนการสำคัญ 3 กระบวนการ คือ กระบวนการกำจัดโปรตีน (Deproteination) กระบวนการกำจัดแร่ธาตุ (Demineralization) และกระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซิทิล (Deacetylation) โดยที่สองกระบวนการแรกเป็นกระบวนการผลิตไคติน ส่วนกระบวนการสุดท้ายเป็นกระบวนการผลิตไคโตซาน

2.2.1 กระบวนการกำจัดโปรตีน (Deproteination)

โปรตีนในวัตถุดิบ ได้แก่ เปลือกกุ้ง เปลือกปู ฯลฯ ถูกกำจัดโดยทำปฏิกิริยากับด่าง ส่วนใหญ่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เจือจาง โดยพันธะเปปไทด์ของโปรตีนจะถูกสลายด้วยด่างโดยปฏิกิริยา hydrolysis โดยด่างกลายเป็นกรดอะมิโนย่อย ๆ กระบวนการนี้โปรตีนจะถูกกำจัดออกไปพร้อมกับกรดไขมันบางส่วน และรงควัตถุบางชนิด อย่างไรก็ตาม สภาวะที่ใช้ในการกำจัดโปรตีน จะขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ และวิธีการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 2.3 (Hong และ Meyers, 1995)

2.2.2 กระบวนการกำจัดแร่ธาตุ (Demineralization)

แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในวัตถุดิบ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้ถูกกำจัดโดยทำปฏิกิริยากับกรด โดยทั่วไปนิยมใช้กรดไฮโดรคลอริก (HC1) เจือจางที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแคลเซียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก จะถูกเปลี่ยนเป็นเกลือของแคลเซียมที่ละลายน้ำ ($CaC1_2$) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ดังแสดงในสมการ 2.4

$$2HC1\ (aq) + CaCO_3(s) \longrightarrow CaC1_2\ (aq) + CO_2\ (g) + H_2O\ (l) \qquad (2.4)$$

บางส่วนของรงควัตถุและโปรตีนที่เหลือจากขั้นตอนการสกัดโปรตีนที่สามารถละลายได้ในกรด จะถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนนี้ สารที่ได้หลังจากการกำจัดแร่ธาตุ คือ ไคติน (Chitin) นอกจากกรดเกลือแล้วสารเคมีอื่น เช่น กรดฟอร์มิก กรดซัลฟูริก และ EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid) สามารถนำมาใช้ในการกำจัดแร่ธาตุและโปรตีนบางส่วน ส่วนเวลาที่ใช้ในการกำจัดแร่ธาตุจะแปรผันตามแหล่งที่มาของไคติน ดังแสดงในตารางที่ 2.4 (Hong และ Meyers, 1995)

สิ่งที่สำคัญในกระบวนการกำจัดแร่ธาตุคือ จำนวนโมลของกรดที่ใช้ต้อง เท่ากับหรือมากกว่าจำนวนโมลของแร่ธาตุที่มีอยู่ในเปลือกกุ้ง (Stoichiometric) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ โดยทั่วไป ถ้าสภาวะที่ใช้ในการกำจัดโปรตีน และแร่ธาตุไม่รุนแรงจะได้ไคตินและไคซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง อย่างไรก็ตาม หากสภาวะที่ใช้อ่อนเกินไป จะมีผลทำให้การกำจัดแร่ธาตุและโปรตีนในวัตถุดิบไม่สมบูรณ์ ทำให้มีโปรตีนและแร่ธาตุเหลืออยู่

ตารางที่ 2.3 สภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการกำจัดโปรตีนในการผลิตไคติน (Hong และ Meyers, 1995)

แหล่งที่มา	การกำจัดโปรตีน				
	ความเข้มข้นของด่าง		อุณหภูมิ (°C)	เวลา (hr)	อัตราส่วน (w/v)
กุ้งก้ามกราม (Lobster)	1 N	NaOH	100	12x5*	1:5.5
	5%	NaOH	80-85	0.5x2*	-
	10%	NaOH	ambient	72[a]	1.5
	10%	NaOH	100	2.5	
เคย (Krill)	3.5%	NaOH	90-95	2	1:10
	3.5%	NaOH	25	2	-
	3%	KOH	95	2	1:10
กุ้ง (Shrimp)	3%	NaOH	100	1	-
	1%	NaOH	65	1	1:10
	1%	KOH	90	2	1:20
	4%	NaOH	100	1	-
	pH 11.5		30	1	1:30
กั้ง (Crawfish)	3.5%	NaOH	65	2	1:10
ปลาหมึก (Cuttlefish)	10%	NaOH	103-105	6x2*	Excess
ปู (Crab)	1 N	NaOH	90	3x2*	-
	2%	KOH	90	2	1:20
	1 N	NaOH	50	6	-
	5%	NaOH	90[b]	2	-
กุ้งนาง (Prawn)	5%	NaOH	Reflux	2	1:15-20
	5%	NaOH	100	0.5	1:1
	0.5%	NaOH	100	0.5	2:3
ปลาหมึก (Squid)	1 N	NaOH	100	10-12	-
	2 M	NaOH	ambient	overnight	1:10
	2 M	NaOH	100	100	1:10

หมายเหตุ : * เวลาของการสกัดด้วยด่างซ้ำ, [a] สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เตรียมใหม่ทุกครั้ง, [b] เมื่อไคโตซานเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

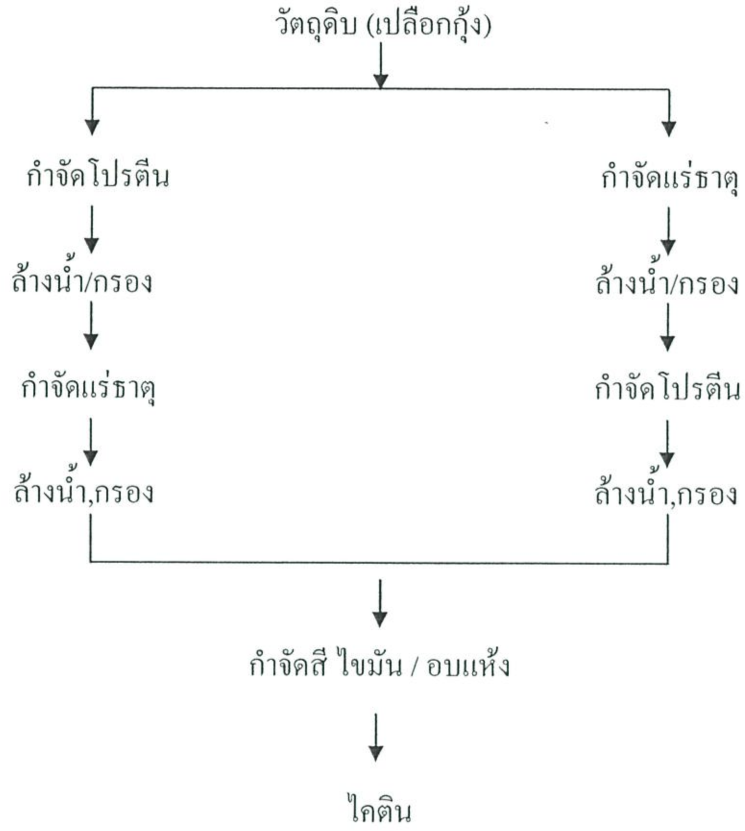
ตารางที่ 2.4 สภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการกำจัดแร่ธาตุในการผลิตไคติน (Hong และ Meyers, 1995)

แหล่งที่มา	การกำจัดแร่ธาตุ			
	ความเข้มข้นของกรด	อุณหภูมิ. (° C)	เวลา (hr)	อัตราส่วน (w/v)
กุ้งก้ามกราม (Lobster)	2 N	ambient	5	1:9
	2 N	0	48	1:5.5**
	5%	70	2x2*	-
	37%	-20	4	-
	90% formic	ambient	18	1:10
เคย (Krill)	0.6 N	ambient	2	1:22
	3.5%	20	1.5	1:4
	22%	ambient	2	1:10
กุ้ง (Shrimp)	1 N	ambient	0.5	3x***
	0.5%	ambient	-	1:11
	2.5%	20	1	1:10
	5%	ambient	-	-
	8%	30	8	1:10
กั้ง (Crawfish)	1 N	ambient	0.5	1:15
ปลาหมึก (Cuttlefish)	10%	ambient	192	Excess
ปู (Crab)	1 N	ambient	12x2*	-
	2.5%	20	1	1:10
	1 N	20	3	-
	5%	ambient	24	-
กุ้งนาง (Prawn)	5%	ambient	2	1:15-20
	5%	ambient	1	1:2
	1.25 N	ambient	1	-
ปลาหมึก (Squid)	2 N	10	12	Excess
	1 M	ambient	overnight	1:10

หมายเหตุ : * เวลาของการสกัดด้วยกรดซ้ำ ** สกัดครั้งที่สอง, *** ความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นของสตอยซิโอเมตริก 3 เท่า

ดังนั้น กระบวนการผลิตไคตินจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ (1) ขั้นตอนการกำจัดโปรตีน และ (2) ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ ซึ่งในการผลิต 2 ขั้นตอนนี้สามารถทำสลับกันได้ โดยทั่วไปนิยมทำขั้นตอนการกำจัดโปรตีนก่อนขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ เพื่อสามารถนำโปรตีนที่มี

ปริมาณมากและคุณภาพดีกลับมาใช้ใหม่ รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการผลิตไคตินในอุตสาหกรรมโดยทั่วไป



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนทั่วไปของการผลิตไคติน (เยาวภา, 2534)

2.2.3 กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซิทิล (Deacetylation)

เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิล (CH_3CO-) ในไคตินด้วยสารละลายด่างเข้มข้น ซึ่งสารละลายด่างที่ใช้โดยทั่วไป ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (30-50%) ที่อุณหภูมิสูง สมการการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลแสดงดังสมการที่ 2.5 เป็นการเพิ่มขึ้นของหมู่เอมีน (-NH_2) บนโมเลกุลของไคติน และหมู่เอมีนนี้มีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลาย ซึ่งช่วยให้การละลายดีขึ้น เนื่องจากมีสมบัติเป็นประจุบวก (Cation) ส่วนใหญ่ เมื่อหมู่อะซิทิลถูกกำจัดไปมากกว่า 50% ขึ้นไป ไคโตซานที่ได้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซิตริก (CH_3COOH) กรดโพรพาโนอิก (C_2H_5COOH) กรดบิวทิวริก (C_4H_9COOH) และกรดแลกติก (C_3H_7COOH) เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนในการผลิตไคโตซานโดยทั่ว ๆ ไปแสดงดังรูปที่ 2.4 และสภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลของ

แหล่งที่มาของไคตินต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.5 (Hong และ Meyers, 1995) การลดหมู่อะซิทิลโดยใช้ด่างที่มีความเข้มข้นสูงตั้งแต่ 30% ขึ้นไป สามารถทำได้ภายใต้ 2 ปฏิกิริยาหลัก คือ

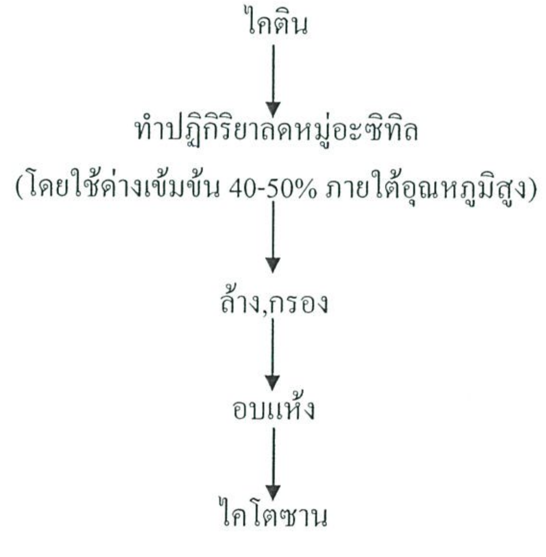
2.2.3.1 ปฏิกิริยาที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous reaction)

ไคตินที่อยู่ในรูปของ Alkali chitin จะถูกเปลี่ยนเป็นไคโตซาน ด้วย 50% NaOH ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1-6 วัน (Sannan และคณะ, 1976) ปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลภายใต้สภาวะนี้จะเกิดแบบสุ่ม ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นพอลีเมอร์แบบสุ่ม (Random-Type Copolymer) ของ N-Acetyl-D-Glucosamine และ D-Glucosamine (กลุ่มไคติน-ไคโตซาน, 2000)

2.2.3.2 ปฏิกิริยาที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous reaction)

ปีนปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิล ด้วย 40-50% NaOH ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 90-130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง จะเกิดบริเวณอสัณฐาน (Amorphous region) ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นโคพอลีเมอร์แบบกลุ่ม (Block-Type Copolymer) (Muzzarelli, 1977) ซึ่งสภาวะนี้เป็นสภาวะที่นิยมใช้ทั่วไป

$$C_8H_{13}NO_5\ (s) + NaOH\ (aq) \rightarrow C_6H_{11}NO_4\ (s) + CH_3COONa\ (aq) \qquad (2.5)$$



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนทั่วไปของการผลิตไคโตซาน (เยาวภา, 2534)

นอกจากกระบวนการกำจัดโปรตีน กระบวนการกำจัดแร่ธาตุ และกระบวนการกำจัดหมู่อะซิทิลที่กล่าวข้างต้นแล้ว ในกระบวนการผลิตอาจจะมีกระบวนการฟอกสี (Decolouration) (กลุ่มไคติน-ไคโตซาน, 2000) เพื่อกำจัดรงควัตถุที่เหลืออยู่ โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) หรือโซเดียมเปอร์คลอเรต ($NaOC1_4$) ซึ่งสารฟอกสีเหล่านี้จะทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลง (น้ำหนัก

โมเลกุลต่ำลง) ทำให้คุณภาพของไคโตซานลดลง ดังนั้น กระบวนการฟอกสีที่ดีที่สุดควรจะกระทำในขั้นตอนต้น ๆ ของกระบวนการผลิต จากการทดลองของ Roberts พบว่า การฟอกสีควรจะกระทำหลังขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ (Muzzarelli, 1977)

ตารางที่ 2.5 สภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลในการผลิตไคโตซาน (Hong และ Meyers, 1995)

แหล่งที่มา	การกำจัดหมู่อะซิทิล						
	Atmos-phere	ความเข้มข้นของด่าง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (hr)	อัตราส่วน (w/w, v)	การกำจัดหมู่อะซิทิล (%)	ความหนืด (cps)
กุ้งก้ามกราม (Lobster)	A/N[a]	55% KOH	100-140	0.5-15	1:100	65-81.2	-
ปู (Crab)	N	47% NaOH	60	2 x 1-4*	-	57-90	-
			110	1 x 1-3*	-	78-96	-
			110	1 x 3**	-	99	-
	A	39% KOH	reflux	20	1:17	-	67[c]
กุ้ง (Shrimp)	N	50% NaOH	100	0.5-5	-	68-78	-
	N	50% NaOH	145-150	1/12	1:10	-	5110[d]
				¼			311[d]
	A	50% NaOH	145-150	1/12	1:10	-	460[d]
				¼			117[d]
	A	50% NaOH	60	2***	1:4	-	290[f]
กุ้งนาง (Prawn)	A	50% NaOH	30	24	1:56	87	530[e]
				48	1:42		440[e]
				72	1:28		380[e]
				144	1:14		780[e]
	A	60% NaOH	100	1	1:65	-	309[d]
	A	50% NaOH	100	2	-	-	186[e]
เคย (Krill)	A	50% NaOH	80-96	1/3	-	56-68	342-5074[e]
	A	39% KOH	reflux	20	1:17	-	60[c]
ปลาหมึก (Squid)	N	40% NaOH	80	3 x 1-3*	1:20	80-97	-

หมายเหตุ : [a]A = อากาศ, N= ไนโตรเจน, [b] ละลายใน ethanol+ethylene glycol 95 %, [c] สารละลาย 1% ในกรดอะซิตริก 5%, [d] สารละลาย 1% ในกรดอะซิตริก 2%, [e] สารละลาย 1% ในกรดอะซิตริก 1% , [f] สารละลาย 1% ในอะซิเตรดบัฟเฟอร์ (กรดอะซิตริก 0.2 M + โซเดียมอะซิเตรด 0.1 M), * เวลาของการสกัดด้วยด่างซ้ำ, ** สกัดด้วยด่าง 3 ครั้ง และสกัดด้วยด่างเพิ่มหลังจากมีการเปลี่ยนสภาพของตัวอย่างเป็นเส้นใย,*** เป่าแห้ง

2.3 สมบัติที่สำคัญของไคโตซาน

สมบัติที่สำคัญของไคโตซาน มีดังนี้

2.3.1 เป็นวัสดุทางชีวภาพ (biomaterial)

ไคโตซานเป็นวัสดุทางชีวภาพ ที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) และเป็นสาร bioactivity สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradable) และใช้เป็นสารตั้งต้น (precursor) ในการแปรรูปไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น และใช้เป็นสารอนุพันธ์อื่น ๆ ได้มากมาย ดังนั้นจึงปลอดภัยสำหรับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม (Muzzarelli, 1977)

2.3.2 เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก

ไคโตซานเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก สามารถที่จะเกิดปฏิกิริยากับของแข็งอินทรีย์ และพื้นผิวเซลล์ที่มีประจุลบ ดังนั้น จึงนิยมประยุกต์ใช้ไคโตซานในอุตสาหกรรมบำบัดน้ำเสีย (Muzzarelli, 1977)

2.3.3 ความสามารถในการขึ้นรูป

สามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น เป็นเจล (gel) เม็ด (bead) เส้นใย (fiber) สารละลาย (solution) คอลลอยด์ (colloid) ฟิล์ม (film) และสารเคลือบ (coat) เป็นต้น ทำให้ประยุกต์ใช้งานได้แตกต่างกัน เช่น ถ้าเป็นเจลหรือสารละลายก็จะใช้ในเครื่องสำอาง ใช้เป็นสารช่วยตกตะกอน ใช้เป็นสารเคลือบผิว ใช้เป็นสารต่อต้านแบคทีเรียและเชื้อรา เป็นเม็ดก็จะใช้ในการแยกโปรตีน หรือตรึงเอ็นไซม์ (immobilizing enzymes) เป็นเส้นใยก็จะใช้ในงานด้านการเย็บบาดแผล ตกแต่งบาดแผล เป็นฟิล์มจะใช้ในงานด้านตกแต่งบาดแผลเป็นสารเคลือบไดอะไลซิสเมมเบรน(dialysis membrane) เป็นต้น (Shigemasa และคณะ, 1998)

