



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล)
ปริญญา

วิทยาศาสตร์ทางทะเล	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
สาขา	ภาควิชา

เรื่อง ประสิทธิภาพของไคโตซานบีดจากเปลือกสัตว์ทะเลในการดูดซับกลิ่นแอมโมเนีย และฟอร์มัลดีไฮด์

Efficacy of Chitosan Beads from Marine Animal Shells for the Adsorption of Ammonia and Formaldehyde Gas

นามผู้วิจัย นางสาวกชวรรณ ปานข่อยงาม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จินตนา สและน้อย, วท.ค.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิติ ชูเชิด, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนันท์ ภัทรจินดา, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ประสิทธิภาพของไคโตซานบีดจากเปลือกสัตว์ทะเลในการดูดซับกลิ่น
แอมโมเนีย และฟอร์มัลดีไฮด์

Efficacy of Chitosan Beads from Marine Animal Shells for the Adsorption
of Ammonia and Formaldehyde Gas

โดย

นางสาวกวรรณ ปานน้อยงาม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล)

พ.ศ. 2552

ภควรรณ ปานข่อยงาม 2552: ประสิทธิภาพของไคโตซานบีดจากเปลือกสัตว์ทะเลในการดูดซับกลิ่นแอมโมเนีย และฟอร์มาลดีไฮด์ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล) สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จินตนา สและน้อย, วท.ด. 102 หน้า

การศึกษาสมบัติของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกสัตว์ทะเล 4 ชนิด ได้แก่ เปลือกกุ้งขาว เปลือกปูทะเล เปลือกแมงดาทะเล และแกนหมึกกระดอง พบว่า เปลือกกุ้งขาวให้ผลผลิตไคโตซาน(เทียบจากน้ำหนักไคติน)มากที่สุด (73.63%) รองลงมาเป็นเปลือกแมงดาทะเล (70.73%) เปลือกปูทะเล (70.64%) และแกนหมึกกระดอง (61.23%) ตามลำดับ ไคโตซานที่ผลิตได้มี pH อยู่ในช่วง 6.35 – 7.78 ค่าความชื้น 1.36 – 4.74 % และเถ้า 0.13 – 0.67 % ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิลในไคโตซานปูทะเล ไคโตซานกุ้งขาว ไคโตซานหมึกกระดอง และไคโตซานแมงดาทะเลมีค่าเท่ากับ 69.30, 66.74, 64.29 และ 60.94 % ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบค่าความหนืดและค่าการละลายพบว่าไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวมีค่าสูงสุด รองลงมาเป็นไคโตซานจากเปลือกปูทะเล และเมื่อนำไคโตซานมากรองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบรูพรุนขนาดเล็ก และมีปริมาณมากกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ผลการศึกษาความพรุนตัวด้วย BET Surface Area Analyzer พบว่าไคโตซานปูทะเลมีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนสูงกว่าไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว แกนหมึกกระดอง และเปลือกแมงดาทะเล ตามลำดับ

เมื่อนำไคโตซานมาขึ้นรูปเป็นเม็ดบีดและศึกษาโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าไคโตซานบีดมีรูพรุนขนาดใหญ่กว่าไคโตซานเดิม และพบรูพรุนกระจายตัวอยู่ทั่วไป โดยไคโตซานบีดหมึกกระดอง และแมงดาทะเลมีรูพรุนขนาดใหญ่จัดเรียงอย่างสม่ำเสมอ ส่วนไคโตซานบีดกุ้งขาว และปูทะเลพบรูพรุนซึ่งมีทั้งขนาดเล็กและใหญ่กระจายตัวอยู่ทั่วไป ผลการทดสอบการดูดซับกลิ่นแอมโมเนีย และฟอร์มาลดีไฮด์ในช่วงเวลา 1 นาทีถึง 4 ชั่วโมง พบว่าไคโตซานบีดทั้ง 4 ชนิดสามารถดูดซับสารละลายแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 18 mg/l ระดับ pH 9 ในเวลา 2 ชั่วโมงได้ดีที่สุด โดยไคโตซานบีดหมึกกระดองให้ค่าการดูดซับมากที่สุด (59.12%) ถัดมาเป็นไคโตซานบีดแมงดาทะเล (51.45%) ไคโตซานบีดปูทะเล (45.66%) และไคโตซานบีดกุ้งขาว (42.52%) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ไคโตซานบีดหมึกกระดอง ไคโตซานบีดปูทะเล และไคโตซานบีดกุ้งขาวมีการดูดซับสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุดที่ความเข้มข้น 8 µg/ml ระดับ pH 5 ในเวลา 30 นาที ส่วนไคโตซานบีดแมงดาทะเลมีค่าการดูดซับสูงสุดที่ pH 7 และค่าการดูดซับมีความสัมพันธ์กับปริมาณไคโตซานบีด ผลงานวิจัยแสดงถึงปัจจัยของความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ และ pH ที่มีผลต่อคุณภาพไคโตซานบีด และประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่น

Pakawan Pankhoingam 2009: Efficacy of Chitosan Beads from Marine Animal Shells for the Adsorption of Ammonia and Formaldehyde Gas. Master of Science (Marine Science), Major Field: Marine Science, Department of Marine Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Jintana Salaenoi, Ph.D. 102 pages.

Properties of chitosan produced from 4 marine animal shells; white leg shrimp shell, mud crab shell, horseshoe crab shell and cuttlefish bone, were investigated. The highest yield (calculated from weight of chitin) was obtained from shrimp shell (73.63%) followed by horseshoe crab shell (70.73%) crab shell (70.64%) and cuttlefish bone (61.23%). The pH values of chitosan products derived from 4 marine shells were in the range of 6.35 – 7.78. Moisture and ash contents of chitosan products were in the range of 1.36 – 4.74 and 0.13 – 0.67 %, respectively. Chitosan from crab, shrimp, cuttlefish and horseshoe crab shell indicated moderate degree of deacetylation, those are, 69.30, 66.74, 64.29 and 60.94 %, respectively. Viscosity and dissolution properties of shrimp chitosan revealed the highest values followed by crab chitosan . Under SEM study, all chitosan products showed small pores with regular distribution pattern, however, crab chitosan exhibited larger surface area and bigger pore volume than shrimp, cuttlefish and horseshoe crab shells chitosan.