2.3.4 มีหมู่เอมีน (-NH_2) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH)

ไคโตซานมีหมู่เอมีน (-NH_2) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) สามารถจะทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อจะเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์อื่น ๆ ได้มากมาย โดยหมู่เอมีนสามารถเกิดได้ 2 รูปแบบ คือ สามารถจะอยู่ในรูปของเอมีนอิสระ (-NH_2) หรือในรูปที่มีประจุบวก (-NH_3^+) ซึ่งทำให้คุณสมบัติของไคโตซานเปลี่ยนแปลงไป ดังตารางที่ 2.6 (Muzzarelli, 1977)

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของไคโตซานเมื่ออยู่ในรูปแบบต่าง ๆ (Muzzarelli, 1977)

เอมีนอิสระ (-NH_2)	เอมีนมีประจุบวก (-NH_3^+)
- ละลายในกรดอ่อน	- ละลายที่พีเอชต่ำกว่า 6.5
- ไม่ละลายที่พีเอชมากกว่า 6.5	- จะอยู่ในรูปสารละลายหนืด (Viscous)
- ไม่ละลายในกรดซัลฟูริก (H_2SO_4)	- สามารถเกิดเป็นเจลเมื่อทำปฏิกิริยากับสารที่มีประจุลบ
- ละลายได้จำกัดในกรดฟอสฟอริก (H_3PO_3)	- ละลายในของผสมระหว่างน้ำกับแอลกอฮอล์ได้บ้าง
- ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์	

มาตรฐานของไคโตซานถูกกำหนดไว้โดย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ ดังนี้ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2543)

1) ลักษณะภายนอก

สีของไคโตซานที่ผลิตได้มีตั้งแต่สีขาวถึงสีแทน

2) การละลาย (Solubility)

ไคโตซานไม่สามารถละลายในน้ำ ด่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายในสารละลายกรดอินทรีย์ที่มี pH น้อยกว่า 6 เป็นกรดที่นิยมใช้สำหรับละลายไคโตซาน ได้แก่ กรดอะซิตริก และกรดฟอมิก บางครั้งสามารถใช้กรดอนินทรีย์เจือจางบางชนิดได้ เช่น กรดไนตริก กรดเกลือ กรดเปอร์คลอริก และ กรดฟอสฟอริก (Hong และ Meyers, 1995)

3) ลักษณะความหนืด (Viscosity)

ลักษณะความหนืดของไคโตซานเมื่อละลายในกรด ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล น้ำหนักโมเลกุล ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความเข้มของ Ionic strength และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้ว ความหนืดของสารละลายพอลีเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้ และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายพอลีเมอร์ จะมีผลทำให้ความหนืดแตกต่างกัน เช่น ความหนืดของสารละลายไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้น เมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น (กลุ่มไคติน-ไคโตซาน, 2000)

4) ปริมาณเถ้า (Ash content)

ปริมาณเถ้า ใช้บอกประสิทธิภาพในการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตออกจากเปลือกของสัตว์ที่มีปล้อง โดยถ้าปริมาณเถ้ามีค่าสูงแสดงว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคลเซียมไม่ดี แต่ถ้ามีค่าต่ำแสดงว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดแคลเซียมออกจากโครงสร้างได้ดี โดยปกติ ปริมาณเถ้าในไคโตซานจะมีค่าน้อยกว่า 1% (Hong และ Meyers, 1995)

5) ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น (Moisture content) ในโครงสร้างโมเลกุลไคโตซาน โดยทั่วไปไคโตซานจะมีความชื้น 2-10% (Muzzarelli, 1977)

6) น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)

โดยทั่วไปไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 0.12-1.5x10^6 กรัมต่อโมล ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต (กลุ่มไคติน-ไคโตซาน, 2000)

7) ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen content)

ไคตินในเปลือกกุ้งส่วนใหญ่จะจับอยู่กับโปรตีนด้วยพันธะโควาเลนท์ ดังนั้น จึงเป็นการยากที่จะเตรียมไคตินให้บริสุทธ์ได้ โดยทั่วไปปริมาณไนโตรเจนในไคตินอยู่ในช่วง 6.14-8.3% No และคณะ (1989) กล่าวว่าไคตินในกั้ง (Crawfish) มีไนโตรเจน 7.01% ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่าค่าทางทฤษฎี คือ 6.9% (สำหรับไคตินบริสุทธิ์) นอกจากนี้ ไคตินที่ได้จาก Lobster, Shrimp และเปลือกปูทะเล (Crab Shell) มีไนโตรเจน 6.8%, 6.29% และ 6.42% ตามลำดับ (Shahidi และ Synowiecki, 1991) Hong และ Meyer (1995) กล่าวไว้ว่าสาเหตุที่ปริมาณไนโตรเจนที่ได้มีค่ามากกว่าค่าทางทฤษฎีอาจเป็นเพราะมีการกำจัดโปรตีนออกไม่สมบูรณ์ ปริมาณไนโตรเจนไคโตซานมักมีค่ามากกว่า 7% โดยน้ำหนัก โดยจะอยู่ในช่วง 7.06% ถึง 7.97% (Hong และ Meyers, 1995)

8) ค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล (%DD)

ค่าการกำจัดหมู่อะซิทิลเป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคติน-ไคโตซาน เนื่องจากไคติน-ไคโตซานเป็นโคพอลีเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ N-Acetyl-D-Glucosamine และ D-Glucosamine ถ้าสัดส่วนของโมโนเมอร์ตัวใดมากกว่าก็จะแสดงคุณสมบัติเด่นออกมา ค่านี้จะมีค่าอยู่ในช่วง 56-99% (Hong และ Meyers, 1995) ขึ้นอยู่กับสปีชีร์และวิธีการเตรียม การวัดค่าการกำจัดหมู่อะซิทิลสามารถทำได้หลายวิธีได้แก่ NMR, IR, UV Visible, การไตเตรท (Titration) และ HPLC ตารางที่ 2.7 แสดงคุณลักษณะของไคติน-ไคโตซานที่ผลิตได้ทางการค้า จากบริษัท แวนสัน (VANSON) ประเทศอเมริกา ดังนั้น การตรวจวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานไคติน-ไคโตซานเป็นสิ่งจำเป็นที่จะใช้บ่งบอกคุณลักษณะของไคติน-ไคโตซาน

ตารางที่ 2.7 คุณลักษณะของไคติน-ไคโตซานที่ผลิตได้ของบริษัท แวนสัน (สุปราณี, 2544)

Product Name	**Chitin**	**Chitosan**
Grade	Standard	Standard
Chemical names	Poly N-acety-D-glucosamine, β-(1,4)-2-Acetanmido-2-Deoxy-D-Glucose	Poly -D-Glucosamine
Loss on drying	< 10%	< 10%
Ash	< 2%	< 2%
Caustic solubles	< 3%	-
Total chitin content	> 85%	-
Particle size	Flake	Flake
Viscosity	-	20-2,000 cps
Deacetylation	-	78 to 82 %
NTU's insoluble	-	< 1%
Turbidity	-	< 50
Source	Crab and / or Shrimp Shells	Crab and / or Shrimp Shells

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพไคโตซาน

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของไคโตซาน ได้แก่ ชนิดของสารละลายด่าง ความเข้มข้นของสารละลายด่าง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน คุณภาพของไคตินเริ่มต้น และขนาดของอนุภาคที่ใช้

2.4.1 ชนิดของสารละลายด่าง

โดยทั่วไป สารละลายด่างที่ใช้ในปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคติน ได้แก่ สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ ยังใช้สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ โดย Moorzani และคณะ (1975) พบว่าการใช้สารละลายโปตัสเซียมในการกำจัดหมู่อะซิทิลมีผลทำให้ได้สารละลาย ไคโตซานที่ได้มีความหนืดสูงกว่าการใช้สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์

2.4.2 ความเข้มข้นของสารละลายด่าง

โดยทั่วไป สารละลายด่างที่ใช้กำจัดหมู่อะซิทิลจะอยู่ในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 40-60% โดยน้ำหนัก (Domard และ Rinaudo, 1983) นอกจากนี้ ยังมีการใช้ด่างในรูปอื่น เช่น alkali fusion โดยละลายไคติน 30 กรัม กับโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 150 กรัม ใน nikel

crusible ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตเจน นอกจากนี้ Kenne และ Lindberg (1980) ได้เตรียมไคโตซานในหลอดทดลองโดยผสมไคติน 10-15 มิลลิกรัมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิกรัม และ Benzenethiol 100 มิลลิกรัม ละลายในน้ำ 1 ลิตร แล้วใช้ความร้อนภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ซึ่ง Bough และคณะ (1978) รายงานว่าการใช้สารละลายด่างที่ความเข้มข้นสูงเกินไป จะทำให้ไคโตซานเกิดการสูญเสียสภาพ (denature) เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลเป็นสภาวะที่รุนแรง ทั้งอุณหภูมิสูง และเวลาค่อนข้างนาน แต่การใช้สารละลายด่างที่มีความเข้มข้นต่ำเกินไปก็มีผลต่อสมบัติการละลายของไคโตซานในสารละลายกรดอ่อน โดยจะทำให้ละลายได้ยากขึ้น หรือไม่สามารถละลายได้

2.4.3 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิล (Acetyl) โดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูง ได้แก่ อุณหภูมิ 80-100 °C, 100 °C และที่สูงกว่า 100 °C เช่นที่ 145-150 °C และ 180 ° C Mima และคณะ (1983) รายงานว่า อัตราเร็วในการทำปฏิกิริยาในการกำจัดหมู่อะซิทิลที่อุณหภูมิ 110 °C มากกว่าที่อุณหภูมิ 60 °C เกือบ 2 เท่า แต่ที่อุณหภูมิสูงคือ 110 °C จะทำให้ไคโตซานที่ได้มีมวลโมเลกุลลดลง เช่นเดียวกับรายงานของ Bough และคณะ (1978) ที่กล่าวว่าการใช้อุณหภูมิในการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สูงเกินไป จะทำให้ไคโตซานที่ผลิตได้สูญเสียสภาพ และโมเลกุลของไคโตซานถูกย่อยสลาย (Degradation) ทำให้มีมวลโมเลกุลลดลง ดังนั้น ถ้าใช้ความเข้มข้นของสารละลายด่างที่สูง อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลควรจะลดลง เพื่อไม่ให้เกิดสภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลรุนแรงเกินไป

2.4.4 เวลาในการทำปฏิกิริยา

Bough และคณะ (1978) ได้ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลในการผลิตไคโตซานที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเวลาในการกำจัดเพิ่มขึ้นไคโตซานจะมีปริมาณหมู่อะซิทิล ขนาดของมวลโมเลกุล และความหนืดลดลง แต่มีความหนาแน่นประจุ (Charge density) สูงขึ้น และพบว่าการใช้เวลามากกว่า 2 ชั่วโมง ไม่ได้มีผลต่อการเพิ่มค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลมากนัก (%DD) สอดคล้องกับการทดลองของ Mima และคณะ (1983) นอกจากนี้ Bough และคณะ (1978) รายงานว่าเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิทิลเป็นปัจจัยที่ใช้ในการแบ่งไคโตซานเป็นเกรด หรือคุณภาพต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม เวลาที่ใช้กำจัดหมู่อะซิทิล มีตั้งแต่ 5-15 นาที ถึง 2-15 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการกำจัด หมู่อะซิทิล อาทิเช่น ความเข้มข้นของสารละลายด่าง และอุณหภูมิ เป็นต้น โดยถ้าลดความเข้มข้นของสารละลายด่าง จะเพิ่มเวลาที่ใช้ในการผลิตไคโตซาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนืดลดลง แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายด่างให้อิ่มตัวจะมีผลต่อการลดหมู่อะซิทิลและความหนืดน้อยมาก

2.4.5 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

Bough และคณะ (1978) รายงานว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) เนื่องจากออกซิเจนในอากาศมีผลต่อขนาดของมวลโมเลกุลของไคโตซาน โดยถ้ามีปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้น หรือมี ก๊าซออกซิเจนปรากฏในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลจะทำให้ไคโตซานเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมสลายได้ ส่งผลให้มีมวลโมเลกุลของไคโตซานลดลง จากการศึกษาผลของปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลโดยเติมตัวต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidazing agent) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าทำให้ไคโตซานที่ผลิตได้มีความหนืดลดลง ดังนั้น ขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลจึงจำเป็นต้องทำภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อย ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน ซึ่ง Bough และคณะ (1978) พบว่าไคโตซานที่ผลิตภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนมีขนาดของมวลโมเลกุล และความหนืดสูงกว่าไคโตซานที่ผลิตภายใต้บรรยากาศปกติ แต่องค์ประกอบของไนโตรเจนและเถ้าจะแตกต่างกันเล็กน้อย นอกจากการลดการเสื่อมสลายของสายพอลีเมอร์โดยใช้ก๊าซเฉื่อยแล้ว สามารถทำได้โดยการเติม Oxygen scavenger หรือเติม Reducing agent เช่น Thiophenol (Domard และ Rinaudo, 1983) หรือ $NaBH_4$ เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยา End-Pelling ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสายโซ่พอลีเมอร์ในด่างเข้มข้น (กลุ่มไคติน-ไคโตซาน, 2000)

2.4.6 คุณภาพของไคติน

คุณภาพของไคตินมีผลต่อคุณภาพของไคโตซานที่ผลิตได้ เนื่องจากไคตินเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไคโตซาน Bough และคณะ (1978) รายงานว่า สมบัติของไคตินมีผลต่อการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สำคัญ ได้แก่ ขนาด (Particle size) และความหนาแน่น (Density) ของไคติน โดยมีผลต่ออัตราการซึมผ่าน (Penetrate) ของด่าง ในขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล โดยทั่วไป สมบัติของไคตินและคุณภาพของไคตินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ปัจจัย คือ แหล่งของไคติน หรือวัตถุดิบที่นำมาแยกไคติน และกรรมวิธีในการแยกไคติน

2.4.7 ขนาดของอนุภาควัตถุดิบ

ขนาดของอนุภาควัตถุดิบเริ่มต้นมีผลต่อคุณภาพของไคโตซานถูกค้นพบโดย Bough และคณะ (1978) ซึ่งพบว่าอนุภาคที่ขนาดเล็ก (1 mm) ให้ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่มีค่าน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดสูงกว่าอนุภาคที่มีขนาด 2 หรือ 6.4 mm นอกจากนี้ Bough และคณะ (1978) ยังพบว่าอัตราการกำจัดหมู่อะซิทิลทำนายได้จากปริมาณการบวม (swell) ของอนุภาคไคติน ดังนั้น ถ้าอนุภาคขนาดใหญ่ จะทำให้ใช้เวลาในการบวมนาน ทำให้อัตราการกำจัดหมู่อะซิทิลช้า นอกจากนี้ Hong และ Meyers (1995) กล่าวว่าขนาดของอนุภาคไคตินภายใต้ช่วง 20-80 เมช ไม่มีผลต่อปริมาณของการลดหมู่อะซิทิลและความหนืดของสารละลายไคโตซาน

2.5 การใช้ประโยชน์ของไคโตซาน

ไคโตซานสามารถนำประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้

2.5.1 ทางการแพทย์

2.5.1.1 ใช้รักษาบาดแผล ไคโตซานเป็นคาร์โบไฮเดรต ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ มีการสลายตัวช้า สามารถดูดซับผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกาย จึงนิยมนำมาใช้ในการรักษาบาดแผล (สุปราณี, 2544) นักวิจัยของบริษัท ยาเลสการ์เดน เมืองโตเชน ประเทศญี่ปุ่นได้ใช้ไคโตซานในการเร่งการรักษาบาดแผลคือใช้เป็นส่วนผสมในผ้าปิดบาดแผล บริษัทยาชื่อคาตากุระ-ชิกการิบ เมืองฮ๊อกไกโด ผลิตผิวหนังเทียมที่เป็นสารผสมไคโตซานและคอลลาเจน ซึ่งสามารถเพิ่มความรวดเร็วในการรักษาบาดแผลผ่าตัดและไฟไหม้ ไคโตซานสามารถผลิตเป็นรูปแบบต่าง ๆ หลายรูปแบบ เช่น เป็นผง สารข้นเหนียว สารละลายฟิล์มเส้นใย หรือสเปรย์ ทำให้มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น เป็นผ้าปิดแผล ผลิตภัณฑ์ตกแต่ง น้ำยาทารักษาแผล

2.5.1.2 ใช้เป็นสารห้ามเลือดและรักษาแผล ไคโตซานทำให้เลือดเกิดการแข็งตัว โดยทำหน้าที่เป็นสารห้ามเลือด และสามารถผสมในขี้ผึ้ง เพื่อช่วยในการรักษาบาดแผล

2.5.1.3 ใช้ในการปลูกถ่ายเซลล์ เพื่อป้องการแพร่ผ่านของอากาศในระหว่างการปลูกถ่าย และการไม่ยอมรับอวัยวะในการปลูกถ่าย (วีระ, 2546)

2.5.2 ทางการเกษตร

2.5.2.1 ใช้เร่งการเจริญเติบโต ไคโตซานเป็นสารยับยั้งแบคทีเรียและเชื้อราบางชนิด ช่วยยืดอายุผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งสามารถช่วยลดสารเคมีตกค้าง ปัญหามลพิษ ปลอดภัยต่อเกษตรกรผู้ใช้และผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร จากการทดสอบพบว่า การเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* ถูกยับยั้งเมื่ออยู่ในสารอาหารที่ประกอบด้วยไคโตซานเข้มข้นมากกว่า 0.02% นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของศัตรูพืชหลายชนิด (สุปราณี, 2544)

2.5.2.2) ใช้รักษาเมล็ด ไคโตซานสามารถชักนำการแสดงออกของยีนในพืชได้ ซึ่งทำให้พืชสามารถต้านทานโรคได้มากขึ้นเมื่อนำเมล็ดไปปลูก ทำให้พืชมีระบบรากที่แข็งแรง