Chitosan from the shells were shaped as beads and distinctly examined characters under SEM. The bead structures consisted of large pores, comparing to the original ones, distributed all surface area. The cuttlefish bone and horseshoe crab shell beads showed the large pores with regular performance while those of shrimp and crab were mingled. After testing the efficacy of adsorbing gas within 4 hours, the 4 - chitosan beads exhibited the best adsorption at pH 9 in 18 mg/l ammonia at 2 hours and the highest yield were cuttlefish chitosan bead (59.12%), horseshoe crab (51.45%) crab (45.66%) and shrimp (42.52%), respectively. In addition, the beads from cuttlefish bone, crab and shrimp chitosan had the maximum capacity to adsorb formaldehyde (8 µg/ml) at pH 5 within 30 minutes, but at pH 7 for horseshoe crab chitosan. The adsorption capacity and the amount of beads were found related. The research results showed the relations between pH and the gas concentration affected to the quality of chitosan beads in the adsorption capacity.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตนา สและน้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษาทั้งด้านการศึกษา การวางแผนงานวิจัย ตลอดจนแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิต ชูเชิด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุริยัน รัชฎกิจจานุกิจ ผู้แทนบัณฑิต และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทนา กาญจน์กมล ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้ความกรุณาแนะนำ และช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย วรรณเมธิกุล ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร. เมตตา เจริญพานิช ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการวิจัย บริษัทไทยรอแอสฟรอสเซนต์ จำกัด ที่อนุเคราะห์ให้เปลื้องกั้วขาวในการทดลอง รวมทั้งขอขอบพระคุณการสนับสนุนทุนวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัย และทุนจากโครงการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมวิไล ชื่นศรี และขอขอบคุณ นางสาวพิพร ฤกษ์พุดิ นางสาวจิรนนท์ อินทนามคม นางสาวภัทราวดี ศรีมีเทียน นายอภิวัฒน์ เศรษฐมมงคล รวมทั้งเพื่อน พี่ น้อง ชาวมีนกร และเจ้าหน้าที่จากภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง และภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ (นายเชียวชาญ - นางกาญจนา ปานข่อยงาม) และครอบครัว ที่สนับสนุนและเป็นแรงใจสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ภควรรณ ปานข่อยงาม

กันยายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	18
อุปกรณ์	18
วิธีการ	19
ผลและวิจารณ์	32
สรุปและข้อเสนอแนะ	69
สรุป	69
ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	71
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก การทดสอบ และตารางแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่น	81
ภาคผนวก ข ภาพการทดลอง	95
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	102

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ	13
2	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นแอมโมเนีย	29
3	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นฟอर्मัลดีไฮด์	31
4	ผลผลิตไคตินและไคโตซาน(เทียบจากน้ำหนักไคติน) จากเปลือกสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ	33
5	สมบัติของเปลือกสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ	35
6	สมบัติของไคตินจากเปลือกสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ	36
7	สมบัติของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ	38
8	เปอร์เซ็นต์การระเหยของสารละลายแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	45
9	ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดที่ pH 8 - 10	52
10	ประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียที่ไคโตซานบีดปริมาณต่าง ๆ	54
11	เปอร์เซ็นต์การระเหยของสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	57
12	ประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานบีดที่ pH 5 - 9	64
13	ประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ที่ไคโตซานบีดปริมาณต่างๆ	66
ตารางผนวก ที่		
ก1	ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดกุ้งขาว ที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ	83
ก2	ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดปูทะเล ที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ	84
ก3	ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดหมึกกระดองที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ	85
ก4	ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดแมงดาทะเลที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวก ที่	หน้า
ก5 การเตรียม Working Standard formaldehyde	87
ก6 ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ของไคโตซานบีด กึ่งขาวที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ	89
ก7 ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ของไคโตซานบีด ปุ้ทะเลที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ	90
ก8 ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ของไคโตซานบีด หมึกกระดองที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง	91
ก9 ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ของไคโตซานบีด แมงดาทะเลที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ	92

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างทางเคมีของไคติน และไคโตซาน	6
2	ไคตินกุ้งขาว และไคโตซานกุ้งขาว	33
3	ไคตินปูทะเล และไคโตซานปูทะเล	33
4	ไคตินหมีกกระดอง และไคโตซานหมีกกระดอง	34
5	ไคตินแมงดาทะเล และไคโตซานแมงดาทะเล	34
6	พื้นที่ผิวของเปลือกสัตว์ทะเลที่ถ่ายด้วย SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า	39
7	พื้นที่ผิวของไคตินที่ถ่ายด้วย SEM กำลังขยาย 10,000 เท่า	40
8	พื้นที่ผิวของไคโตซานที่ถ่ายด้วย SEM กำลังขยาย 15,000 เท่า	41
9	ไคโตซานบีดกุ้งขาว, ไคโตซานบีดปูทะเล, ไคโตซานบีดหมีกกระดอง และไคโตซานบีดแมงดาทะเล	42
10	พื้นที่ผิวภายในของไคโตซานบีดที่ถ่ายด้วย SEM กำลังขยาย 250 เท่า	43
11	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การระเหยของสารละลายแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้น 18 – 24 mg/l ในเวลา 48 ชั่วโมง	45
12	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดกุ้งขาว, ไคโตซานบีดปูทะเล, ไคโตซานบีดหมีกกระดอง และไคโตซานบีดแมงดาทะเล	48
13	ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดกุ้งขาว, ไคโตซานบีดปูทะเล, ไคโตซานบีดหมีกกระดอง และไคโตซานบีดแมงดาทะเล	49
14	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย 18, 20, 22 และ 24 mg/l	51
15	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียเมื่อใช้ชนิดไคโตซานบีด และระดับ pH ที่แตกต่างกัน	53
16	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียที่ชนิดไคโตซานบีด และปริมาณต่าง ๆ	55
17	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การระเหยของสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้น 4 – 10 µg/ml ในเวลา 48 ชั่วโมง	57
18	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ถูกดูดซับด้วยไคโตซานบีดกุ้งขาว, ไคโตซานบีดปูทะเล, ไคโตซานบีดหมีกกระดอง และไคโตซานบีดแมงดาทะเล	60