2.5.2.3 ช่วยทำให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่จับอยู่กับไคติน-ไคโตซานถูกปล่อยออกมาช้า ๆ กลายเป็นปุ๋ยในดิน รวมถึงช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยช่วยเพิ่มคุณสมบัติของการซึมผ่านของอากาศ การซึมผ่านของน้ำ การอุ้มน้ำ และทนต่อการกัดเซาะของดินได้ (วีระ, 2546)

2.5.3 ทางการเพาะเลี้ยงสัตว์

ไคโตซาน จะถูกนำมาใช้กับการเพาะเลี้ยงสัตว์ โดยเป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ เช่น อาหารสุกร อาหารเป็ด และอาหารไก่ โดยทำให้อัตราการให้เนื้อสูงขึ้น (น้ำหนักของเนื้อสัตว์ที่ได้ต่อน้ำหนักของอาหารที่ให้) สุขภาพสัตว์ดีขึ้น ช่วยให้ไม่เกิดการติดเชื้อทางเดินอาหาร เช่น โรคอุจจาระร่วง (สุปราณี, 2544)

2.5.4 ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

2.5.4.1 ไคโตซานสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในแชมพูสระผม ครีมนวดผม และครีมปรับสภาพผมได้ เนื่องจากไคโตซานนั้นมีความหนืดและยังมีคุณสมบัติในการเคลือบผิว นอกจากนี้ยังเก็บความชุ่มชื้นจึงทำให้เส้นผมนุ่ม

2.5.4.2 ถนอมผิว ไคโตซานมีคุณสมบัติในการให้ความชุ่มชื้นแก่ผิวหนัง (moisturizer) เนื่องจากไคโตซานมีประจุบวกจึงเข้ากันได้ดีกับผิวหนัง

2.5.4.3 ขจัดกลิ่นปาก โดยใช้ไคโตซานเป็นส่วนผสมในยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก และหมากฝรั่ง เพื่อให้ลมหายใจสดชื่น ป้องกันการก่อตัวของหินปูน (วีระ, 2546)

2.5.5 ผลิตภัณฑ์อาหารควบคุมน้ำหนัก

จากการวิจัยในสัตว์ทดลองหลายชนิด พบว่าการบริโภคไคโตซานสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดได้ ซึ่งไคโตซานทำหน้าที่เป็นตัวย่อยสลายไขมัน โดยจะจับกับไขมันส่วนเกินที่กระเพาะอาหาร และตกตะกอนในลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม ในประเทศญี่ปุ่นมีการผลิตขนมคุกกี้ และบะหมี่สำเร็จรูปควบคุมน้ำหนักซึ่งมีส่วนผสมของไคโตซาน สำหรับประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์ไคโตซานแคปซูล (chitosan capsules) เพื่อลดคอเลสเตอรอลและควบคุมน้ำหนัก (วีระ, 2546)

2.5.6 ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ (Muzzarelli, 1977)

2.5.6.1 ใช้เป็นตัวตรึง ของเอนไซม์และเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เพื่อเพิ่มความเสถียรให้กับตัวตรึง

2.5.6.2 ใช้ในการเก็บเกี่ยวโปรตีน โดยใช้เป็นตัวตกตะกอนโปรตีน

2.5.7 การบำบัดน้ำเสีย

เนื่องจากไคโตซานเป็นสารที่มีประจุบวก ดังนั้น จึงมีการใช้ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอน (flocculant) และตัวตกตะกอน (coagulating agent) สำหรับใช้ในกระบวนการการบำบัดน้ำเสีย โดยจะทำปฏิกิริยากับพอลีเมอร์ประจุลบที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย เช่น โปรตีน สีย้อม และพอลีเมอร์อื่น ๆ เกิดเป็นสารประกอบพอลีอิเล็กโตรไลต์ นอกจากนี้ ยังสามารถจับกับตะกอนของโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท ตะกั่วในน้ำเสีย โดยไนโตรเจนในหมู่เอมีนของไคโตซานจะทำหน้าที่เป็น

ตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนของโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อนกับหมู่เอมีนได้ นอกจากนี้ ยังพบว่าหมู่เอมีนในไคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับกับไอออนได้ดีกว่าหมู่อะซิทิลในไคติน ดังนั้น ไคโตซานที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลสูงจะมีอัตราการดูดซับไอออนของโลหะสูง นอกจากนี้ ความสามารถในการดูดซับยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกหลายประการ เช่น ความเป็นผลึก และความสามารถในการดูดน้ำของไคโตซาน (Robert, 1992)

2.6 เยื่อกรองไคโตซาน (Chitosan membrane)

ปัจจุบันปัญหาขาดแคลนน้ำบริโภคเพิ่มมากขึ้น ถึงแม้ว่าโลกจะมีองค์ประกอบของน้ำอยู่ 2 ใน 3 ส่วนก็ตาม แต่น้ำส่วนใหญ่เป็นน้ำทะเล ดังนั้น จึงเริ่มมีการนำเอาน้ำทะเลกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น ใช้ RO ในการกำจัดเกลือออกจากน้ำทะเล เยื่อกรองไคโตซานมีขนาดรูพรุนเล็กมากในระดับนาโนเมตรเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ นอกจากนี้ ไคโตซานเป็นสารที่ปลอดภัยจึงเหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม

2.6.1 เยื่อกรองไคโตซาน

ในปัจจุบันเริ่มมีการนำไคโตซานมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเป็นเยื่อกรอง เพื่อใช้ในการกรองไวน์ให้ใส (Muzzarelli, 1977) การกำจัดเกลือออกจากน้ำ (บุญชู, 2547) โดยการใช้เยื่อกรองไคโตซาน อย่างไรก็ตาม ยังเป็นงานวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งวิธีการผลิตเยื่อกรองไคโตซานสามารถทำได้โดยละลายไคโตซานในกรดอะซิตริก 1 % โดยน้ำหนัก นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นและทำให้เป็นกลางโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Trang และคณะ, 2005) ดังขั้นตอนการผลิตในรูปที่ 2.5

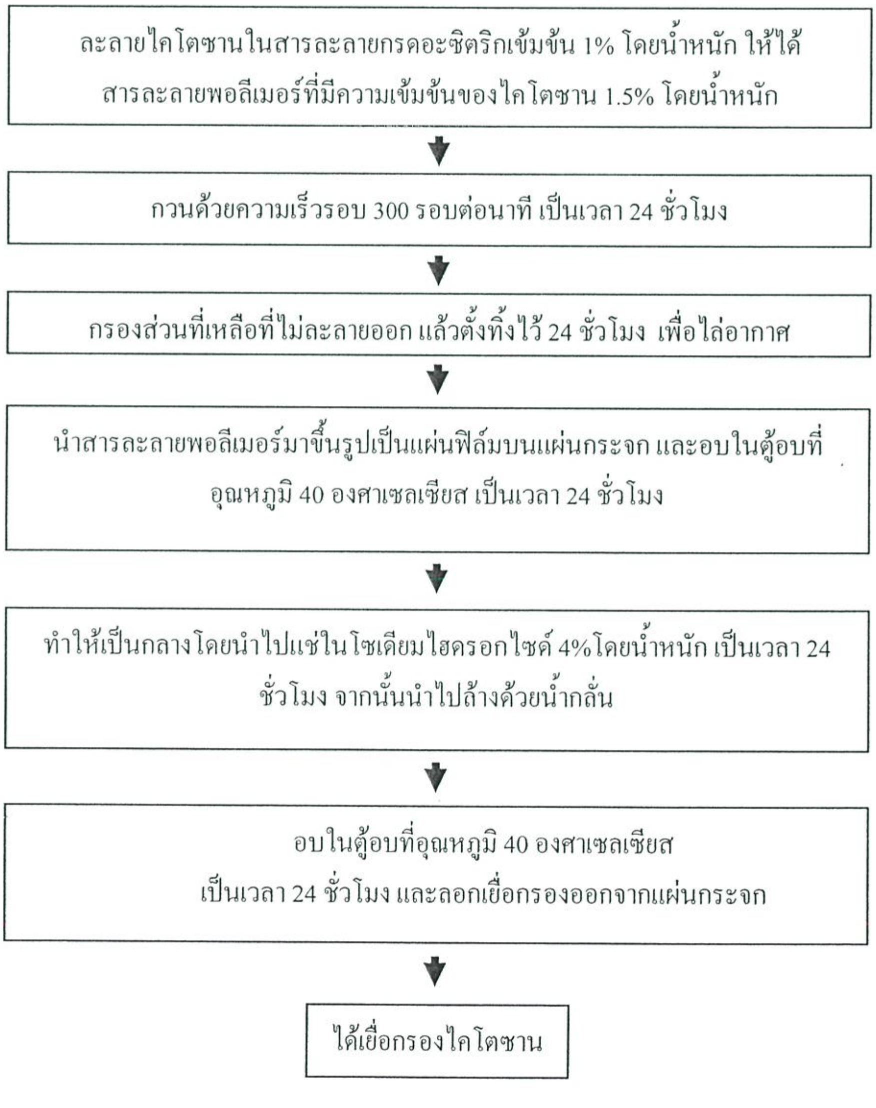
2.6.2 หลักการกรองของเยื่อกรองไคโตซาน

หลักการในการทำงานของเยื่อกรองไคโตซาน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานและวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 หลักการใหญ่ ๆ ดังนี้

2.6.2.1 การกรองแบบออสโมซิสผันกลับเป็นกระบวนการที่ใช้แผ่นสังเคราะห์ในการแยกน้ำออกจากสารโมเลกุลเล็กที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 500 กรัมต่อโมล (เช่น เกลือ น้ำตาล) โดยการป้อนสารละลายภายใต้ความดันสูงผ่านเยื่อแผ่นที่มีคุณสมบัติเลือกผ่านน้ำ การประยุกต์ใช้งานหลักของออสโมซิสผันกลับ ได้แก่ การผลิตน้ำดื่มจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล การผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง (ultrapure water) จากหลักการออสโมซิล (osmssis) สารละลายเข้มข้นและเจือจางบรรจุอยู่ในเซลล์ที่มีเยื่อแผ่นเลือกผ่านน้ำ เนื่องจากน้ำในสารละลายเจือจางมีศักยภาพทางเคมี (chemical potential) สูงกว่า จึงแพร่ผ่านเยื่อแผ่นไปยังด้านสารละลายเข้มข้น เมื่อถึงสมดุลศักยภาพทางเคมีของน้ำทั้งสองด้านของสารละลายเท่ากัน ผลต่างของความดันของสารละลายทั้งสองด้าน $\Delta\pi$ ก็คือผลต่างของความดันออสโมซิส (osmotic pressure) ในขณะที่หลักการเกิดออสโมซิสผันกลับ (reverse osmssis) คือมีการให้ความดัน (P) ทางด้านสารละลาย

เข้มข้น โดย P >> $\Delta\pi$ จะทำให้น้ำทางด้านสารละลายเข้มข้นแพร่ผ่านเยื่อแผ่นไปยังด้านสารละลายเจือจาง โดยเป็นการแพร่กลับทิศทาง (รัตนา, 2543)

2.6.2.2 การกรองแบบนาโนฟิลเตรชัน เป็นกระบวนการที่มีหลักการเหมือนออสโมซิสผันกลับ ใช้สำหรับแยกสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น เกลืออนินทรีย์ สารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล กลูโคส ซูโครส กรดอินทรีย์ และ สารอินทรีย์ที่เจือปนในน้ำทิ้ง เหมาะสำหรับแยกตัวถูกละลายที่มีขนาดใหญ่กว่า NaCl แต่น้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 500 กรัมต่อโมล เยื่อแผ่นที่ใช้ในนาโนฟิลเตรชันส่วนใหญ่เป็นเยื่อแผ่นเชิงประกอบที่มีขนาดรูพรุนของชั้นผิวประมาณ 2 นาโนเมตร และมีโครงสร้างที่เปิดกว่าเยื่อแผ่นออสโมซิสผันกลับ อาจพิจารณาว่านาโนฟิลเตรชันคือ ออสโมซิสผันกลับแบบความดันต่ำ (Low pressure reverse osmosis, LPRO) เพราะช่วงความดันในการดำเนินการประมาณ 10-20 bar สูงกว่าอัลตราฟิลเตรชัน (2-10 bar) และต่ำกว่าออสโมซิสผันกลับมาก (รัตนา, 2543)



รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตเยื่อกรองไคโตซาน (Trang และคณะ, 2005)

2.6.3 ลักษณะของเยื่อกรอง (Membrane characterization)

การเลือกเยื่อกรองเพื่อแยกหรือเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายหรือก๊าซผสม จำเป็นต้องทราบข้อมูลชนิดและขนาดขององค์ประกอบที่ต้องการแยก และต้องทราบลักษณะของเยื่อกรองที่นำมาใช้ ซึ่งหมายถึงลักษณะเกี่ยวกับโครงสร้าง ขนาดรูพรุน ความสามารถในการกักกันสารของเยื่อกรอง ซึ่งเป็นตัวช่วยบอกการเลือกเมมเบรนให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ ซึ่งสามารถบอกลักษณะของเยื่อกรองได้ดังนี้

2.6.3.1 ลักษณะพื้นผิว และภาคตัดขวางของเยื่อกรองทำให้ทราบว่าเยื่องกรองมีโครงสร้างแบบใด มีขนาดของรูพรุนเท่าใด ซึ่งโดยทั่วไปเยื่อกรองที่ใช้ในระบบออสโมซิสผันกลับเป็นเยื่อแบบแน่นไม่มีรูพรุน การผ่านเยื่อกรองของสารเกิดจากความสามารถในการละลายและการแพร่ (solution-diffusion) ในเยื่อกรอง โดยทำให้ความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลายต้องมีค่าสูงอยู่ในช่วง 1-10 เมกะปาสกาล และในระบบนาโนฟิลเตรชันส่วนใหญ่เป็นเยื่อแผ่นเชิงประกอบคือประกอบด้วยชั้นผิวที่มีโครงสร้างแน่น อยู่บนชั้นรองรับที่มีรูพรุนใหญ่กว่า ความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลายต้องมีค่าอยู่ในช่วง 1-2 เมกะปาสกาล

2.6.3.2 เทนไซล์โมดูลัส บ่งบอกการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาตรหรือช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลีเมอร์ ถ้าค่าเทนไซล์โมดูลัสลดลง ส่งผลให้ปริมาตรหรือช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลีเมอร์เพิ่มขึ้น การซึมผ่านของสารก็เปลี่ยนแปลงเช่นกัน (รัตนา, 2543)

2.6.4 การใช้ประโยชน์เยื่อกรองไคโตซาน

2.6.4.1 ใช้เยื่อกรองไคโตซานสำหรับการแยกน้ำออกจากสารละลายเอทานอล โดยผลิตเยื่อกรองจากไคโตซานผสมกับพอลีเมอร์อื่นๆ เช่น ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส (Hydroxyethylcellulose, HEC) และไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (Hydroxypropylcellulose, HPC) เพื่อให้ประสิทธิภาพในการกรองเพิ่มขึ้น (อำไพ และรัตนา, 2544)

2.6.4.2 ใช้เยื่อกรองไคโตซานในการบำบัดน้ำเสีย เช่น น้ำเสียที่เกิดจากขบวนการล้างเห็ดดองเค็มของอุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในการกรองแยกคอลลอย์ และโลหะหนัก เช่น คอปเปอร์ (Cu), โครเมียม (Cr) ออกจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม (Barbara, 2004)

2.6.4.3 ใช้ในการกรองน้ำผลไม้และไวน์ให้ใส (สุปราณี, 2544)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เยาวภา (2534) ได้ศึกษาการผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง 5 ชนิด ได้แก่ กุ้งกุลาดำ กุ้งโอคัก กุ้งลายน้ำตาล กุ้งลายขาว และกุ้งลายหิน พบว่าปริมาณไคตินที่แยกได้จากเปลือกกุ้งทั้ง 5 ชนิด และอัตราส่วนปริมาณไคตินที่แยกได้ต่อปริมาณโปรตีนในเปลือกกุ้งมีความแตกต่างกัน โดยพบว่าเปลือกกุ้งลายน้ำตาลให้ปริมาณไคตินสูงสุด สภาวะที่ใช้ในการกำจัดแร่ธาตุ

นั้นจะแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เป็น 1 M และ 2 M และเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง โดยใช้มีอัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อปริมาณกรดเป็น 1:10, 1:15, 1:20 พบว่าปริมาณเถ้าในทุกสภาวะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าต่ำกว่า 0.2% หลังจากนั้นได้ศึกษาสภาวะที่ใช้ในการกำจัดโปรตีนด้วยสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 2 M โดยแปรอัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อปริมาณด่างเป็น 1:10 และ 1:20 โดยใช้อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ อุณหภูมิห้อง, 55, 80 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโปรตีนจะละลายได้ดีขึ้น โดยอัตราส่วนของเปลือกกุ้งต่อปริมาณด่าง ไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนในไคตินอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นเดียวกับการลดขนาดเปลือกกุ้ง คือ ขนาด 16 – 25, 25 – 35, 35 – 50 และ 50 – 100 เมช ก็ไม่มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนในไคตินแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้ยังพบว่า Infrared spectrum ของไคตินที่แยกได้จากเปลือกกุ้ง 5 ชนิด และไคตินบริสุทธิ์มีตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันที่เหมือนกันทุกประการ

นอกจากนี้ ยังได้ทำการศึกษาการผลิตไคโตซานจากไคตินที่ได้จากเปลือกกุ้ง 5 ชนิด โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนของปริมาณไคตินต่อปริมาณด่างเป็น 1:20 ที่อุณหภูมิ 140 ± 10 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนนาน 4 ชั่วโมง พบว่าปริมาณไคโตซานที่ผลิตได้ และปริมาณการกำจัดหมู่อะซิทิลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมมั่น 95% และสารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้น 0.5% ในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.55% (w/v) มีความหนืดอยู่ในช่วง 50.7 – 57.4 เซนติพอยซ์ (cps) นอกจากนี้พบว่า Infrared spectrum ของไคโตซานที่ผลิตได้จากเปลือกกุ้ง 5 ชนิด และไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้าในต่างประเทศมีตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญเหมือนกันทุกประการ