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานบีดกึ่งขาว, ไคโตซานบีดปุทะเล, ไคโตซานบีดหมึกกระดอง และไคโตซานบีดแมงดาทะเล	61
20	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฟอर्मัลดีไฮด์ที่ถูกดูดซับด้วยไคโตซานบีดแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นของสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ 4, 6, 8 และ 10 $\mu\text{g/ml}$	62
21	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์เมื่อใช้ชนิดไคโตซานบีดและระดับ pH ที่แตกต่างกัน	65
22	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ที่ชนิดไคโตซานบีดและปริมาณต่าง ๆ	67
ภาพผนวก ที่		
ก1	กราฟมาตรฐานของฟอर्मัลดีไฮด์	88
ก2	กราฟโพลีโนเมียลแสดงการดูดซับสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 $\mu\text{g/ml}$ ของไคโตซานบีดกึ่งขาว	93
ก3	กราฟโพลีโนเมียลแสดงการดูดซับสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 $\mu\text{g/ml}$ ของไคโตซานบีดปุทะเล	93
ก4	กราฟโพลีโนเมียลแสดงการดูดซับสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 $\mu\text{g/ml}$ ของไคโตซานบีดหมึกกระดอง	94
ก5	กราฟโพลีโนเมียลแสดงการดูดซับสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 $\mu\text{g/ml}$ ของไคโตซานบีดแมงดาทะเล	94
ข1	การผลิตไคตินจากเปลือกสัตว์ทะเล	96
ข2	การผลิตไคโตซาน	96
ข3	การวิเคราะห์หาปริมาณแฉ่ำ, การวิเคราะห์ความเป็นกรด – ด่างของไคโตซาน	96
ข4	การไตเตรตทดสอบหาปริมาณแคลเซียมในเปลือกสัตว์ทะเล, การไตเตรตทดสอบหาระดับการกำจัดหมู่อะซีทิลในไคโตซานแต่ละชนิด	97
ข5	การวิเคราะห์หาความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer ชุด RV Spindle	97

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวก ที่	หน้า
ข6 การศึกษาลักษณะภายนอกของไคโตซานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	98
ข7 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของไคโตซานด้วย BET Surface Area Analyzer	98
ข8 การเตรียมไคโตซานบีด	99
ข9 ลักษณะเง้าของเปลือก, ไคติน และไคโตซานกุ้งขาว	99
ข10 ลักษณะเง้าของเปลือก, ไคติน และไคโตซานปูทะเล	99
ข11 ลักษณะเง้าของแกนหมึก, ไคติน และไคโตซานหมึกกระดอง	100
ข12 ลักษณะเง้าของเปลือก, ไคติน และไคโตซานแมงดาทะเล	100
ข13 การทดสอบดูดซับกลิ่นฟอรั่มัลดีไซด์	100
ข14 สีของสารละลายฟอรั่มัลดีไซด์ที่ความเข้มข้น 1 - 10 $\mu\text{g/ml}$ จากการสร้างกราฟมาตรฐาน	101
ข15 ไคโตซานบีดกุ้งขาว, ไคโตซานบีดปูทะเล, ไคโตซานบีดหมึกกระดอง และไคโตซานบีดแมงดาทะเลที่ผ่านการดูดซับสารสี	101

ประสิทธิภาพของไคโตซานปัดจากเปลือกสัตว์ทะเลในการดูดซับกลิ่น แอมโมเนีย และฟอร์มัลดีไฮด์

Efficacy of Chitosan Beads from Marine Animal Shells for the Adsorption of Ammonia and Formaldehyde Gas

คำนำ

ไคตินเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่สิ่งมีชีวิตสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็น โครงร่างแข็ง หรือใช้เป็นเกราะป้องกันอันตราย โดยทั่วไปมักพบไคตินในเปลือกของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น กุ้ง ปู และแมลงชนิดต่างๆ (Budavari *et al.*, 1996) ในธรรมชาติไม่พบไคตินเป็นโครงสร้างหลักใดๆ แต่พบในรูปของสารประกอบที่ปะปนอยู่กับสารชนิดอื่นเช่น แคลเซียม และโปรตีน เป็นต้น เนื่องจากไคตินเป็นสารโพลีเมอร์ที่ไม่มีประจุ ทำให้ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วและไม่มีขั้วได้ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไคตินให้เป็นสารใหม่ที่เรียกว่า ไคโตซาน โดยการกำจัดหมู่อะซีติลออกจากไคติน ทำให้เกิดเป็นโพลีเมอร์ที่สามารถละลายในกรดอินทรีย์ได้ ซึ่งมีการศึกษาการสกัดไคโตซานจากเปลือกสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เขียวภา (2534) ทดลองสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว เกตุสุดา (2545) สกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งกุลาดำ อธิยา และคณะ (2536) สกัดไคโตซานจากกระดองหมึกกล้วย กระดองหมึกหอม เปลือกปูม้า เปลือกปูทะเล เปลือกกุ้ง และหัวกุ้ง พัฒนพันธ์ (2545) สกัดไคโตซานจากเปลือกหอยเชลล์ หอยลาย หอยเสียบ หอยแมลงภู่ และหอยหลอด นอกจากนี้ปัจจุบันมีการนำไคโตซานมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายเช่น ทางด้านการเกษตร ใช้เป็นสารปรับสภาพดินสำหรับเพาะปลูก (Hirano, 1996) ช่วยเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด (Li and Wu, 1998) ใช้เป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโต และสารต้านทานโรคพืช (Chandrkrachang, 2002) ด้านเส้นใยและสิ่งทอเช่น ใช้ผลิตเป็นเส้นใย (Struszczyk, 1997) หรือใช้เป็นสารช่วยในกระบวนการสิ่งทอ (Arab-Bahmani *et al.*, 2000) ด้านอาหาร เช่น ใช้ทำฟิล์มห่อหุ้มเพื่อถนอมอาหาร (Krasavtsev *et al.*, 2002) และด้านการบำบัดน้ำ เช่น ใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพ (Selmer-Olsen *et al.*, 1996) และกำจัดสีในน้ำทิ้ง (Chiou and Li, 2003) เป็นต้น ไคโตซานที่ผลิตจากวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้มีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของไคตินและ ไคโตซานจากเปลือกสัตว์ทะเลหลายชนิด ทำให้ทราบถึงข้อมูลพื้นฐานซึ่งนำไปสู่การประยุกต์หรือการปรับปรุงสมบัติ เพื่อทำให้มีประสิทธิภาพตรงกับลักษณะการใช้งานมากยิ่งขึ้น

ไคโตซานเป็นสาร โพลีเมอร์ สายตรงที่มีขั้วฟิออซเป็นกรด โดยประจุบวกของไคโตซานจะ ทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับพื้นผิวที่มีประจุลบเพื่อทำให้เกิด การแลกเปลี่ยนประจุ ไคโตซานจึงมี ความสามารถในการเกาะเป็นกลุ่มได้ อย่างดี (สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ , 2548) โดยสามารถแลกเปลี่ยนประจุกับ โปรตีน สีย้อม และกรดไขมันอิสระ ที่อยู่ในรูปแบบสารละลายได้ดี ส่วนโลหะหนักซึ่งเป็นประจุบวกอยู่แล้วไคโตซานจะจับ กับอิเล็กตรอนของไนโตรเจนในหมู่อะมิโน ($-NH_2$) เพื่อให้เกิดพันธะเคมีเชิงซ้อนขึ้น (รัตนและจินตนา, 2544) ไคติน และไคโตซานจึงทำงานเป็นทั้งตัวสร้าง ตะกอน และตัวตกตะกอนได้ดี (ป๊วย, 2548) การเตรียมไคโตซานให้อยู่ในรูปแบบเม็ดบีด โดยการละลาย ไคโตซานในกรดอะซิติก หรือกรดฟอร์มิก แล้วหยดหรือพ่นลงในสารขึ้นรูปเช่น สารละลาย NaOH หรือ NaOH – methanol เป็นต้น พบว่าความแข็งแรง และขนาดของรูพรุนของไคโตซานบีดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน ระดับการกำจัดหมู่อะซิติก ชนิดและความเข้มข้นของสาร ขึ้นรูป (Majeti, 2000) ซึ่งการทำเป็นเม็ด บีดเป็นวิธีการ เพิ่มรูพรุน และพื้นที่ผิวทำให้ ไคโตซานมีความเหมาะสมต่อการดูดซับมากยิ่งขึ้น เนื่องจากไคโตซานบีดเป็นของแข็งเมื่อใช้ในการดูดซับแล้วยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการนำไคโตซานที่อิ่มตัวด้วยแก๊สพิษมาทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อฟื้นฟูสภาพไคโตซานขึ้นมาใหม่ (มณฑิชา และคณะ, 2543) ประกอบกับ ไคโตซานเป็นสารที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยต่อการใช้งานกับมนุษย์, สัตว์ และสิ่งแวดล้อม ไคโตซานจึงถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในด้านการบำบัดน้ำเสียชนิดต่าง ๆ รวมทั้งใช้กำจัดแก๊สไนโตรเจนออกไซด์จากท่อไอเสียรถยนต์ (สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ, 2548)

เนื่องจากปัญหาสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบัน ที่นับวันยิ่งทวีความรุนแรง มากขึ้น ทั้งมลพิษทางน้ำ มลภาวะทางอากาศ การปล่อยควันไอเสีย และน้ำทิ้งจากบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม ส่งผลให้ ประชากรที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าว ได้รับการสะสมสารพิษเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งอาจแสดงอาการเป็น พิษโดยเรื้อรัง หรือฉับพลัน การพยายามนำสารจากธรรมชาติมาพัฒนาเป็นสารดูดซับมลพิษเหล่านี้ จึงเป็นแนวความคิดในการลดปัญหามลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งเป็นการป้องกันการเกิด สารตกค้าง หรือผลข้างเคียงอื่น ๆ ที่อาจเกิดจากการใช้สารเคมีเป็นตัวบำบัดต่อผู้ใช้ได้ ประกอบกับ ไคโตซานเป็นสารชีวภาพที่มีความพรุนตัวสูง หากนำมาพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบเม็ดบีด ซึ่งเป็นการเพิ่ม พื้นที่ผิวให้กับไคโตซานมากยิ่งขึ้น และจะส่งผลให้เกิดการดูดซับดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี และกายภาพของไคติน และไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกสัตว์ทะเลชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เปลือกกุ้งขาว เปลือกปูทะเล แคนหมึกกระดอง และเปลือกแมงดาทะเล
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นไอระเหยของแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ และฟอร์มัลดีไฮด์ เมื่อใช้ไคโตซานที่ผลิตมาจากวัตถุดิบต่างชนิด และที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

การตรวจเอกสาร

1. ชีวิตวิทยาของสัตว์ทะเลที่นำมาผลิตโคโตซาน

แมงดาทะเล (Horseshoe crab)

จุฬ (2528) ได้ทำการจำแนกชนิด และการแพร่กระจายของแมงดาทะเลพบว่า ในปัจจุบันมีแมงดาทะเลเหลือเพียง 4 ชนิดในโลก โดยพบในประเทศไทย 2 ชนิดคือ แมงดาจาน (*Tachypleus gigas*) และ แมงดาถ้วย (*Carcinoscorpius rotundicauda*) ซึ่งแมงดาหางกลมหรือแมงดาถ้วย หางมีลักษณะค่อนข้างกลมเรียบ ไม่มีสัน ส่วนแมงดาจานหางมีลักษณะเป็นสันรูปสามเหลี่ยม ตัวผู้มีขาจับ 2 คู่ ลักษณะคล้ายกำหนับ (hook) ซึ่งเรียกว่า clasper แมงดาทะเลขนาดใหญ่สุดมีความยาวกระดอง 20 – 25 cm ความกว้างกระดองไม่เกิน 15 cm พบในมหาสมุทรแปซิฟิก บริเวณตอนใต้ของฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย มาเลเซีย อ่าวเบงกอล และประเทศไทย

รูปร่างลักษณะของแมงดาทะเลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ส่วนแรกคือส่วนหัว ส่วนนี้จะถูกปกคลุมด้วยกระดองรูปครึ่งวงกลมคล้ายเกือกม้า ซึ่งรวมส่วนหัวกับส่วนอกไว้ด้วยกัน เรียกว่า cephalothorax ส่วนที่ 2 เป็นส่วนท้อง (abomen) เป็นรูปหกเหลี่ยม บริเวณด้านข้างมีหนาม 6 คู่ และส่วนที่ 3 คือส่วนหาง ที่ปลายหางมีลักษณะเรียวยาวแหลม (จุฬ, 2528)

หมึกกระดอง (Rainbow Cuttlefish)

หมึกกระดองเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ที่ผ่านการวิวัฒนาการจนเปลือกกลับเข้าไปอยู่ในลำตัว โดยเปลือกนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่นแบนกว้างรูปไข่และหนา เนื่องจากมีการสะสมของหินปูนที่เรียกว่า Cuttle bone หรือ ถิ่นทะเล ซึ่งกระดองหรือเปลือกที่อยู่ภายในลำตัวของหมึกกระดองนี้ นอกจากจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างภายในของร่างกายแล้ว ยังสามารถใช้ในการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง หรือการลอยตัวอยู่กับที่ให้กับหมึกกระดองอีกด้วย (จารุวัฒน์, 2536)

หมึกกระดองมีลำตัวแบนยาวรี มีครีbsd้านข้างตลอดความยาวลำตัวแต่ไม่เชื่อมต่อกันในตอนท้ายตัว (เจดจินดา, 2538) หมึกประกอบด้วยส่วนหัวและลำตัว ส่วนหัวประกอบด้วยแขน (arm) มี 4 คู่ หนวดจับ (tentacle) 1 คู่ ปาก (mouth) โดยบนแขนและหนวดจะประกอบด้วยปุ่มดูด (Sucker) หนวดจับมี 2 เส้น มีความยาวกว่ารังค์คู่อื่น ใช้สำหรับจับอาหารหรือจับเหยื่อ ลำตัว (mantle) กีบตาจะเป็นส่วนที่ติดอยู่กับส่วนหัว มีครีบ (fin) ที่ใช้สำหรับในการขับเคลื่อน, มีท่อขับน้ำ

(funnel) อยู่ทางด้านท้องระหว่างหัวและลำตัว เปลือก (shell) อยู่ใต้เนื้อเยื่อคลุมตัว (mantle) ตามเนื้อเยื่อคลุมตัวจะมีเซลล์เรืองแสง (photophore) และจุดสี (chromatophore) กับมีถุงหมึก (ink sac) อยู่บริเวณผนังด้านล่างก่อนไปทาง ด้านท้ายลำตัว ทำหน้าที่ป้องกันตัว และพรางตัวให้กลมกลืนกับสภาพแวดล้อม (จิราพร, 2546)

ปูทะเล (Mud Crab)

ปูทะเลมีส่วนหัวกับอกรวมกันเรียกว่า cephalothorax ซึ่งส่วนนี้จะมีกระดองห่อหุ้มไว้ กระดองของปูทะเลมีลักษณะเป็นรูปไข่ และมีหนามข้างละ 9 อันเรียงจากทางด้านซ้ายไปด้านขวา ปูทะเลมีขา 5 คู่ โดยขาคู่แรกอยู่หน้าสุดมีขนาดใหญ่เรียกว่า ก้ามหนีบ ใช้ในการจับเหยื่อและป้องกันตัว ปลายสุดของขาคู่ที่ 2 - 4 มีลักษณะแหลมเรียกว่า ขาเดิน ใช้ในการเดินเคลื่อนที่ ส่วนขาคู่ที่ 5 ซึ่งเป็นคู่สุดท้ายเรียกว่า ขาวว่ายน้ำ ตอนปลายสุดของขาคู่นี้มีลักษณะแบนคล้ายใบพาย เพื่อความสะดวกในการว่ายน้ำ (อนุวัฒน์และคณะ, 2541) ปูทะเลเจริญเติบโตโดยอาศัยการลอกคราบ เนื่องจากกระดองของปูเป็นสารประกอบพวกหินปูนที่มีความแข็งแรงมาก จึงไม่สามารถยืดขยายตัวออกไปได้อีก ดังนั้นเมื่อปูเจริญเติบโตเต็มที่แล้วเนื้อ จะแน่นเต็มกระดอง ก็จะทำการลอกคราบเพื่อขยายขนาดโดยสร้างกระดองใหม่มาแทนที่ (ธนัญญา และวิทยา, 2547)

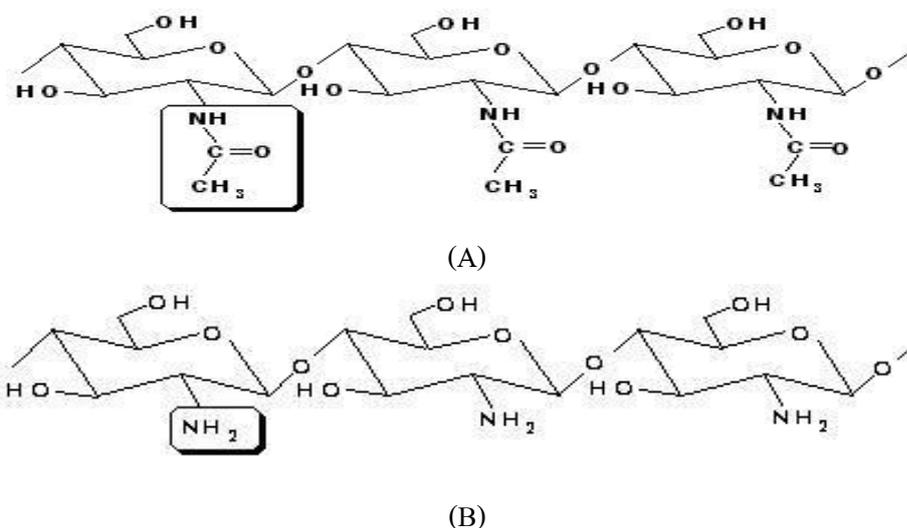
กุ้งขาว (White leg shrimp)

กุ้งขาวเป็นกุ้งที่มีเปลือกเรียบเกลี้ยงเป็นมัน กริมีขนาดยาวพอประมาณ บริเวณเปลือกคลุมหัวและอกมีหนวดคู่ที่ 2 และหนามตับ (hepatic spine) ชัดเจน ไม่พบหนามบริเวณตา ไม่มีร่องตา (postocular sulcus) กุ้งขาวมีลักษณะแตกต่างจากกุ้งชนิดอื่นในสกุลเดียวกันตรงที่ลำตัวเป็นสีขาวโปร่ง บางครั้งอาจเป็นสีฟ้า สันข้างกรีจะมีความยาวถึงพินกรีอันสุดท้าย พินกรีด้านบนมีลักษณะโค้งเล็กน้อยจำนวน 9 อัน ส่วนพินกรีด้านล่างมีเพียง 2 อัน (ประจวบ, 2525 อ้างถึงใน พรรณิกา, 2547) อวัยวะสืบพันธุ์ของเพศผู้ (petasma) สมมาตรกัน มีลักษณะกึ่งเปิดคล้ายรูปตะขออยู่ในส่วนของ endopod ของขาว่ายน้ำคู่ที่ 1 ส่วนอวัยวะสืบพันธุ์ของเพศเมีย (thelycum) เป็นแบบเปิดตั้งอยู่บริเวณฐานของขาเดินคู่ที่ 4 และ 5 มีสันนูน 14 สัน ลักษณะแบนข้างหรือเป็นร่อง (Perez Farfante and Kensley, 1997 อ้างถึงใน อรอนงค์, 2547)