Chang และคณะ (1997) ได้ศึกษากระบวนการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคตินในเปลือกกุ้งโดยใช้สารละลายด่าง โดยปัจจัยที่ศึกษา คือ ความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิ และอัตราส่วนของสารละลายต่อไคติน โดยสภาวะที่ใช้ทดลองมีความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์อยู่ในช่วง 10 ถึง 60% อุณหภูมิอยู่ในช่วง 70 – 150 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัมของไคตินเป็น 5 ถึง 45 มิลลิลิตร พบว่าค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยที่ผลของอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณไคตินไม่ค่อยมีผลต่อค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล พบว่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลมีค่ามากที่สุด ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 60% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิ 107 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัมของไคตินเป็น 26 : 1 (v/w)

Peniston และ Johnson (1980) ได้ศึกษาการผลิตไคโตซานโดยใช้สารละลายด่างเข้มข้น 30-60% โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 80-160 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถผลิตไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล 20-100% และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ จะแปรผกผัน

กับสารละลายด่าง และอุณหภูมิที่ใช้ โดยการทดลองนี้ทำภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน การเกิดปฏิกิริยาการจำกัดหมู่อะซิทิลให้เหลือ 4.5% โดยใช้สารละลายด่าง NaOH เข้มข้น 50 % อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง แต่ในขณะที่ใช้ความเข้มข้น 40% NaOH จะใช้เวลานานถึง 8 ชั่วโมง

Trang และคณะ (2005) ได้ศึกษาผลของค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลต่อลักษณะของเยื่อกรองไคโตซาน โดยวิธีการเตรียมเยื่อกรองไคโตซาน ด้วยไคโตซานที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล ที่ 75%, 87% และ 96% แต่มีค่ามวลโมเลกุลที่เท่ากัน มาละลายในกรดอะซิตริกเข้มข้น 0.17 M ให้ได้สารละลายพอลีเมอร์ 0.5% โดยน้ำหนัก จากนั้นนำมากรองแล้วนำไปขึ้นรูปใน Plastic plate ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แล้วนำมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แล้วนำเยื่อกรองไคโตซานมาทดสอบค่าความต้านแรงดึงของเยื่อกรองไคโตซาน การยืดขยายภายใต้แรงกดดัน และค่าการซึมผ่านน้ำ จากการศึกษาพบว่า ไคโตซานที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิลที่ 75% มีค่าการซึมผ่านน้ำมากกว่าไคโตซานที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล 87% และ 96% ตามลำดับ แต่ไคโตซานที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล 87% และ 96% ค่าความต้านแรงดึงของเยื่อกรองไคโตซานและการยืดขยายภายใต้แรงกดดันมากกว่าไคโตซานที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล ที่ 75%

บุญชู (2545) ได้ศึกษาการเตรียมและลักษณะสมบัติของเยื่อกรองไคโตซานในการแยกเกลือออกจากน้ำเค็ม โดยทำการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งมีค่ามวลโมเลกุล 1.4×10^6 กรัมต่อโมล เพื่อเตรียมเป็นเยื่อกรองโดยใช้สารละลายไคโตซานเข้มข้น 1.5% โดยน้ำหนัก ในกรดอะซิตริกเข้มข้น 1% ทดสอบการแยกเกลือของเยื่อกรองในโมดูลแบบแผ่นและกรองจากน้ำเกลือสังเคราะห์เข้มข้น 4% โดยน้ำหนัก พบว่าเยื่อกรองที่เตรียมโดยใช้ระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลาย 4 ชั่วโมง ให้ค่าร้อยละการแยกสูงสุดเท่ากับ 80.83 ± 4 ให้ฟลักซ์ 0.08 ± 2 ลิตรต่อตารางเมตร ผลการทดสอบเยื่อกรองไคโตซานที่เตรียมขึ้นกับนำล้างเห็ดดองเค็มที่มีค่าความเค็มอยู่ระหว่าง ร้อยละ 2-2.5 โดยพบว่าสามารถแยกเกลือและสารอินทรีย์ได้ โดยให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือสูงสุดเท่ากับ 82.93 ± 2.57 ค่าร้อยละการกำจัดซีโอดีสูงสุด เท่ากับ 95.33 ± 0.24

Feng-Chin และคณะ (1999) ได้ศึกษาการเตรียมไคโตซาน โดยใช้สภาวะดังนี้ คือ ขั้นตอนการกำจัดโปรตีนนำเปลือกกุ้งแช่ในสารละลาย NaOH 5 % เป็นเวลา 18 ชั่วโมง อัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อสารละลายเท่ากับ 1:10 ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุแช่ในสารละลาย HCl 5 % เป็นเวลา 18 ชั่วโมง อัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อสารละลายเท่ากับ 1:10 ขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิลแช่ในสารละลาย NaOH 50 % เป็นเวลา 18 ชั่วโมง อัตราส่วนไคตินต่อสารละลายเท่ากับ 1:10 พบว่ามีค่าการกำจัดหมู่อะซิทิลเท่ากับ 90%

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
2) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab-Scan
3) สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
4) สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab-Scan
5) กรดอะซิตริก (CH_3COOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
6) กรดบอริก (H_2BO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab-Scan
7) โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทเลต (KHP) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
8) สารละลายโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต ($NaKC_4H_4O_6.4H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
9) โพแทสเซียมโบร์ไมด์ (KBr) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab-Scan
10) สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
11) สารละลาย Bovine Serum Albumin (BSA) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka
12) ฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์ (Phenolphthalein Indicator) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) หม้อนึ่งความดันไอ รุ่น 1915X บริษัท All American
2) เครื่อง X-ray fluorescence spectrophotometer รุ่น SRS 3400 บริษัท Bruker
3) เครื่อง Gel permeation Chromatography (GPC) วิเคราะห์โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)
4) เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) รุ่น Spectrum GX บริษัท Perkin Elmer Ltd
5) เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter) รุ่น 215 บริษัท Denver Instrument

6) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) บริษัท Wissenschaftlich-Technischc Werkstatten GMBH

7) เครื่องกรองสูญญากาศ และชุดกรอง

8) ตู้อบ (Oven) รุ่น B 25 F บริษัท Fisher Scientific

9) เตาเผา (Muffle) รุ่น 6000 บริษัท Thermolyne

10) เครื่องบด (Rocklabs) รุ่น P.O. BOX 18142 บริษัท Auckand

11) ชุดกรอง ประกอบด้วย ถังก๊าซไนโตรเจน (N_2), Dead-end stirred cell filtration unit รุ่น 8200 บริษัท Amicom, Pressure Guage และถังเก็บน้ำป้อนเข้าระบบ (Feed Reservoir) ความจุ 10 ลิตร

12) เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.2 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ เปลือกกุ้งขาว (*Penaeus vanamei*) ไม่ติดส่วนหัว ซึ่งเป็นกากของเสียที่มีปริมาณมากในอุตสาหกรรมส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งได้มาจากบริษัท ไทยแลนด์ฟิชเชอรี่โกลด์สตอเรจ จำกัด (มหาชน) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบมีดังนี้

1) นำเปลือกกุ้งสด (ไม่ติดส่วนหัว) มาทำความสะอาดด้วยน้ำให้สะอาด

2) จากนั้นนำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 3 วัน นำไปวัดความชื้น

3) ชั่งน้ำหนักเปลือกกุ้ง 1 กิโลกรัม นำไปบดด้วยเครื่องบดเอกประสงค์ให้เป็นผง แล้วคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อน

4) นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5) ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเปลือกกุ้ง ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า, ปริมาณแคลเซียม, ปริมาณแมกนีเซียม, ปริมาณโซเดียม และโปแตสเซียม (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก1.1-ก1.3, ภาคผนวก ก)

6) นำวัตถุดิบที่คัดแยกขนาดแล้วบรรจุในภาชนะปิดมิดชิด เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

3.2.2 การศึกษาวิธีการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว โดยใช้สภาวะที่ความดันและอุณหภูมิสูง

การสกัดไคโตซานในงานวิจัยนี้ใช้ชนิดและปริมาณสารเคมีตามวิธีของ Feng-Chin และคณะ (1999) ซึ่งสามารถสกัดไคโตซานที่มีค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล 90 %

3.2.2.1. การกำจัดโปรตีน

1) นำเปลือกกุ้งขนาด 30-40 เมช ที่เตรียมไว้จากข้อ 3.2.1 จำนวน 10 กรัม แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วนน้ำหนักเปลือกกุ้งต่อปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:10

2) กำจัดโปรตีนด้วยหม้อนึ่งความดันไอ ที่ความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108, 115 และ 121 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3) ล้างด้วยน้ำกลั่นจน pH เป็นกลาง โดยวัดค่าพีเอชในน้ำล้าง

4) วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่กำจัดได้ในเปลือกกุ้ง ด้วยวิธีมาตรฐานของ AOAC (1984) (ดูรายละเอียดภาคผนวก ก1.4)

5) ตัวควบคุมทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 แต่กำจัดโปรตีนที่สภาวะความดันและอุณหภูมิบรรยากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

6) เปรียบเทียบการกำจัดโปรตีนกับวิธีสกัดไคโตซานของ Feng-Chin และคณะ (1999) โดยแช่ในสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (อัตราส่วนน้ำหนักเปลือกกุ้งต่อปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:10) ที่สภาวะความดันและอุณหภูมิบรรยากาศเป็นเวลา 18 ชั่วโมง

7) ทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

8) นำสภาวะความดัน และอุณหภูมิในการกำจัดโปรตีนได้ดีที่สุดมาทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ใช้ระยะเวลาในการกำจัดต่างกัน คือ ½, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.2.2.2 การกำจัดแร่ธาตุ

การกำจัดแร่ธาตุหลังการกำจัดโปรตีนออกจากเปลือกกุ้ง จะได้ไคติน มีรายละเอียดดังนี้

1) นำเปลือกกุ้งที่กำจัดโปรตีนโดยใช้สภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 3.2.2.1 จำนวน 10 กรัม แช่ในสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) ที่มีความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วนน้ำหนักเปลือกกุ้งต่อปริมาตรสารละลายไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1:10

2) กำจัดแร่ธาตุด้วยหม้อนึ่งความดันไอ ที่ความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

(อุณหภูมิ 108, 115 และ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3) ล้างด้วยน้ำกลั่นจน pH เป็นกลาง โดยวัดค่าพีเอชในน้ำล้าง

4) วิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุที่เหลืออยู่ในไคตินที่สกัดได้ โดยนำไปวิเคราะห์ด้วย เครื่อง X-ray fluorescence spectrophotometer (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก1.3, ภาคผนวก ก)

5) ตัวควบคุมทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 แต่กำจัดแร่ธาตุที่สภาวะความดันและอุณหภูมิบรรยากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

6) เปรียบเทียบการกำจัดแร่ธาตุกับวิธีการสกัดไคโตซานของ Feng-Chin และคณะ (1999) โดยแช่ในสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) ที่มีความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (อัตราส่วนน้ำหนัก เปลือกกุ้งต่อปริมาตรสารละลายไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1:10) ที่สภาวะความดันและอุณหภูมิบรรยากาศเป็นเวลา 18 ชั่วโมง

7) ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

8) นำสภาวะความดัน และอุณหภูมิ ที่มีการกำจัดแร่ธาตุได้ดีที่สุด มาทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ใช้ระยะเวลาในการกำจัดต่างกัน คือ 10, 20, 30 นาที และ 1, 3, 5 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.2.2.3 การกำจัดหมู่อะซิทิล

การกำจัดหมู่อะซิทิลออกจากไคติน จะได้ไคโตซาน มีรายละเอียดดังนี้

1) นำไคตินที่กำจัดแร่ธาตุโดยใช้สภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 3.2.2.2 จำนวน 5 กรัม แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 50 มิลลิลิตร (อัตราส่วนน้ำหนักเปลือกกุ้งต่อปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:10)

2) กำจัดหมู่อะซิทิลด้วยหม้อนึ่งความดันไอ ที่ความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108, 115 และ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3) ล้างด้วยน้ำกลั่นจน pH เป็นกลาง โดยวัดค่าพีเอชในน้ำล้าง

4) วิเคราะห์ปริมาณหมู่อะซิทิลที่กำจัดได้ ในไคโตซาน ด้วยเครื่อง Fourier Transfrom Infrared Spectrophotometer (FT-IR) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก2, ภาคผนวก ก)

5) ตัวควบคุมทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 แต่กำจัดหมู่อะซิทิลที่สภาวะความดันและอุณหภูมิบรรยากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

6) เปรียบเทียบการกำจัดหมู่อะซิทิลกับวิธีกำจัดหมู่อะซิทิลของ Feng-Chin และคณะ (1999) โดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (อัตราส่วนน้ำหนักไคตินต่อปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:10) ที่สภาวะ

ความดันและอุณหภูมิบรรยากาศเป็นเวลา 18 ชั่วโมง

7) ทำการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ

8) นำสภาวะความดัน และอุณหภูมิที่มีการกำจัดหมู่อะซิทิลได้ดีที่สุดมาทำการทดลองเช่น เดียวกับข้อ 1-5 แต่ใช้ระยะเวลาในการกำจัดต่างกัน คือ ½, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.2.2.4 การศึกษาผลของขนาดของเปลือกกุ้งต่อคุณลักษณะของไคโตซาน

การศึกษาผลของขนาดเปลือกกุ้งต่อคุณลักษณะของไคโตซาน โดยใช้ขนาดของเปลือกกุ้ง ได้แก่ 30-40 เมช, < 10 เมช และ เปลือกกุ้งที่ไม่ได้บด มีรายละเอียดดังนี้

1) นำเปลือกกุ้งที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.1 มาบดด้วยเครื่องบดเอกประสงค์และร่อนแยกขนาดให้ได้ 30-40 เมช, บดด้วยเครื่องบดที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้ขนาด < 10 เมช และไม่บด

2) สกัดโปรตีน โดยใช้เปลือกกุ้งขนาด 30-40 เมช 10 กรัม แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (อัตราส่วนน้ำหนักเปลือกกุ้งต่อปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:10) จำนวน 100 มิลลิลิตร สกัดที่สภาวะความดัน และอุณหภูมิ ที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาในข้อ 3.2.2.1

3) กำจัดแร่ธาตุ โดยนำเปลือกกุ้งขนาด 30-40 เมช ที่ผ่านการกำจัดโปรตีน จำนวน 10 กรัม แช่ในสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) ที่มีความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (อัตราส่วนน้ำหนักเปลือกกุ้งต่อปริมาตรสารละลายไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1:10) จำนวน 100 มิลลิลิตร สกัดที่สภาวะความดัน และอุณหภูมิ ที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาในข้อ 3.2.2.2

4) กำจัดหมู่อะซิทิล โดยนำเปลือกกุ้งที่ผ่านการกำจัดแร่ธาตุจำนวน 5 กรัม โดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (อัตราส่วนน้ำหนักเปลือกกุ้งต่อปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:10 w/v) จำนวน 50 มิลลิลิตร สกัดที่สภาวะความดัน และอุณหภูมิที่เหมาะสมได้จากการศึกษาในข้อ 3.2.2.3

5) ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

6) ศึกษาคุณสมบัติของไคโตซาน ได้แก่ ค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า น้ำหนักโมเลกุล และลักษณะของสีเปรียบเทียบกับไคโตซานที่มีจำหน่ายทางการค้า ดังตารางที่ 3.1

7) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ใช้เปลือกกุ้งขนาด < 10 เมช และ เปลือกกุ้งแบบไม่บด

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะของไคโตซาน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ปริมาณความชื้น	AOAC 7.024 (Cunniff, 1984) (ภาคผนวก ก1.1)
ปริมาณเถ้า	AOAC 7.009 (Cunniff, 1984) (ภาคผนวก ก1.2)
ค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล	Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) (ภาคผนวก ก1.4)
น้ำหนักโมเลกุล	Gel Permeation Chromatograph (GPC)

3.2.2.5 คำนวณต้นทุนการผลิตไคโตซาน

คำนวณต้นทุนการผลิตไคโตซานที่ได้จากการทดลอง เปรียบเทียบกับราคาของไคโตซานที่มีจำหน่ายทางการค้า

3.2.3 การแยกเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้เยื่อกรองไคโตซาน

3.2.3.1 การเตรียมเยื่อกรองไคโตซาน

การเตรียมเยื่อกรองไคโตซานในงานวิจัยนี้ใช้ชนิดและปริมาณสารเคมีตามวิธีของ Trang และคณะ (2005)

1) ละลายไคโตซานในสารละลายกรดอะซิตริกเข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก ให้ได้สารละลายพอลีเมอร์ที่มีความเข้มข้นของไคโตซาน 1.5% โดยน้ำหนัก

2) กวนด้วยความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที จนกระทั่งไคโตซานละลายหมด

3) กรองส่วนที่เหลือที่ไม่ละลายออก แล้วตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อไล่อากาศ

4) นำสารละลายพอลีเมอร์มาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบนแผ่นกระจก (ดังรูปที่ 3.1)

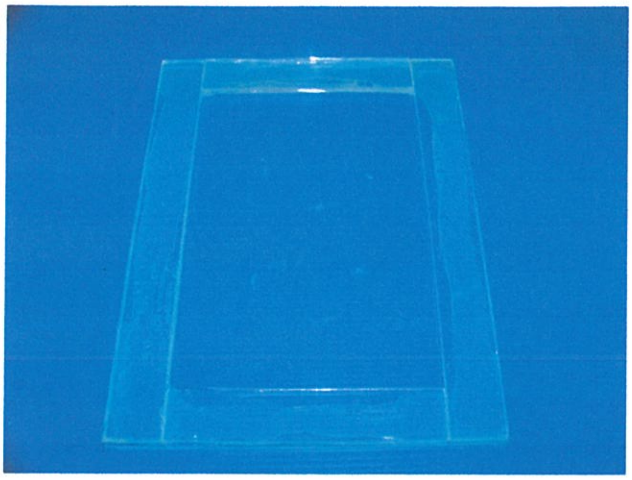
5) อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6) ทำให้เป็นกลางโดยการนำไปแช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่น

7) นำเยื่อกรองไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

8) ลอกเยื่อกรองออกจากแผ่นกระจก เก็บไว้ในโถดูดความชื้น

9) ทำการตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้านหน้า และ ภาคตัดขวาง ค่าความต้านแรงดึง ร้อยละการยืดตัว ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (water content) ค่าการเปลี่ยนความหนา (thickness change) ของเยื่อกรองไคโตซาน โดยวิธีดังแสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แผ่นกระจกที่ใช้ในการขึ้นรูปเยื่อกรองไคโตซาน

ตารางที่ 3.2 วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะของเยื่อกรองไคโตซาน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
สภาพพื้นผิวด้านหน้า และ ภาคตัดขวาง	Scanning Electron Microscope
ค่าความต้านแรงดึง	Universal Testing Maehine (ASTM, 1991)
ร้อยละการยืดตัว	Universal Testing Maehine (ASTM, 1991)
ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ	ภาคผนวก ก3
ค่าการเปลี่ยนความหนา	ภาคผนวก ก3

3.2.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการกรองน้ำทะเลด้วยเยื่อกรองไคโตซาน

ตัวอย่างน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง สุ่มน้ำทะเลจากหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี วันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2550

1) วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำทะเล พารามิเตอร์ที่ศึกษา แสดงในดังตารางที่ 3.3

2) ประกอบชุดเยื่อกรอง ซึ่งประกอบด้วย ถังก๊าซไนโตรเจน (N_2), Dead-end stirred cell filtration unit, Pressure Guage และถังเก็บน้ำป้อนเข้าระบบ (Feed Reservoir) ความจุ 10 ลิตร (รูปที่ 3.2)

3) ตัดเยื่อกรองไคโตซานเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.3 เซนติเมตร จากเยื่อกรองที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.3.1

4) กรองน้ำทะเลครั้งที่ 1 ด้วยเยื่อกรองไคโตซานที่ผลิตได้ที่ความเข้มข้นของไคโตซานที่ 1.5% (w/v) ที่สภาวะความดัน 75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (เนื่องจากชุดเยื่อกรองที่ใช้ใน

การศึกษาสามารถรับแรงดันสูงสุดได้ 75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

5) วัดอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านเยื่อกรองไคโตซาน

6) นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองจากข้อ 4 ไปทำการกรองอีก 1 รอบ (กรองครั้งที่ 2) โดยใช้เยื่อกรองไคโตซานแผ่นใหม่ โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในเยื่อกรองแต่ละแผ่น

7) นำน้ำตัวอย่างหลังจากผ่านการกรองด้วยเยื่อกรองไคโตซานไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และ ปริมาณคลอไรด์

ตารางที่ 3.3 วิธีวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำทะเล

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
พีเอช	พีเอชมิเตอร์
ค่าการนำไฟฟ้า	เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า
ปริมาณคลอไรด์	หาปริมาณคลอไรด์ด้วยวิธีโมฮร์ (ดูรายละเอียดภาคผนวก ก4)

รูปที่ 3.2 ชุดเยื่อกรองและการประกอบชุดเยื่อกรอง

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะในการสกัดไคซานจากเปลือกกุ้งขาว ภายใต้สภาวะที่มีความดันและอุณหภูมิสูง โดยแบ่งขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) กระบวนการกำจัดโปรตีน 2) กระบวนการกำจัดแร่ธาตุ และ 3) กระบวนการกำจัดหมู่อะซิทิล จากนั้นนำไคโตซานที่สกัดได้ไปประยุกต์ใช้ในการผลิตเยื่อกรองไคโตซานเพื่อใช้ในการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล

4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเปลือกกุ้ง

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเปลือกกุ้งขาว (ไม่ติดส่วนหัว) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ พบว่าปริมาณความชื้นของเปลือกกุ้งหลังจากตากแดดเป็นเวลา 3 วัน มีความชื้น 4.98 ± 0.10% หลังจากนั้นนำเปลือกกุ้งไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมี แสดงดังตารางที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตาราง ข1.1-ข1.3, ภาคผนวก ข) และผลการศึกษาการคัดแยกขนาดของเปลือกกุ้ง แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเปลือกกุ้งขาว

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกุ้งขาว	ปริมาณ (%)
ความชื้น (Moisture Content)	3.70 ± 0.07
เถ้า (Ash Content)	24.38 ± 0.22
แคลเซียม (Ca)	47.90 *
แมกนีเซียม (Mg)	2.16*
โปแตสเซียม (K)	1.04*
โซเดียม (Na)	1.60*
โปรตีน (Protein content)	46.73 ± 0.01

หมายเหตุ : * วิเคราะห์โดยใช้ X-ray fluorescence spectrophotometer (XRF)

จากตารางที่ 4.1 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกกุ้งขาวประกอบด้วยแคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบส่วนใหญ่ (47.90%) รองลงมาคือโปรตีน (46.73%) แมกนีเซียม (2.16%) โซเดียม

(1.60%) และโปแตสเซียม (1.04%) ตามลำดับ และพบว่ามีปริมาณความชื้น (3.70%) และปริมาณเถ้า (24.38%)

ตารางที่ 4.2 ขนาดของเปลือกกุ้งที่คัดแยกได้

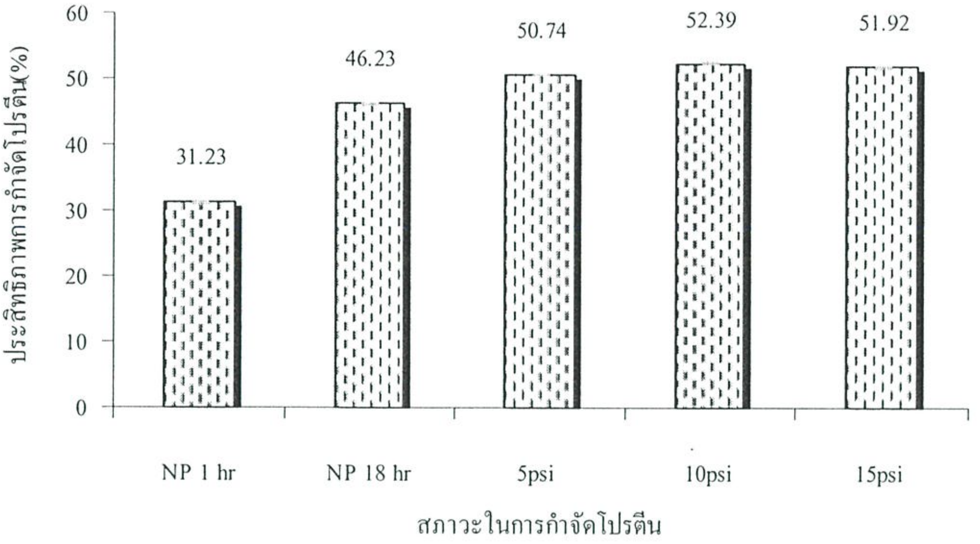
ขนาดของเปลือกกุ้ง (เมช)	**ปริมาณ (%)**
> 20	6%
20-30	20%
30-40	43%
40-50	18%
<50	13%

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการศึกษาการคัดแยกขนาดของเปลือกกุ้งขาวพบว่า ขนาดที่สามารถคัดแยกได้มากที่สุดคือ ขนาด 30-40 เมช รองลงมาคือ 20-30 เมช, 40-50 เมช, < 50 เมช และ > 20 เมช ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกขนาดที่ 30-40 เมช มาใช้ในการศึกษาการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวโดยใช้สภาวะที่ความดันและอุณหภูมิสูง

4.2 ผลการศึกษาการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวโดยใช้สภาวะที่ความดันและอุณหภูมิสูง

4.2.1 การกำจัดโปรตีน

ผลการสกัดโปรตีนออกจากเปลือกกุ้งขนาด 30-40 เมช โดยแช่ในสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อัตราส่วนน้ำหนักเปลือกกุ้งต่อปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:10 (Feng-Chin และคณะ, 1999) ภายใต้สภาวะที่ความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108, 115 และ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการกำจัดโปรตีนภายใต้สภาวะไม่ให้ความดัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ชุดควบคุม) และ 18 ชั่วโมง แสดง ดังรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตาราง ข2.1, ภาคผนวก ข)

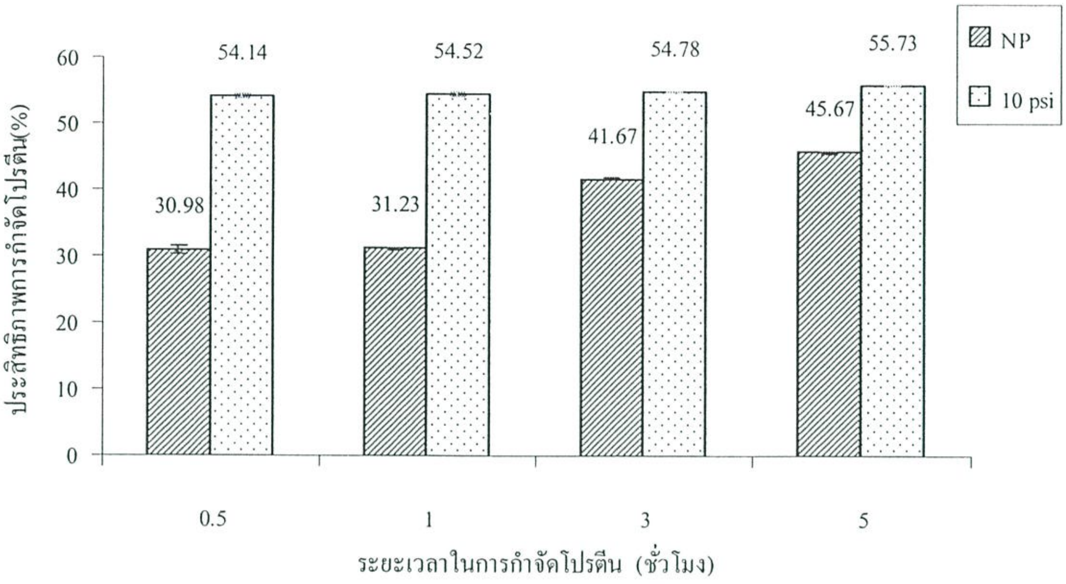


รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนที่สภาวะความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการกำจัดโปรตีนที่สภาวะไม่ให้ความดัน (NP) 1 ชั่วโมง และ 18 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ที่สภาวะความดัน 5, 10, 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีน 50.74, 52.39 และ 51.92% ตามลำดับ ที่สภาวะไม่ให้ความดัน เป็นเวลา 1 และ 18 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีน 31.24 และ 46.23% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าความดันมีผลต่อการกำจัดโปรตีน แต่การเพิ่มความดันจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิที่สูงโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีพลังงานจลน์มากขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาการกำจัดโปรตีนได้เร็วขึ้น โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะแทรกตัวเข้าไปตัดพันธะคอมเพล็กซ์ระหว่างโปรตีนกับไคตินในโครงสร้างของเปลือกกุ้ง ทำให้โปรตีนที่อยู่ในเปลือกกุ้งหลุดออกมาอยู่ในสารละลาย จากการทดลองพบว่ายังคงมีโปรตีนเหลืออยู่ในเปลือกกุ้ง ทั้งนี้เพราะพันธะโคเวเลนท์ที่จับกันระหว่างไคตินกับโปรตีนเป็นพันธะที่มีความแข็งแรง ส่วนที่สภาวะความดันและอุณหภูมิปกติ พบว่าเวลาในการสกัดจะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีน จะเห็นได้จากการสกัดโปรตีนเป็นเวลา 18 ชั่วโมงมีประสิทธิภาพสูงกว่าสกัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (รูปที่ 4.1)

จากผลการทดลองพบว่า ที่สภาวะความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งผลจากการคำนวณทางสถิติโดยใช้ ANOVA พบว่าสภาวะทั้งสามมี

ประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ดูรายละเอียดในตาราง ง1, ภาคผนวก ง)



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนที่สภาวะความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส) ที่เวลา 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง

จากการศึกษาผลของเวลาในการสกัดต่อประสิทธิภาพการสกัดโปรตีน โดยใช้ความดันที่ 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้วไปสกัดโปรตีนที่เวลาต่าง ๆ พบว่า ที่เวลาในการสกัดโปรตีน 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมงมีประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีน 54.14%, 54.52 %, 54.78% และ 55.73% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตาราง ข2.2, ภาคผนวก ข) จากการศึกษาพบสภาวะความดันปกติ เวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อการกำจัดโปรตีนโดยสามารถกำจัดโปรตีนได้เพิ่มขึ้นที่เวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ในขณะที่การสกัดโปรตีนภายใต้สภาวะที่ความดันสูง พบว่าเวลาจะมีผลต่อการกำจัดโปรตีน ทั้งนี้เนื่องจากที่สภาวะความดันสูงจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้โปรตีนละลายได้เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เยาวภา (2543) ดังนั้นสภาวะในการกำจัดโปรตีนที่เหมาะสมคือที่ความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง

4.2.2 การกำจัดแร่ธาตุ

การศึกษาการกำจัดแร่ธาตุออกจากเปลือกกุ้งโดยใช้สภาวะที่ความดันและอุณหภูมิสูง จะศึกษาการกำจัดแคลเซียม เนื่องจากเป็นแร่ธาตุที่พบมากในโครงสร้างของเปลือกกุ้ง โดยวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมด้วยเทคนิค X-ray fluorescence spectroscopy การกำจัดแร่ธาตุออกจากเปลือกกุ้งหลังจากสกัดโปรตีนด้วย 5% NaOH โดยใช้สภาวะที่ความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 115

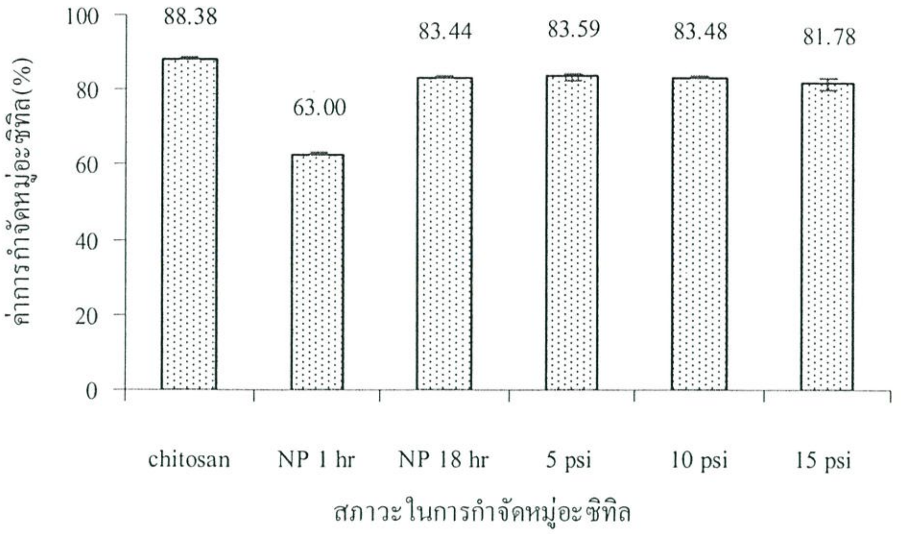
องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง โดยแช่ในเปลือกกุ้งในสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) ที่มีความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อัตราส่วนน้ำหนักเปลือกกุ้งต่อปริมาตรสารละลายไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1:10 (Feng-Chin และคณะ, 1999) ภายใต้สภาวะความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108, 115 และ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) และที่สภาวะไม่ให้ความดัน 1 ชั่วโมง (ชุดควบคุม) และ 18 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าไม่พบแคลเซียมในทุกสภาวะการทดลอง นั่นคือ ความดันไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคลเซียม และจากผลการทดลองการกำจัดแคลเซียมที่เวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง พบว่า สามารถกำจัดแคลเซียมได้ทั้งหมด จึงทำการลดระยะเวลาในการกำจัดแคลเซียมเป็น 10, 20, และ 30 นาที พบว่ากำจัดแคลเซียมได้ทั้งหมดตั้งแต่ 10 นาทีแรก ทั้งนี้อาจเนื่องจากในขั้นตอนการสกัดโปรตีนมีการให้ความดันและอุณหภูมิสูงจึงทำให้แคลเซียมสามารถทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกได้อย่างรวดเร็วในขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ ดังนั้นจึงเลือกสภาวะไม่ให้ความดันเป็นเวลา 10 นาทีในการกำจัดแร่ธาตุ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตออกจากเปลือกกุ้งแสดงดังสมการ 4.1 จะได้แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ซึ่งเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ

$$CaCO_3\,(s) + 2HCl\,(aq) \longrightarrow CaCl_2\,(aq) + CO_2\,(g) + H_2O\,(l) \qquad (4.1)$$

จากการทดลองพบว่าการเพิ่มความดันในการกำจัดแคลเซียม จะทำให้เกิดก๊าซ CO_2 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ของเหลวล้นออกจากภาชนะที่ใช้สกัด

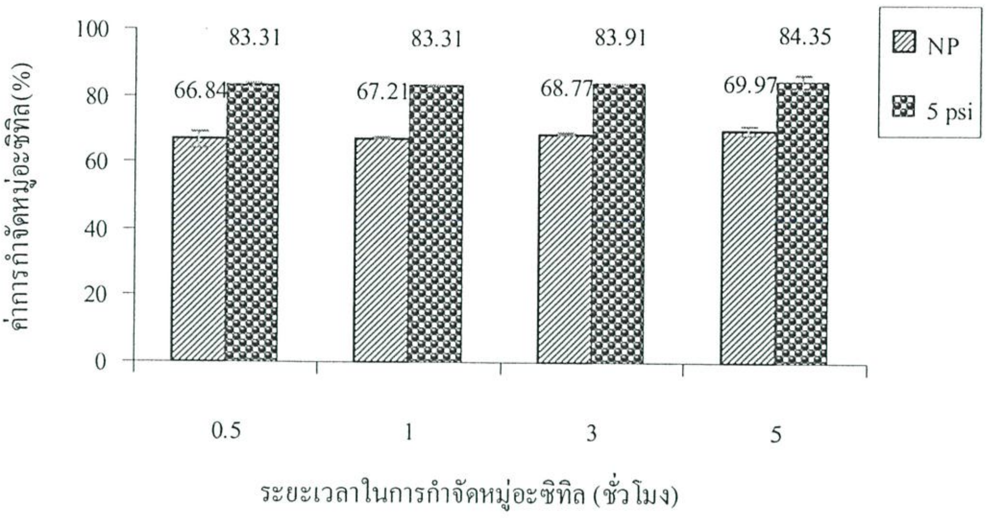
4.2.3 การกำจัดหมู่อะซิทิล

หลังจากกำจัดแร่ธาตุ โดยใช้สภาวะไม่ให้ความดัน เป็นเวลา 10 นาที จะได้ไคตินจากนั้นนำไคตินไปกำจัดหมู่อะซิทิล โดยแช่ไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อัตราส่วนน้ำหนักไคตินต่อปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:10 (Feng-Chin และคณะ, 1999) ภายใต้สภาวะความดันที่ 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108, 115 และ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตาราง ข2.3, ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิล โดยใช้สภาวะที่ความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเปรียบเทียบกับที่สภาวะไม่ให้ความดัน (NP) 1 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง และไคโตซานที่มีจำหน่ายทางการค้า