2. ไคตินและไคโตซาน

ไคติน เป็นสารโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิด กลูโคส มาต่อกันเป็นสายยาว ซึ่งมีหมู่อะซีโตมิโด (-NHCOCH₃) เป็นองค์ ประกอบเรียกว่า polyacetyl amino glucose (ปิยะบุตร, 2547) ไคตินมีชื่อทางเคมีว่า poly-β-(1,4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose มีสูตรโมเลกุล (C₈H₁₃O₅N)_n ประกอบด้วย คาร์บอน 47.29% ไฮโดรเจน 6.45% ไนโตรเจน 6.89% และออกซิเจน 39.37% โดยน้ำหนัก เนื่องจากไคตินเป็นสารโพลีเมอร์ที่ไม่มี ประจุ ทำให้ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วและไม่มีขั้วได้ ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของไคตินที่สกัดได้โดยวิธีทางเคมีให้เป็นสารใหม่ที่เรียกว่า ไคโตซาน (รัตมณี, 2540)

ไคโตซาน เป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีหมู่อะมิโน (-NH₂) มาประกอบเรียกว่า poly amino glucose มีสูตรโมเลกุล (C₈H₁₂O₄N)_n ไคโตซานมีชื่อทางเคมีว่า poly-β-(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose (รัตมณี, 2540) ไคโตซานจัดเป็นอนุพันธ์ของไคติน ซึ่งเกิดจากการกำจัดหมู่ อะซีทิล (deacetylation) ออกจากไคตินในสารละลายต่างเข้มข้น เพื่อให้เกิดเป็นโพลีเมอร์ที่สามารถ ละลายในกรดอินทรีย์ได้หลายชนิด เช่น กรดอะซิติก , กรดซिटริก และกรดแลคติก เป็นต้น ปัจจุบัน จึงมีการนำไคโตซานไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่าง ๆ มากกว่าไคติน แต่ไคโตซาน ยังคงไม่สามารถ ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ น้ำ และเบสได้ (ปิยะบุตร, 2547)



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของไคติน (A) และไคโตซาน (B)

ที่มา: ประภัสสร (2549)

การผลิตไคตินและไคโตซาน

การผลิตไคตินสามารถทำได้ 2 วิธีคือ การผลิตจากกระบวนการทางชีวภาพ และจากกระบวนการทางเคมี ซึ่งกระบวนการทางชีวภาพเป็นการสกัดไคตินจากจุลินทรีย์ที่ทำการเพาะเลี้ยง เช่น เชื้อรา หรือยีสต์ โดยการใส่เอ็นไซม์ในการเข้าทำปฏิกิริยา เป็นวิธีที่มีความยุ่งยาก จึงใช้ในกรณีที่เปลือกของสัตว์น้ำมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ ส่วนขั้นตอนการผลิตไคติน และไคโตซานด้วยกระบวนการทางเคมี รวบรวมจากจิราภรณ์ (2544) รัตนา (2544) และศูนย์ชีวภาพไคติน ไคโตซาน (2548) สรุปได้ดังต่อไปนี้คือ นำเปลือกหรือกระดองของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังไปตากแดดให้แห้ง แล้วบดให้มีขนาดเล็ก หลังจากนั้นจึงนำไปกำจัดแร่ธาตุออกจากเปลือกสัตว์น้ำโดยใช้สารละลายกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก เมื่อกำจัดแร่ธาตุออกหมดแล้วจึงนำมากำจัดโปรตีนด้วยสารละลายเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1 – 10% อุณหภูมิประมาณ 65 – 100 °C เป็นเวลาประมาณ ½ - 6 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายต่างและอุณหภูมิที่ใช้ ต่อมาจึงกำจัดรงควัตถุออกโดยใช้ เอทานอล หรือ อะซิโตน และอาจใช้สารฟอกขาวอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ หรือโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต เป็นต้น ผลผลิตที่ได้จากขั้นตอนนี้คือไคติน หลังจากนั้นเมื่อนำไคตินมาทำปฏิกิริยากับสารละลายต่างเข้มข้นเช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลผลิตที่ได้คือไคโตซาน โดยหลักเกณฑ์สำคัญที่ใช้ในการผลิตไคโตซานคือเมื่อนำไคตินมาทำปฏิกิริยากับสารละลายต่างที่เข้มข้นมาก ควรลดอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาลง เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของไคโตซาน

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพไคโตซาน

คุณภาพของไคตินมีผลต่อคุณภาพของไคโตซานที่ผลิตได้ เนื่องจากไคตินเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไคโตซาน การที่ไคตินจะมีคุณภาพดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่างคือ วัตถุดิบที่นำมาผลิต และกรรมวิธีที่ใช้ในการสกัด ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. ขนาดของวัตถุดิบ การใช้วัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก (1 mm) จะให้ไคโตซานที่มีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลสูง กว่า การใช้วัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ (2, 6.4 mm) เนื่องจากไคตินที่มีขนาดใหญ่ต้องการใช้เวลาในการบวมตัวนานกว่า อัตราเร็วในการกำจัดหมู่อะซิติลจึงเกิด ขึ้นช้ากว่า และส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยา depolymerization สูงตามมา (Bough *et al.*, 1978)

2. ชนิดของสารละลาย สารละลายต่างที่นิยมใช้ในการกำจัดหุ่อะซีตลในไคดลนคื สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ในการกำจัดหุ่อะซีตล ยังมีผลทำให้ได้ไคโตซานที่มีความหนืดสูงกว่าการใช้สารละลายต่างชนิดอื่น (รัตมณี, 2540)

3. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและ ความเข้มข้นของสารละลายต่าง ระดับการเกิดปฏิกิริยา deacetylation จะเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของปฏิกิริยา หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งคงที่ Wu and Bough (1978) พบว่าหากนำไคดลนไปทำปฏิกิริยากำจัดหุ่อะซีตลใน สารละลาย 50 % โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ไคโตซานที่ผลิตได้จะมีระดับการกำจัดหุ่อะซีตล 68% แต่หากเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อไปเป็น 5 ชั่วโมง ระดับของการกำจัดหุ่อะซีตลจะมีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่น้ำหนักโมเลกุล และความหนืดของไคโตซานจะลดต่ำลง นอกจากนี้ Alimuniar and Zainuddin (1992) พบว่าหากใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่างต่ำเกินไปหรือกระทำในสภาวะที่ไม่รุนแรงพอ อาจส่งผลทำให้ไคโตซานไม่สามารถละลายในกรดอินทรีย์ได้ เช่นการใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 45% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน

4. อุณหภูมิในการกำจัดหุ่อะซีตล การกำจัดหุ่อะซีตลส่วนมากจะกระทำที่ อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง ได้แก่ อุณหภูมิ 80 – 100 °C และ 145 – 150 °C ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้ระดับการกำจัดหุ่อะซีตลของไคโตซานสูงขึ้น แต่น้ำหนักมวลโมเลกุลของไคโตซานจะลดลง (ศูนย์วิจัยชีวภาพไคดลนไคโตซาน , 2548) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปในการกำจัดหุ่อะซีตลจะทำให้ไคโตซานที่ผลิตได้สูญเสียสภาพธรรมชาติ และ โมเลกุลเกิดปฏิกิริยาเสื่อมสภาพได้ (degradation) จึงควรลดอุณหภูมิในการกำจัดหุ่อะซีตลลงหากใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่างที่สูงขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภาวะในการกำจัดหุ่อะซีตลที่รุนแรงเกินไป

5. สภาวะในช่วงการผลิตไคดลน การแยกแร่ธาตุในขั้นตอนการผลิต ไคดลนมีผลต่อขนาดโมเลกุลของไคโตซาน โดยการใช้กรดเกลือที่มี pH ไม่ต่ำกว่า 3 จะได้ไคโตซานที่มีความหนืดสูง นอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดของไคโตซานจะลดลง เมื่อเพิ่มระยะเวลาใน ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ (Myint *et al.*, 2002) และยังพบว่าในกระบวนการผลิตหากทำการแยกแร่ธาตุออกก่อนกำจัด โปรตีนไคโตซานที่ได้จะมีค่าความหนืดสูงกว่าไคโตซานที่ผลิตจากขั้นตอนการแยก โปรตีนออกก่อนแร่ธาตุ (Lertsutthiwong *et al.*, 2002)

6. อัตราส่วนระหว่างไคตินกับสารละลายต่าง เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของไคโตซาน โดยสารละลายต่างที่ใช้ควรมีปริมาณมากเพียงพอในการทำให้เกิดปฏิกิริยากับไคตินได้อย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตาม รัตนา (2544) รายงานว่า อัตราส่วนของไคตินต่อสารละลายต่างที่สูง มากกว่า 1 : 10 จะไม่มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา deacetylation ของไคติน

7. การฟอกสี โดยใช้ 0.5% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีผล ทำให้ความหนืด ของสารละลายไคโตซานใน 2% acetic acid มีค่าลดลง ส่วน ไคโตซานที่ไม่ผ่านกระบวนการฟอกสีจะมีความหนืดมากกว่าไคโตซานชนิดที่ฟอกสีหลังกำจัดแร่ธาตุ ฟอกสีหลังกำจัดโปรตีน และฟอกสีหลังกำจัดหมู่อะซิติล ตามลำดับ (รัตมณี, 2540)

นอกจากนี้ยังพบว่า เปลือกสัตว์น้ำที่ต่างชนิดกัน ย่อมส่งผลทำให้ได้ปริมาณไคตินและไคโตซานที่แตกต่างกันดังนี้ กระจดองหมึกกล้วย กระจดองหมึกหอม เปลือกกุ้ง และหัวกุ้ง ให้ปริมาณไคโตซาน 30, 28, 22.5 และ 14% (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ โดยเปลือกกุ้งให้ปริมาณไคโตซานมากกว่าส่วนหัว (อัธยา และคณะ, 2536) เขาวงกต (2534) ผลิตไคติน และไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว ได้ 29.33 และ 22.89% ตามลำดับ ส่วนเปลือกหอยให้ผลผลิตเป็นไคตินต่ำเนื่องจากส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของแคลเซียม จากการทดสอบของ พัฒนันท์ (2545) ที่ได้สกัดไคโตซานจากเปลือกหอย 5 ชนิดคือ หอยเชลล์ หอยลาย หอยเสียบ หอยแมลงภู่ และหอยหลอด พบว่า เมื่อนำเปลือกหอยมากำจัดแร่ธาตุและโปรตีนออก จะเหลือเป็นไคตินเพียง 0.02 – 1.99% เท่านั้น ส่วนปูม้า และปูทะเลมีปริมาณไคติน 18.51 และ 14.14% ซึ่งส่วนใหญ่ไคตินสะสมอยู่ที่เปลือกขาเดินขาว่ายน้ำ มากที่สุด รองลงมาคือส่วนท้อง กระจดอง และก้ามตามลำดับ ปราณี (2541)

การที่เปลือกสัตว์ทะเลแต่ละชนิดมีการสะสมไคติน ในปริมาณที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีกิจกรรมในการดำรงชีวิตที่แตกต่างกัน ณรงค์ (2536 อ้างถึงใน ปราณี , 2541) อธิบายว่า ปูที่มีการเคลื่อนที่หรือมีกิจกรรมในรอบ วันสูงจะมีปริมาณไคตินต่อน้ำหนักเปลือกแห้งสูงกว่าปูที่มีการเคลื่อนที่หรือมีกิจกรรมต่ำ เนื่องจากต้องลดปริมาณแคลเซียมในเปลือกลง เพื่อให้ปูมีน้ำหนักเบาและสามารถเคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น จึงเกิดการสะสมไคตินในเปลือกชั้นสูงแทนเพราะไคตินเป็นสารที่มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นมากกว่า ดังนั้นปูม้าที่มีเปลือกเหนียวบาง และมีกิจกรรมในรอบวันสูงจะมีปริมาณไคตินในเปลือกสูงกว่าปูทะเลที่มีเปลือกแข็งแรง และมีพฤติกรรมฝังตัวอยู่กับที่ ในขณะที่ การทดสอบของ พัฒนันท์ (2545) พบว่าเปลือกหอยมีการสะสม แคลเซียมและโปรตีนเป็นองค์ประกอบประมาณ 32.66 – 38.96% และ 0.55 – 4.89% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบหลักของเปลือกหอยคือเกลือแร่ ซึ่งมีปริมาณเต็มมากถึง 99.53 – 99.84%