จากผลการศึกษาการกำจัดหมู่อะซิทิลที่ความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108, 115 และ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) พบว่ามีค่าการกำจัดหมู่อะซิทิลที่ 83.59%, 83.48% และ 81.78% ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดหมู่อะซิทิลใกล้เคียงกับการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วยวิธีของ Feng-Chin และคณะ, 1999 (83.44%) และไคโตซานที่มีจำหน่ายทางการค้า (88.38%) (รูปที่ 4.3) จากผลการทดลองพบว่าความดันมีผลต่อการกำจัดหมู่อะซิทิล แต่การเพิ่มความดันไม่มีผลต่อการกำจัดหมู่อะซิทิล ซึ่งผลจากการคำนวณทางสถิติโดยใช้ ANOVA พบว่าสภาวะทั้งสามมีประสิทธิภาพการกำจัดหมู่อะซิทิลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ดูรายละเอียดในตาราง ง3, ภาคผนวก ง) ดังนั้นจึงเลือกสภาวะความดันที่ 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) มาศึกษาระยะเวลาในการกำจัดกำจัดหมู่อะซิทิล ที่ 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในตาราง ข2.4 ภาคผนวก ข)

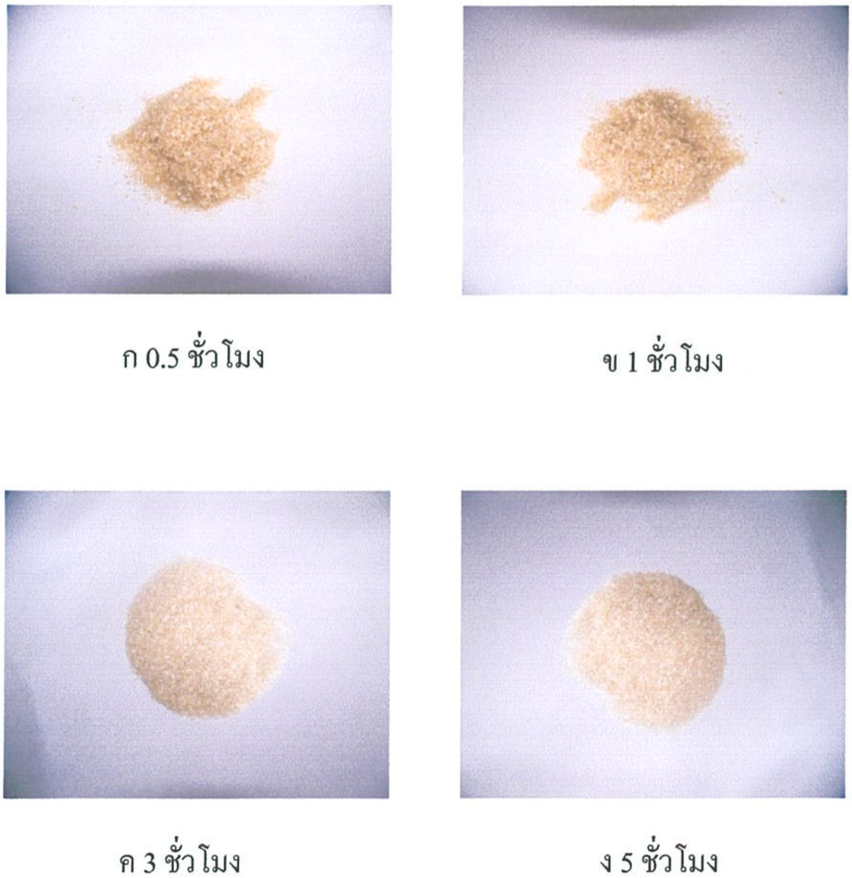


รูปที่ 4.4 ค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล ที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) ที่เวลาต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าค่าการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาในการกำจัด 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง มีค่าการกำจัดเท่ากับ 83.31%, 83.31%, 83.91% และ 84.35% ตามลำดับ ซึ่งผลจากการคำนวณทางสถิติโดยใช้ ANOVA พบว่า ที่เวลาต่างกันมีประสิทธิภาพการกำจัดหมู่อะซิทิลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ดูรายละเอียดในตาราง ง4, ภาคผนวก ง) อย่างไรก็ตาม ที่เวลา 0.5 และ 1 ชั่วโมง สีของไคโตซานยังคงเป็นสีน้ำตาลแสดงว่ายังมีรงควัตถุเจือปนอยู่ แต่ที่เวลา 3 ชั่วโมงจะได้ไคโตซานที่มีสีเนื้อ (รูปที่ 4.5) ดังนั้นจึงเลือกสภาวะความดันที่ 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 3 ชั่วโมงในการกำจัดหมู่อะซิทิล จากผลการทดลองพบว่าความดันมีผลต่อการกำจัดหมู่อะซิทิล แต่การเพิ่มเวลาในการกำจัดหมู่อะซิทิลจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดหมู่อะซิทิลแต่มีผลต่อการกำจัดสารรงควัตถุ ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำหน้าที่เป็นตัวรีเอเจนต์ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ที่พันธะเอไมด์ (Amide- bond) ตรงตำแหน่ง C (2) และเป็นตัวกลางในปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคตินดังสมการ 4.2 ซึ่งการเพิ่มความดันจะส่งผลให้ NaOH ทำปฏิกิริยากับไคตินได้เร็วขึ้น

$$R\text{-}NHCOH_3C + NaOH \longrightarrow R\text{-}NH_2 + CH_3COONa \qquad (4.2)$$

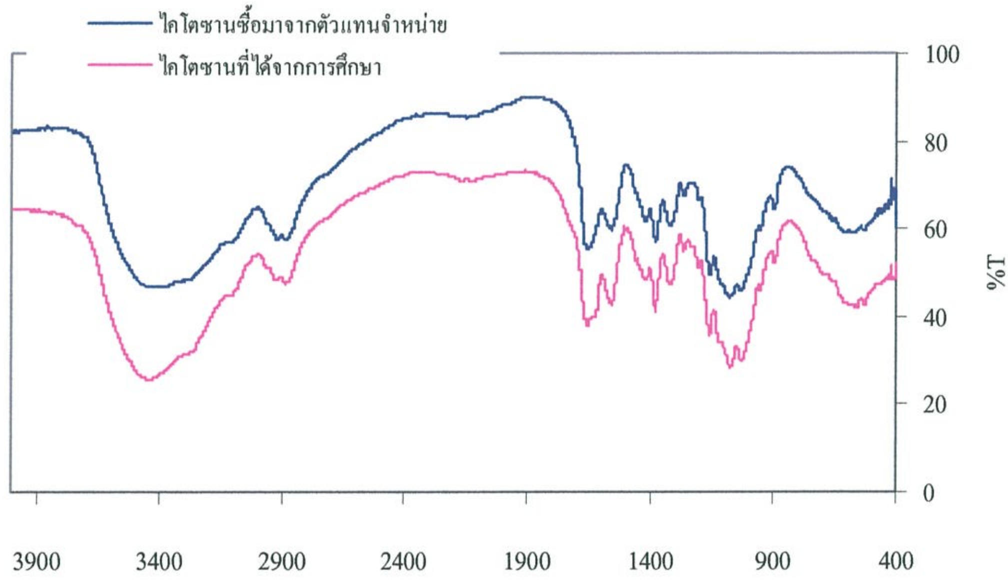
สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว คือ กำจัดโปรตีน ภายใต้สภาวะความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง กำจัดแร่ธาตุ ภายใต้สภาวะไม่ให้ความดัน เป็นเวลา 10 นาที และกำจัดหมู่อะซิทิลที่ 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้ไคโตซานที่มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งของไคโตซานที่ได้จากการศึกษามีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานที่ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2543) กำหนดไว้ (ดูรายละเอียดในตาราง ข2.5 – ข3.2, ภาคผนวก ข) เมื่อเปรียบเทียบ อินฟราเรดสเปกตัมของไคโตซานที่ได้จากการจำหน่ายทางการค้ากับไคโตซานที่ได้จากการศึกษาพบว่ามีลักษณะของ สเปกตัมคล้ายคลึงกัน แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 ไคโตซานที่ได้จากการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่เวลา 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของไคโตซานที่ผลิตได้

คุณสมบัติ	ไคโตซานที่ผลิตได้	มาตรฐานที่กำหนด
ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (%)	83.91 ± 0.15	> 50
ปริมาณเถ้า (%)	0.92 ± 0.002	< 1
ความชื้น (%)	3.85 ± 0.005	2-10
น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	1.4235×10^6	$0.12\text{-}1.5 \times 10^6$
สี	เนื้อ	สีขาวถึงสีแทน



รูปที่ 4.6 อินฟราเรดสเปกตัมของไคโตซานที่ได้จากการศึกษาและไคโตซานที่จำหน่ายทางการค้า

4.2.4 ผลของขนาดของเปลือกกุ้งต่อการสกัดไคโตซาน

ผลของขนาดเปลือกกุ้งในการสกัดไคโตซาน การกำจัดโปรตีนที่สภาวะความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง กำจัดแร่ธาตุที่สภาวะไม่ให้ความดัน เป็นเวลา 10 นาที และกำจัดหมู่อะซิทิลที่ความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าที่ขนาด 30-40 เมช และ ขนาด < 10 เมช มีค่าการกำจัดหมู่อะซิทิลที่ใกล้เคียงกัน คือ 83.91% และ 82.81% ตามลำดับ แต่เปลือกกุ้งที่ไม่บดมีค่าการกำจัดหมู่อะซิทิลที่ต่ำ คือ มีค่าเท่ากับ 66.47% ดังแสดงดังใน ตารางที่ 4.4 แต่ที่ขนาด 30-40 เมช มีปริมาณเถ้า 0.92% แสดงว่ามีความบริสุทธิ์ของไคโตซานมากกว่าที่ขนาด < 10 เมช และเปลือกกุ้งแบบไม่บดมีปริมาณเถ้า 3.80% และ 4.80% (ดูรายละเอียด

ในตารางที่ ข3.1 – ข3.6, ภาคผนวก ข) ส่วนน้ำหนักโมเลกุลของขนาด ขนาด < 10 และเปลือกกุ้งแบบไม่บดมีค่า 1.7099 × 10^6 และ1.8683 × 10^6 กรัมต่อโมล ตามลำดับซึ่งเกินค่ามาตราฐานเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากไคตินที่มีขนาดใหญ่กว่าต้องการระยะเวลาในการบวมตัว (swelling time) ที่นานกว่า ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการดึงหมู่อะซิทิลช้ากว่า ทำให้คุณสมบัติของไคโตซานลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Bough และคณะ (1978)

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาดต่าง ๆ

คุณสมบัติ	**ขนาด 30-40 เมช**	**ขนาด < 10 เมช**	**ไม่บด**
ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (%)	83.91 ± 0.15	82.81 ± 0.39	66.47 ± 0.29
ปริมาณเถ้า (%)	0.92 ± 0.002	3.80 ± 0.18	4.80 ± 0.07
ความชื้น (%)	3.85 ± 0.005	4.36 ± 0.60	5.08 ± 0.60
น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	1.4235 × 10^6	1.7099 × 10^6	1.8683 × 10^6
สี	เนื้อ	เนื้อ	น้ำตาล

จากการศึกษาการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวโดยใช้สภาวะที่ความดันและอุณหภูมิสูงพบว่า ไคโตซานที่สกัดได้กำจัดโปรตีนภายใต้สภาวะความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง กำจัดแร่ธาตุ ภายใต้สภาวะไม่ให้ความดัน เป็นเวลา 10 นาที และกำจัดหมู่อะซิทิลที่ 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 ชั่วโมงจะได้ ไคโตซานที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไคโตซานที่ที่มีจำหน่ายทางการค้า และตรงตามมาตรฐานของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2543 ที่กำหนดไว้

4.2.5 ต้นทุนการผลิตไคโตซานที่ได้จาดการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าสามารถสกัดไคโตซาน 1 กิโลกรัม จากเปลือกกุ้ง 3.33 กิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้ง

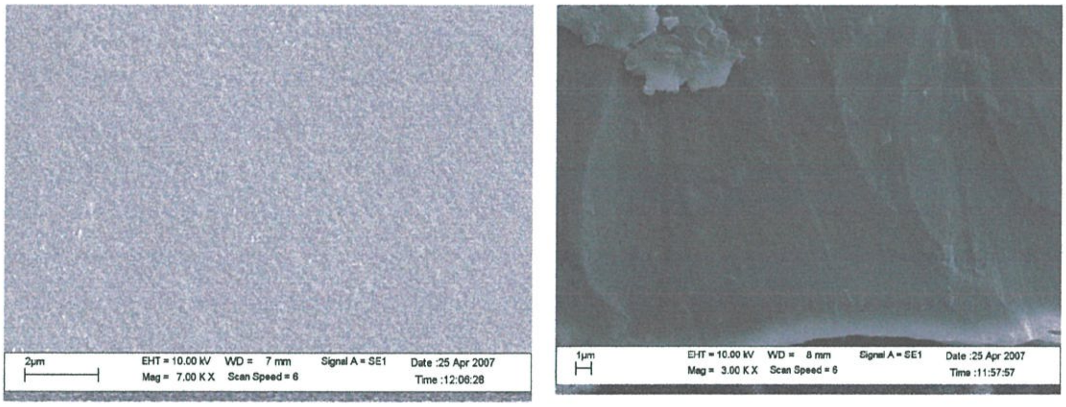
ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตในการสกัดไคโตซานเท่ากับ 1,774.49 บาทต่อกิโลกรัมของไคโตซานดังตารางที่ 4.5 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข4, ภาคผนวก ข) นอกจากนี้ยังลดเวลาที่ใช้ในการสกัดจากวิธีดั้งเดิมใช้เวลา 2 วัน กับอีก 6 ชั่วโมง (54 ชั่วโมง) เหลือเพียง 3 ชั่วโมง 40 นาที ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางอุตสาหกรรมได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ตาราง 4.5 ต้นทุนการผลิตไคโตซานที่ได้จากการทดลอง

วัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้	ราคา (บาท)
เปลือกกุ้งแห้ง	3.33 กิโลกรัม	99.90
โซเดียมไฮดรอกไซด์	5.5 กิโลกรัม	1,430.00
กรดไฮโดรคลอริก	1.351 ลิตร	194.59
แก๊สหุงต้ม	3.30 ชั่วโมง	50
รวม		1,774.49

4.3 ผลการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้เยื่อกรองไคโตซาน

4.3.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะเยื่อกรองไคโตซาน



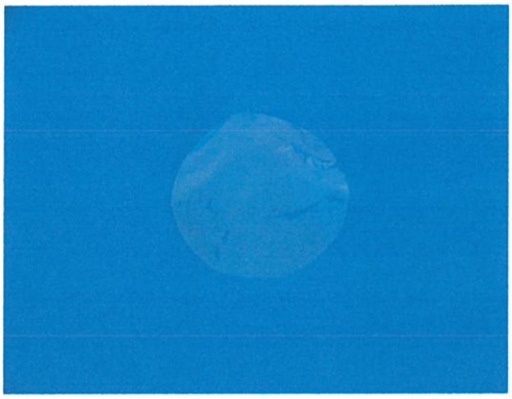
ก. พื้นผิวด้านหน้า ข. ภาคตัดขวาง

รูปที่ 4.7 สภาพพื้นผิวด้านหน้า และ ภาคตัดขวางของเยื่อกรองไคโตซานที่ส่องด้วย Scanning Electron Microscope ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

จากผลการศึกษาสภาพพื้นผิวด้านหน้าของเยื่อกรองไคโตซานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) พบว่าผิวหน้าของเยื่อกรองไคโตซานมีความเรียบ มีขนาดรูพรุนต่ำกว่าไมโครเมตร (รูปที่ 4.7) จากผลการทดสอบค่าความต้านแรงดึง (Tensile strengths) ของเยื่อกรองไคโตซานพบว่าเยื่อกรองไคโตซาน มีค่าความต้านแรงดึง 58.42 ± 1.75 เมกะปาสกาล และร้อยละการยืดตัว (Percent elongation) เท่ากับ 11.86 ± 2.19 เปอร์เซ็นต์ การดูดซับน้ำและค่าการเปลี่ยนความหนาของเยื่อกรองไคโตซาน พบว่าเยื่อกรองไคโตซานที่ผลิตได้มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเท่ากับ 216.00% และ ค่าการเปลี่ยนความหนาเท่ากับ 222.97 (ดังตารางที่ 4.6) (ดูรายละเอียดในตาราง ค1.1-ค1.4, ภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.6 คุณลักษณะของเยื่อกรองไคโตซาน

พารามิเตอร์	เยื่อกรองไคโตซาน
ค่าความต้านแรงดึง (MPa)	58.42 ± 1.75
ร้อยละการยืดตัว (%)	11.86 ± 2.19
เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)	216.00
ค่าการเปลี่ยนความหนา (%)	222.97
อัตราการไหล (L/hr.m^2.psi)	0.0047



รูปที่ 4.8 เยื่อกรองไคโตซานที่ได้จากการศึกษา

4.3.2 ประสิทธิภาพการกรองน้ำทะเลด้วยเยื่อกรองไคโตซาน

การศึกษาประสิทธิภาพการกรองน้ำทะเลด้วยเยื่อกรองไคโตซานที่ได้จากการศึกษา พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์ 46.53% และเมื่อกรองซ้ำเป็นครั้งที่สองพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์เพิ่มขึ้นเป็น 67.62 % ดังแสดงในตารางที่ 4.7 (ดูรายละเอียดในตาราง ค2.1- ค2.3 ภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติของน้ำทะเลก่อนกรอง และ หลังกรองด้วยเยื่อกรองไคโตซาน

คุณสมบัติ	**น้ำทะเล**		
	น้ำก่อนกรอง	**น้ำหลังกรองครั้งที่ 1**	**น้ำหลังกรองครั้งที่ 2**
ปริมาณคลอไรด์ (g/l)	19.26 ± 0.20	10.30 ± 0.38	6.24 ± 0.01
ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)	74.33 ± 0.06	42.00 ± 1.03	22.02 ± 0.10
พีเอช	8.23	7.23	6.59
อุณหภูมิ (°C)	30.23	29.42	29.52
ประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์ (%)	-	46.53	67.62

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การศึกษาวิธีการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวโดยใช้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง

สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโปรตีน คือ ที่สภาวะความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีน 54.14 ± 0.40% สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแร่ธาตุ คือ ที่สภาวะไม่ให้ความดัน เป็นเวลา 10 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดแร่ธาตุ 100% และสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดหมู่อะซิทิลคือที่ความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล 83.91 ± 0.15% คุณสมบัติของไคโตซานที่ผลิตได้ มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล 83.91 ± 0.15% ปริมาณเถ้า 0.92% ความชื้น 3.85% น้ำหนักโมเลกุล 1.4235×10^6 กรัมต่อโมล และ สีของไคโตซานเป็นสีเนื้อ

5.1.2 การแยกเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้เยื่อกรองไคโตซาน

1) เยื่อกรองไคโตซานที่ได้ มีค่าความต้านแรงดึง (Tensile strengths) 58.42 ± 1.75 เมกะปาสกาล และร้อยละการยืดตัว (Percent elongation) เท่ากับ 11.86 ± 2.19 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (Water content) เท่ากับ 216.00 ± 3.60 และ ค่าการเปลี่ยนความหนา (thickness change) เท่ากับ 222.97 ± 1.76

2) การกรองเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้เยื่อกรองไคโตซานที่เตรียมขึ้น สามารถกำจัดเกลือได้ 46.53% เมื่อกรองครั้งที่ 1 และ 67.62% เมื่อกรองซ้ำครั้งที่ 2

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) สกัดไคโตซานโดยกำจัดโปรตีนที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส และกำจัดหมู่อะซิทิลที่อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันปกติเทียบกับการสกัดไคโตซานที่ความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในการกำจัดโปรตีนและหมู่อะซิทิล เพื่อศึกษาว่าความดันหรืออุณหภูมิจะมีผลต่อการกำจัดโปรตีน และหมู่อะซิทิล

2) ศึกษาการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวในระดับ pilot scale

3) ศึกษาประสิทธิภาพกรองน้ำทะเลด้วยเยื่อกรองไคโตซานโดยใช้การกรองแบบออสโมซิสผันกลับ

4) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเกลือของเยื่อกรองไคโตซานที่เตรียมขึ้นโดยใช้ความเข้มข้นของไคโตซานต่าง ๆ

5) ศึกษาคุณลักษณะของเยื่อกรองไคโตซานผสมไคโตซานกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเยื่อกรองไคโตซาน

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มไคติน-ไคโตซาน. 2000. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตไคติน-ไคโตซาน**. Chitin-Chitosan Technical Note. ฉบับที่ 1. หน้า 1-7.

นันทวัน สุวรรณ. 2545. **เยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนประเภทพอลิอิเล็กโทรไลต์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 23-31.

บุญชู มหาผล. 2547. **การบำบัดน้ำล้างเห็ดดองเค็มโดยใช้เมมเบรนไคโตซาน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 23-53.

เยาวภา ไหวพริบ. 2534. **การผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 3-58.

รัตนา จิระรัตนานนท์. 2543. **กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์.** ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 17-220.

วีระ รัตนศิริโสภณ. 2546. **การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดเคลือบด้วยไคโตซานในการกำจัดสีและกลิ่นในน้ำธรรมชาติ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 10-16.

สุปราณี กนกวรรณจำรัส. 2544. **การศึกษาจลนพลศาสตร์ของกระบวนการผลิตไคติน-ไคโตซาน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 10-46.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2543. **ไคติน - ไคโตซาน : การสร้างมูลค่าเพิ่มจากวัสดุเหลือใช้ภายในประเทศ**. การประชุมประจำปี สวทช. เรื่องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับเศรษฐกิจพอเพียง : 25 เมษายน 2543. ศูนย์ประชุมสหประชาชาติ. หน้า 1-3.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2549. **ปริมาณและมูลค่าการนำเข้า-ส่งออกสินค้ากุ้งรายพิกัด.** สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อำไพ ชนะไชย และ รัตนา จิระรัตนานนท์. 2544. **การพัฒนาเยื่อกรองไคโตซานสำหรับการแยกน้ำออกจากสารละลายเอทานอลโดยกระบวนการเพอแวปพอเรชั่น**. การวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการสร้างมูลค่าเพิ่ม.ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 1-2.

ASTM (An American National Standard). 1991. **Annual Book of ASTM Standard 08.91** Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics (Metric). pp. 159-171.

Barbara, K. 2004. **Membrane-based Processes Performed with Use of Chitin/Chitosan Materials.** Separation and Purification Technology, pp. 305-312.

Bough, W.A., Salter, W.L., Wu, A.C.M. and Perkins, B.E. 1978. **Influence of Manufacturing Variable on the Characteristies and Effectiveness of Chitosan Products.** Biotechnology and Bioengineering, Vol. 20. pp. 1931-1943.

Chang, K.L.B., Tsai, G., Lee, J. and Fu, W.R. 1997. **Heterogeneous N-Deacetylation of Chitin in Alkaline Solution**. Carbohydrate Research, Vol. 303. pp. 327-332.

Cunniff, P., 1984. **AOAC. Official Methods of Analysis : Association of Official Analytical Chemists**, 14th ed. Washington DC. pp.19-20.

Domard, A. and Rinaudo, M. 1983. **Preparation and Characterization of Fully Deacetylated Chitosan**. International Journal of Biological Macromolecules, Vol. 5. pp. 49-52.

Feng-Chin, W., Ru-Ling, P. and Ruey-Shin, J. 1999. **Comparative Adsorption of Metal and Dye on Flake and Bead-Types of Chitosan Prepared from Fishery Waste**. Journal of Hazardous Materials, Vol. 37. pp. 63-75.

Gross, P., Konard, E. and Mager, H. 1982. **Investigations on Chitosan as a Natural Film Forming Ingredients in Hair Cosmetic Products under the Considerations of the Ecological Aspects Chitin and Chitosan**. Proceeding 2 nd International Conference on Chitin and Chitosan, pp. 205-209.

Hirano, S. 1996. **Chitin Biotechnology Applications**. Biotechnology Annual Review, Vol. 2. pp. 237-255.

Hong, K.N. and Meyers, S.P. 1995. **Preparation and Characterization of Chitin and Chitosan - A Review**. Journal of Aquatic Food Product Technology, Vol. 4 . No. 2. pp. 27-52.

Kenne, L. and Lindberg, B. 1980. **Method in Carbohydrate Chemistry**. Academic Press, New York, pp. 295-296.

Knorr, D. 1984. **Use of Chitinous Polymers in Food**. Food Technology, Vol. 38. No.1. pp. 85-87.

Knorr, D. 1991. **Recovery and Utilization of Chitin and Chitosan in Food Processing Waste Management**. Food Technology, pp. 85-97.

Lee, V. 1974. **Solution and Properties of Chitin and Chitosan**. Ann Arbor, pp 446.

Mima, S., Miya, M., Iwamoto, R. and Yoshikawa, S. 1983. **Highly Deacetylation Chitosan and its Properties**. Journal of Apply Polymer Science, Vol. 28. pp. 1909-1917.

Moorzani, M.N., Achutha, V and Khasim, D.I. 1975. **Parameters Affecting the Viscosity of Chitosan from Prawn Waste**. Journal of Food Science and Technology, Vol. 12. pp. 187-189.

Muzzarelli, R.A.A. 1977. **Chitin Oxford**. Pergamon Press, p. 309.

No, H.K., Meyers, S.P. and Lee, K.S. 1989. **Isolation and Characterization of Chitin from Crawfish Shell Waste**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Vol. 37. pp. 575-579.

Peniston, Q.P. and Johnson, E.L. 1980. **Process for the Manufacture of Chitosan**. U.S. Patent, No. 4. pp. 175-195.

Rege, P.R. and Block, L.H. 1999. **Chitosan Processing : Influence of Process Parameter During Acidic and Alkaline Hydrolysis and Effect of the Processing Sequence on the Resultant Chitosan's Properties**. Carbohydrate Research, Vol. 321. pp. 235-245.

Roberts, G.A.F. 1992. **Chitin Chemistry,** London. The Macmillan Ltd. p. 349.

Sannan, T., Kurita, K. and Iwakura, Y. 1976. **Studies on Chitin 1**. Makromolekulare Chemie, Vol. 176. pp. 1191-1195.

Shahidi, F. and Synowiecki, J. 1991. **Isolation and Characterization of Nutrients and Value-Added Products from Snow Crab (*Chinoecetes opilio*) and Shrimp (*Pandalus borealis*) Processing Discards**. Journal of Agricu ltural and Food Chemistry, Vol. 39. pp. 1527-1532.

Shigemasa, Y., Morimoto, M., Saimoto, H. and Minami, S. 1998. **Application of Chitin and Chitosan for Biomaterials**. Proceedings of the Third Asia-Pacific Chitin and Chitosan Symposium, 8-10 September 1998, pp. 47-54.

Trang, S.T., Thein-Han, W.W., Nguyen, T.Q., Chuen-How, N., Willem, F. 2005. **Function Characteristics of Shrimp Chitosan and its Membrane as Affected by the Degree of Deacetylation**. Bioresource Technology, Vol. 97. pp. 659-663.

Win, N.N. 1996. **Removal of Heavy Metals using Chitosan**. Master of Environmental Thesis. Environmental Science and Technology. Asian Institute of Technology. Thiland. Bangkok, p. 1-68.

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์

ก1 วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมี

ก1.1 ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

1) นำชามระเหย (Crusible) อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ในเย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_0)

2) นำตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในชามระเหยที่อบแล้วจากข้อ 1 (W_1) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_2)

3) ปริมาณความชื้นคำนวณได้จากสมการ (ก1)

$$\text{Moisture content (\% MC)} = \frac{1-(W_2-W_0)}{(W_1-W_0)} \times 100 \qquad \text{(ก1)}$$

เมื่อ W_0 = น้ำหนักชามระเหยหลังจากอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (กรัม)

$W_1 = W_0$ + น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)

$W_2 = W_0$ + น้ำหนักสารตัวอย่างหลังจากอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กรัม)

ก1.2 ปริมาณเถ้า (Ash content)

1) นำชามระเหย (Crusible) อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ในเย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_0)

2) นำตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในชามระเหยที่อบแล้วจากข้อ 1 (W_1) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_2)

3) นำตัวอย่างจากข้อ 2 เผาด้วย Muffle – Furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_3)

4) ปริมาณความเถ้าคำนวณได้จากสมการ (ก2)

$$\text{Ash Content (\% AC)} = \frac{(W_3-W_0)}{(W_2-W_0)} \times 100 \qquad \text{(ก2)}$$

เมื่อ W_0 = น้ำหนักครูซิเบิลหลังจากอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (กรัม)

$W_2 = W_0$ + น้ำหนักสารตัวอย่างหลังจากอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24

ชั่วโมง (กรัม)

$W_3 = W_0 +$ น้ำหนักสารตัวอย่างหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กรัม)

ก1.3 ปริมาณแคลเซียม, แมกนีเซียม, ปริมาณโซเดียม และ โปแตสเซียม

1) นำตัวอย่าง 0.5 กรัมและกรดบอริก 4.5 กรัม บดในเครื่องบด (Rock labs)

2) อัดด้วยเครื่องอัดลงในบล็อกพิมพ์

3) วิเคราะห์ด้วย เครื่อง X-ray fluorescence spectrophotometer

ก1.4 วิธีวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 1984)

1) ชั่งตัวอย่างแห้ง 0.25 กรัม ใส่ลงในขวดย่อยขนาด 75 กรัม

2) เติมสารละลายกรดผสม HNO_3 : H_2SO_4 : $HClO_4$ ในอัตรส่วน 5:1:2 จำนวน 10 มิลลิลิตร

3) นำไปย่อยใน fume hood ด้วยอุณหภูมิต่ำ (50-60 องศสเซลเซียส) จนได้สีน้ำตาล ต่อจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น 200-220 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส

4) ทิ้งไว้ให้เย็นปรับ ปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

5) เตรียมสารละลายกรดบอริก 20 มิลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ หยด mix indicator ระหว่าง Bromocresol green และ methyl read จำนวน 2-3 หยด จุ่มปลายของ condenser ลงในสารละลาย

6) ทำการกลั่นโดยเครื่องกลั่น (distillation unit) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 มิลิลิตร

7) นำสารละลายที่กลั่นแล้วมาไทเทรตด้วย กรด H_2SO_4 0.05 N

8) ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่นแทน

9) คำนวณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและโปรตีนจากสมการ (ก3) และ (ก4) ตามลำดับ

$$\%\text{ไนโตรเจน} = \frac{(A-B) \times CD \times 100}{E \times 1000} \qquad (\text{ก}3)$$

$$\%\text{ โปรตีน} = \%\text{ ไนโตรเจน} \times 6.25 \qquad (\text{ก}4)$$

เมื่อ A = ปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

C = ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก (N)

D = 14

E = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ก2 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิล

การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิล (Degree of deacetylation, %DD) โดยวิธี Fourier Transfrom Infrared spectroscopy (FT-IR) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับโมเลกุลของสารโดยการสั่น หรือการหมุนของโมเลกุลสารเมื่อมีการดูดกลืนรังสีอินฟาเรด ซึ่งวิธีการเตรียมตัวอย่างที่นิยมกันมาก คือเตรียมแบบ KBr-disc มีวิธีการดังนี้

1) ชั่งไคโตซานประมาณ 0.6-1.2 มิลลิกรัม ใส่โกร่งอะเกตแล้วบดให้ละเอียด จากนั้นชั่งโพแทสเซียมโบร์ไมด์ (KBr) ประมาณ 180-200 มิลลิกรัม แล้วบดให้เข้ากับตัวอย่างโดยใช้โกร่งอะเกต (ถ้าใส่โพแทสเซียมโบร์ไมด์มากจะได้ disc หนา แสงอินฟราเรดจะผ่านได้น้อย) นำส่วนผสมที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวแล้วมาอัดเป็นแผ่นโดยใช้อุปกรณ์ที่มีมากับเครื่อง FT-IR

2) วัดค่าความดูดกลืนแสงทันที โดยใช้สภาวะ

Resolution = 4 cm^{-1}

Number of scan = 32

3) คำนวณค่า %DD โดยใช้ความสูงของ peak ที่ 3450 cm^{-1} (A_{3450}) และที่ 1655 cm^{-1} (A_{1655}) โดยวัดความสูงจาก baseline จนถึงยอด peak แล้วคำนวณตามสูตร (ก5)

$$\%DD = 100 - [\,(A_{1655}/A_{3450}) \times (100/1.33)\,] \qquad (ก5)$$

ก3 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (Water content) และ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนา (Thickness change) (Trang และคณะ, 2005)

1) ชั่งน้ำหนักเยื่อกรองไคโตซานแห้ง (W_1) และวัดความหนาเยื่อกรองไคโตซาน (T_1)

2) แช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3) นำเยื่อกรองไคโตซานมาซับน้ำที่ผิวหน้าเยื่อกรองออกให้แห้งด้วยกระดาษซับ แล้วชั่งน้ำหนักทันที (W_2) เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในเยื่อกรองไคโตซาน และวัดความหนาของเยื่อกรองไคโตซาน (T_2)

4) นำค่าน้ำหนักของเยื่อกรองไคโตซานก่อนและหลังการดูดซับน้ำมาคำนวณค่าการดูดซับน้ำตามสมการ (ก6)

$$\%\text{Water content} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \qquad (ก6)$$

5) นำค่าความหนาของเยื่อกรองนำมาคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนาตามสมการ (ก7)

$$\%\text{Thickness change} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \times 100 \qquad (ก7)$$

ก4 การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ด้วยวิธีโมฮร์

1) เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเทรต เข้มข้น 0.1 M ละลาย $AgNO_3$ หนัก 8.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตร 500 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร

2) เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเทรต เข้มข้น 0.01 M ใช้ปิเปตดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตจากข้อ 1 จำนวน 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนสารละลายมีปริมาตร 100 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร

3) เตรียมสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม K_2CrO_4 และ $K_2Cr_2O_7$ ละลาย 14.2 กรัม K_2CrO_4 และ 10.7 กรัม $K_2Cr_2O_7$ ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนได้ปริมาตรสารละลายเป็น 100 มิลลิลิตร

4) ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร

5) เติม 0.5 มิลลิลิตร ของสารละลายอินดิเคเตอร์ผสม K_2CrO_4 และ $K_2Cr_2O_7$

6) นำไปไทเทรตกับสารละลายซิลเวอร์ไนเทรต เข้มข้น 0.01 M จนถึงจุดยุติจะได้ตะกอนสีแดงอิฐเกิดขึ้น เปรียบเทียบสีกับอินดิเคเตอร์แบลงค์ บันทึกปริมาตรซิลเวอร์ไนเทรตที่ใช้ในการไทเตรท

7) คำนวณหาความเข้มข้นของคลอไรด์ในสารละลายตัวอย่างโดยใช้สมการ (ก8)

$$C_1V_1 = C_2V_2 \qquad (ก8)$$

ภาคผนวก ข

ผลการสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว โดยใช้สภาวะที่ความดันและอุณหภูมิสูง

ข1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของเปลือกกุ้งขาว

ตารางที่ ข1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเปลือกกุ้งก่อนอบที่อุณหภูมิ 60 °C

ครั้งที่	W_0	น้ำหนักตัวอย่าง	W_1	W_2	%MC	$\overline{X} \pm SD$
1	55.6065	1.0010	56.6075	56.5490	4.98	
2	59.1972	1.0013	60.1985	60.1399	5.07	4.98 ± 0.10
3	65.1518	1.0012	66.1530	66.0979	4.88	

ตารางที่ ข1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเปลือกกุ้งหลังอบที่อุณหภูมิ 60 °C

ครั้งที่	W0	น้ำหนักตัวอย่าง	W1	W2	%MC	$\overline{X} \pm SD$
1	55.6055	1.0002	56.6057	56.5600	3.7830	
2	59.1952	1.0003	60.1955	60.1520	3.6582	3.70 ± 0.07
3	65.1520	1.0000	66.1520	66.1102	3.6683	

ตารางที่ ข1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของเปลือกกุ้ง

ครั้งที่	W_0	น้ำหนักตัวอย่าง	W_1	W_2	W_3	%AC	$\overline{X} \pm SD$
1	60.9350	1.0015	61.9365	61.8855	61.1676	24.47	
2	62.1032	1.0022	63.1054	63.0564	62.3332	24.13	24.38 ± 0.22
3	68.1216	1.0025	69.1241	69.0741	68.3553	24.54	

ข2 ผลการวิเคราะห์การกำจัดโปรตีน แร่ธาตุ และการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง

ตารางที่ ข2.1 ประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนที่สภาวะความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการกำจัดโปรตีนที่สภาวะไม่ให้ความดัน (NP) 1 ชั่วโมง และ 18 ชั่วโมง

Sample	Wt. of N (g)	blank (ml)	H_2SO_4 (ml)	%N	% โปรตีน	ปริมาณโปรตีนเฉลี่ย	ประสิทธิภาพการกำจัด ± SD (%)
Shrimp	0.2541	0.11	27.79	7.47	46.71	46.73	-
	0.2536	0.11	27.77	7.48	46.76		
NP 1 hr	0.2569	0.11	19.28	5.12	31.99	32.13	31.23 ± 0.20
	0.254	0.11	19.23	5.16	32.27		
5 psi	0.2507	0.11	13.54	3.67	22.97	23.02	50.74 ± 0.07
	0.2507	0.11	13.6	3.69	23.07		
10 psi	0.2537	0.11	13.21	3.54	22.14	22.25	52.39 ± 0.16
	0.2554	0.11	13.43	3.58	22.36		
15 psi	0.2556	0.11	13.55	3.61	22.54	22.47	51.92 ± 0.11
	0.2553	0.11	13.44	3.58	22.39		
Np18 hr	0.2514	0.11	14.9	4.04	25.22	25.13	46.23 ± 0.13
	0.254	0.11	14.94	4.01	25.03		

ตารางที่ ข2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนที่สภาวะความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส) ที่เวลา 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง

Sample	Wt. of N (g)	blank (ml)	H_2SO_4 (ml)	%N	% โปรตีน	ปริมาณโปรตีนเฉลี่ย (%)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%) ± SD
NP ½ hr	0.2554	0.09	9.83	5.09	31.79	32.25	30.98 ± 0.65
	0.2594	0.09	10.27	5.23	32.71		
NP 1hr	0.2569	0.11	19.28	5.12	31.99	32.13	31.23 ± 0.20
	0.254	0.11	19.23	5.16	32.27		
NP 3 hr	0.2571	0.09	8.52	4.37	27.33	27.26	41.67 ± 0.11
	0.2573	0.09	8.48	4.35	27.18		
NP 5 hr	0.2541	0.09	7.83	4.06	25.39	25.48	45.47 ± 0.13
	0.2575	0.09	7.99	4.09	25.57		
10 psi ½ hr	0.2515	0.09	6.64	3.47	21.71	21.43	54.14 ± 0.40
	0.2507	0.09	6.45	3.38	21.15		
10 psi 1 hr	0.2537	0.11	6.66	3.44	21.52	21.25	54.52 ± 0.38
	0.2554	0.11	6.54	3.36	20.99		
10 psi 3 hr	0.2521	0.09	6.5	3.39	21.20	21.13	54.78 ± 0.09
	0.2548	0.09	6.53	3.37	21.07		
10 psi 5 hr	0.2572	0.09	6.49	3.32	20.74	20.69	55.73 ± 0.08
	0.2517	0.09	6.32	3.30	20.63		

ตารางที่ ข2.3 เปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิล โดยใช้สภาวะที่ความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเปรียบเทียบการกำจัดหมู่อะซิทิลที่สภาวะไม่ให้ความดัน (NP) 1 ชั่วโมง, 18 ชั่วโมง และไคโตซานที่มีจำหน่ายทางการค้า

ตัวอย่าง	A-1655	A-3450	%DD	$\overline{X} \pm SD$
shrimp	175.3542	253.2569	47.94	47.84 ± 0.13
	173.2586	249.3654	47.76	
chitosan	45.3546	288.0578	88.16	88.38 ± 0.31
	54.125	357.1314	88.60	
5 psi 1 hr	67.5476	321.1629	84.17	83.59 ± 2.06
	71.4343	315.9221	83.00	
10 psi 1hr	82.4284	377.1308	83.57	83.48 ± 0.12
	65.2759	295.5853	83.40	
15 psi 1 hr	60.0389	264.1996	82.91	81.78 ± 1.60
	101.4616	394.1957	80.65	
NP 18 hr	65.6221	299.9293	83.55	83.44 ± 0.15
	55.6111	250.9596	83.34	
NP 1hr	139.6213	286.5421	63.36	63.00 ± 0.52
	140.9658	283.6548	62.63	

ตารางที่ ข2.4 ค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล ที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) ที่เวลาต่าง ๆ

ตัวอย่าง	A-1655	A-3450	%DD	$\bar{X} \pm SD$
NP 0.5 hr	177.8959	424.5641	68.50	66.84 ± 2.34
	168.2890	363.4204	65.18	
NP 1 hr	210.3321	486.3112	67.48	67.21 ± 0.39
	208.7352	474.6162	66.93	
NP 3 hr	140.4490	336.1579	68.59	68.77 ± 0.26
	138.2541	334.8979	68.96	
NP 5 hr	139.3214	357.9250	70.73	69.70 ± 1.47
	135.4231	324.8886	68.66	
5 psi 0.5 hr	73.8125	343.7394	83.85	83.31 ± 0.77
	80.9695	353.3828	82.77	
5psi 1hr	63.5948	293.2643	83.70	83.77 ± 0.11
	62.8541	292.5713	83.85	
5 psi 3 hr	70.6963	332.6203	84.02	83.91 ± 0.15
	70.5392	327.5822	83.81	
5 psi 5 hr	70.4325	309.1890	82.87	84.35 ± 2.09
	60.0773	318.8039	85.83	

ตาราง ข2.5 ค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล ที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ของเปลือกกุ้งขนาดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	A-1655	A-3450	%DD	$\bar{X} \pm SD$
ไม่บด	160.8252	358.4490	66.2654	66.47 ± 0.29
	158.4751	357.5231	66.6723	
< 10 เมช	55.3193	238.1956	82.5381	82.81 ± 0.39
	71.4211	317.4347	83.0831	
30-40 เมช	73.8125	343.7394	83.8546	83.31 ± 0.77
	80.9695	353.3828	82.7724	

ข3 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของไคโตซาน

ตารางที่ ข3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาด 30-40 เมช

ครั้งที่	W_0	น้ำหนักตัวอย่าง	W_1	W_2	%MC	$\overline{X} \pm SD$
1	55.6065	1.0000	56.6065	56.5603	3.85	
2	59.1972	1.0003	60.1975	60.1520	3.86	3.85 ±0.01
3	65.1518	1.0000	66.1518	66.1082	3.85	

ตารางที่ ข3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาด 30-40 เมช

ครั้งที่	W_0	น้ำหนักตัวอย่าง	W_1	W_2	W_3	%AC	$\overline{X} \pm SD$
1	60.9350	1.0000	61.9350	61.8745	60.9437	0.93	
2	62.1032	1.0012	63.1044	63.0474	62.1119	0.92	0.92±0.003
3	68.1216	1.0014	69.1230	69.0823	68.1305	0.93	

ตาราง ข3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของไคโตซาน ที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาด < 10 เมช

ครั้งที่	W_0	น้ำหนักตัวอย่าง	W_1	W_2	%MC	$\overline{X} \pm SD$
1	55.6055	1.0000	56.6055	56.5503	4.7534	
2	59.1952	1.0000	60.1952	60.1420	4.6587	4.36 ± 0.60
3	65.1520	1.0000	66.1520	66.1102	3.6683	

ตาราง ข3.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาด < 10 เมช

ครั้งที่	W_0	น้ำหนักตัวอย่าง	W_1	W_2	w_3	%AC	$\overline{X} \pm SD$
1	60.9200	1.0014	61.9214	61.7745	60.9525	3.8034	
2	62.1232	1.0012	63.1244	63.0454	62.1599	3.9796	3.80 ± 0.18
3	68.1356	1.0014	69.1370	69.0533	68.1689	3.6286	

ตาราง ข3.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของไคโตซาน ที่สกัดจากเปลือกกุ้งไม่บด

ครั้งที่	W_0	น้ำหนักตัวอย่าง	W_1	W_2	%MC	$\overline{X} \pm SD$
1	55.6049	1.0008	56.6057	56.5423	5.4920	
2	59.1898	1.0009	60.1907	60.1336	4.9571	5.08 ± 0.37
3	65.1549	1.0008	66.1557	66.1019	4.7872	

ตาราง ข3.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งไม่บด

ครั้งที่	W_0	น้ำหนักตัวอย่าง	W_1	W_2	W_3	%AC	$\overline{X} \pm SD$
1	60.9212	1.0004	61.9216	61.7654	60.9623	4.8685	
2	62.1254	1.0002	63.1256	63.1032	62.1717	4.7351	4.80 ± 0.07
3	68.1357	1.0004	69.1361	69.04879	68.1795	4.7969	

ข4. ต้นทุนการผลิตไคโตซานที่ได้จากการทดลอง (คิดจากไคโตซาน 1 กิโลกรัม)

- เปลือกกุ้งสด 50 กิโลกรัม กิโลกรัมละ 3 บาทเมื่อนำมาตากแห้งเหลือน้ำหนัก 5 กิโลกรัม คิดเป็นราคาน้ำหนักแห้งเท่ากับกิโลกรัมละ 30 บาท ในการสกัดไคโตซานที่ได้จากการทดลองต้องใช้เปลือกกุ้งแห้ง 3.33 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน 99.9 บาท

การสกัดไคโตซาน 1 กิโลกรัม จะต้องใช้สารเคมีดังนี้

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กิโลกรัม ราคา 260 บาท ในการสกัดไคโตซานที่ได้จากการทดลองต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5.5 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน 1,430 บาท
- กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2.5 ลิตร ราคา 360 บาท ในการสกัดไคโตซานที่ได้จากการทดลองต้องใช้กรดไฮโดรคลอริก 1.351 ลิตร คิดเป็นเงิน 194.59 บาท
- แก๊สหุงต้มที่ใช้คิดเป็นเงิน 50 บาท

ดังนั้นการสกัดไคโตซาน 1 กิโลกรัม ในการศึกษานี้มีต้นทุนการผลิต 1,774.49 บาท

ภาคผนวก ค

การศึกษาการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลโดยใช้เยื่อกรองไคโตซาน

ค1 ผลคุณสมบัติของเยื่อกรองไคโตซาน

ตารางที่ ค1.1 ผลการศึกษาค่าความต้านแรงดึงของเยื่อกรองไคโตซาน (Tensile strengths)

ครั้งที่	tensile strength (เมกะปาสกาล)	$\overline{X} \pm SD$
1	58.94	
2	57.78	
3	56.44	58.42 ± 1.75
4	61.13	
5	57.82	

ตารางที่ ค1.2 ผลการศึกษาร้อยละการยืดตัวของเยื่อกรองไคโตซาน (Percent elongation)

ครั้งที่	Elongation (เมกะปาสกาล)	$\overline{X} \pm SD$
1	10.55	
2	9.88	
3	11.72	11.86 ± 2.19
4	15.52	
5	11.64	

ตารางที่ ค1.3 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (water content) ของเยื่อกรองไคโตซาน

แผ่นที่	น้ำหนักแห้งของเยื่อกรองไคโตซาน (g)	น้ำหนักเปียกของเยื่อกรองไคโตซาน (g)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)	$\overline{X} \pm SD$
1	0.1551	0.4922	217.3436	
2	0.1527	0.4763	211.9188	216.00 ± 3.60
3	0.1535	0.4893	218.7271	

ตารางที่ ค1.4 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนา (Thickness change) ของเยื่อกรองไคโตซาน

แผ่นที่	ความหนาของเยื่อกรองไคโตซานแห้ง (mm)	ความหนาของเยื่อกรองไคโตซานเปียก (mm)	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนา (%)	$\overline{X} \pm SD$
1	0.041	0.132	221.95	
2	0.040	0.130	225.00	222.97 ± 1.76
3	0.041	0.132	221.95	

ค2 ผลการศึกษาการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลของเยื่อกรองไคโตซาน

ตารางที่ ค2.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำทะเล

ครั้งที่	ความเข้มข้นของซิเวอร์ไนเทรต (M)	ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)	ปริมาตรของซิลเวอร์ไนเทรตที่ใช้ (ml)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ (M)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ (g)	ค่าเฉลี่ยคลอไรด์ (g) ± SD
1	0.01	10	10.90	0.0109	19.3475	
2	0.01	10	10.72	0.0107	19.0280	19.26 ± 0.20
3	0.01	10	10.93	0.0109	19.4008	

ตารางที่ ค2.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์ที่ผ่านการกรองด้วยเยื่อกรองไคโตซาน ครั้งแรก

แผ่นที่	ความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเทรต (M)	ปริมาณน้ำตัวอย่าง (ml)	ปริมาตรของซิลเวอร์ในเทรตที่ใช้ (ml)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ (M)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ (g)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ $\overline{X} \pm SD$ (g)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
1	0.01	10	6.13	0.0061	10.8808	10.29 ± 0.3841	46.53
	0.01	10	5.78	0.0058	10.2595		
	0.01	10	5.62	0.0056	9.9755		
2	0.01	10	5.65	0.0057	10.0288		
	0.01	10	6.10	0.0061	10.8275		
	0.01	10	5.63	0.0056	9.9933		
3	0.01	10	5.98	0.0060	10.6145		
	0.01	10	5.56	0.0056	9.8690		
	0.01	10	5.76	0.0058	10.2240		

ตารางที่ ค2.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์ที่ผ่านการกรองด้วยเยื่อกรองไคโตซาน ครั้งที่สอง

แผ่นที่	ความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเทรต (M)	ปริมาณน้ำตัวอย่าง (ml)	ปริมาตรของซิลเวอร์ในเทรตที่ใช้ (ml)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ (M)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ (g)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ $\overline{X} \pm SD$ (g)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
1	0.01	10	3.51	0.0035	6.2303	6.24 ± 0.01	41.25
	0.01	10	3.52	0.0035	6.2480		
	0.01	10	3.50	0.0035	6.2125		
2	0.01	10	3.52	0.0035	6.2480		
	0.01	10	3.52	0.0035	6.248		
	0.01	10	3.51	0.0035	6.2303		

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ง1 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนที่สภาวะความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลา 1 ชั่วโมง

[DataSet0]

Descriptives

percentage

		Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Between-Component Variance
				Lower Bound	Upper Bound	
Model	Fixed Effects	.25106	.10250	51.3571	52.0095	
	Random Effects		.49000	49.5750	53.7916	.68879

ANOVA

percentage

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.881	2	1.441	22.855	.015
Within Groups	.189	3	.063		
Total	3.070	5			

ตารางที่ ง2 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนที่สภาวะความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส) ที่เวลา 0.5, 1, 3 และ 5 ชั่วโมง

[DataSet0]

Descriptives

percentage

		Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Between-Component Variance
				Lower Bound	Upper Bound	
Model	Fixed Effects	.60135	.21261	54.1997	55.3803	
	Random Effects		.33936	53.7100	55.8700	.27984

ANOVA

percentage

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.764	3	.921	2.548	.194
Within Groups	1.447	4	.362		
Total	4.210	7			

ตารางที่ ง3 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของเปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิล โดยใช้สภาวะที่ความดัน 5, 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

[DataSet0]

Descriptives

percentage

		Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	95% Confidence Interval for Mean Upper Bound	Between-Component Variance
Model	Fixed Effects	1.04127	.42509	81.5972	84.3028	
	Random Effects		.58571	80.4299	85.4701	.48706

ANOVA

percentage

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.117	2	2.058	1.898	.293
Within Groups	3.253	3	1.084		
Total	7.369	5			

ตารางที่ ง4 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล ที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) ที่เวลาต่าง ๆ

[DataSet0]

Descriptives

percentage

		Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	95% Confidence Interval for Mean Upper Bound	Between-Component Variance
Model	Fixed Effects	1.11773	.39518	82.7403	84.9347	
	Random Effects		.39518(a)	82.5799(a)	85.0951(a)	-.44105

a Warning: Between-component variance is negative. It was replaced by 0.0 in computing this random effects measure.

ANOVA

percentage

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.102	3	.367	.294	.829
Within Groups	4.997	4	1.249		
Total	6.099	7			

ตารางที่ ง5 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของค่าการกำจัดหมู่อะซิทิล ที่สภาวะความดัน 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่ขนาดต่างกัน

[DataSet0]

Descriptives

percentage

		Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	95% Confidence Interval for Mean Upper Bound	Between-Component Variance
Model	Fixed Effects	.51929	.21200	76.8553	78.2047	
	Random Effects		5.53188	53.7282	101.3318	91.67037

ANOVA

percentage

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	367.221	2	183.610	680.879	.000
Within Groups	.809	3	.270		
Total	368.030	5			

ตารางที่ ง6 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาดต่างกัน

[DataSet0]

Descriptives

percentage

		Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	95% Confidence Interval for Mean Upper Bound	Between-Component Variance
Model	Fixed Effects	.40515	.13505	4.1007	4.7616	
	Random Effects		.35589	2.8998	5.9624	.32526

ANOVA

percentage

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.280	2	1.140	6.945	.027
Within Groups	.985	6	.164		
Total	3.265	8			

ตารางที่ ง7 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญของผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งขนาดต่างกัน

[DataSet0]

Descriptives

percentage

		Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Between-Component Variance
				Lower Bound	Upper Bound	
Model	Fixed Effects	.10786	.03595	3.0898	3.2658	
	Random Effects		1.16198	-1.8218	8.1774	4.04675

ANOVA

percentage

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24.304	2	12.152	1044.574	.000
Within Groups	.070	6	.012		
Total	24.374	8			

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาววีรวรรณ ภู่เกษร
วัน เดือน ปีเกิด	4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2525
ที่อยู่	5 หมู่ 6 ต.บางโรง กิ่ง.อ.คลองเขื่อน จ.ฉะเชิงเทรา 2400
ประวัติการศึกษา	2546 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ จ.ฉะเชิงเทรา 2549 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