สมบัติทางเคมี และกายภาพของไคตินและไคโตซาน

ไคตินและไคโตซานที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ต่างกัน ย่อมส่งผลทำให้มี สมบัติทางเคมี และกายภาพที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นการตรวจสอบสมบัติทางเคมี และกายภาพของไคตินและไคโตซาน จึงสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของไคตินและไคโตซานได้ โดยสามารถสรุป คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของไคตินและไคโตซานได้ดังนี้

1. การละลาย (Solubility) ไคตินและไคโตซานสามารถละลายได้ดีในกรดเข้มข้นจำพวก กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิก แต่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายทั่วไป เช่น น้ำ กรดเจือจางที่มีค่า pH มากกว่า 6 ต่างที่เจือจางหรือเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ (พัฒน์นัท, 2545)

2. ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล (Degree of Deacetylation, %DD) เป็นปัจจัยพื้นฐานทางโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อสมบัติของไคโตซาน เช่น การละลาย ความหนืด และการดูดความชื้น (นันทิยา, 2548) ซึ่งมีผลต่อการนำไปประยุกต์ใช้ เนื่องจากไคตินและไคโตซานเป็น โกลิโพลิเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ *N*-Acetyl-D-Glucosamine และ D-Glucosamine ภาวดี และคณะ (2543) กล่าวว่า ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิลจึงเป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคตินและไคโตซาน ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของ โมโนเมอร์แรกมากกว่า คือมีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีทิลต่ำจะแสดง สมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของ โมโนเมอร์ที่สองมีมากกว่า คือมีระดับการกำจัดหมู่อะซีทิลสูงจะแสดง สมบัติเด่นของไคโตซาน

3. ความหนืด (Viscosity) การไหลของโพลิเมอร์สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดขนาดของสายโซ่โพลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากหากสายโซ่โพลิเมอร์มีความยาวมากจะแสดงสมบัติการไหลที่ช้า โดยค่าของความหนืดจะผันแปรไปตามมวลโมเลกุลของโพลิเมอร์ชนิดนั้น ๆ ค่าความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาวะการ กำจัดหมู่อะซีทิล มวลโมเลกุล ความเข้มข้น ความเป็นกรดด่าง และอุณหภูมิ (ศูนย์วัสดุชีวภาพไคตินไคโตซาน , 2548) โดยทั่วไปแล้ว ความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ชนิดของกรดที่ใช้ในการปรับค่า pH ยังส่งผลต่อความหนืดที่แตกต่างกันด้วย เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH สูงขึ้น (สุวนุญ และคณะ, 2544)

การนำไคตินและ ไคโตซานไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ

ปัจจุบันมีการนำไคตินและไคโตซานมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้นดังนี้

ด้านการเกษตร สามารถนำมา ใช้เป็นส่วนผสมของ สารปรับสภาพดินสำหรับ บเพาะปลูก (Hirano, 1996) ช่วยเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด (Li and Wu, 1998) ใช้เป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นข้าวและสารต้านทานโรคพืช เช่น เชื้อราของต้นข้าวโพด โดยใช้เป็นส่วนผสมของสารฉีดพ่น (Chandrkrachang, 2002)

ด้านเส้นใยและสิ่งทอ ใช้ผลิตเป็นเส้นใยและเส้นด้าย (Struszczyk, 1997) เป็นสารช่วยในกระบวนการสิ่งทอ โดยใช้เป็นตัวประสาน และเป็นสารให้ความเหนียวในแป้งพิมพ์ของงานพิมพ์บนฝืนผ้า (Arab-Bahmani *et al.*, 2000)

ด้านอาหาร ใช้ทำฟิล์มห่อหุ้มเพื่อถนอมอาหาร เนื่องจากมีคุณสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย และเชื้อรา รวมทั้งมีความสามารถในการควบคุมความชื้นของอาหาร (Krasavtsev *et al.*, 2002)

ด้านเครื่องสำอาง เนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำและต่อต้านจุลินทรีย์ จึงใช้เป็นส่วนผสมของสารที่ให้ความชุ่มชื้น ในครีมบำรุง และโลชั่นต่าง ๆ (Hirano, 1996)

ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม ใช้เป็นวัสดุปิดบาดแผล เช่น พลาสติกปิดแผล ไหมเย็บแผล โดยมีคุณสมบัติป้องกันการติดเชื้อจึงทำให้แผลหายเร็วขึ้น (Mi *et al.*, 2001) ใช้เป็นส่วนผสมของเม็ดยา เพื่อควบคุมการแพร่และซึมผ่านของยา (Li *et al.*, 2002)

ด้านการบำบัดน้ำ ใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพ ในการแยกโปรตีน และไขมันออกจากน้ำเสีย (Selmer-Olsen *et al.*, 1996) ใช้กำจัดสีในน้ำทิ้ง (Chiou and Li, 2003) ใช้เป็นตัวจับไอออนโลหะ เช่นปรอท ทองแดง ในน้ำเสียของอุตสาหกรรมโรงงาน (Felse and Panda, 1999) ใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดย Wanichpongpan, *et al.* (2002) พบว่า สามารถลดความขุ่น ปริมาณตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงกุ้งลงได้ รัตนา และจินตนา (2544) ได้นำไคโตซานผสมกับเส้นใยเซลลูโลสไปใช้ในการกำจัดสีน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอพบว่า สามารถดูดซับสีจากตัวอย่างน้ำทิ้งของโรงงานได้สูงถึง 94% สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2540, อ้างถึงใน รัตมณี, 2540) ได้นำไคโตซานมา กำจัดโลหะหนักจากน้ำทิ้ง ได้แก่ ทองแดง

โครเมียม แคดเมียม แมงกานีส โคบอลต์ ตะกั่ว เหล็ก เงิน ไซยาไนต์ นิกเกิล และสังกะสี เป็นต้น นอกจากนี้เกษม (2543) ยังได้ศึกษาพบว่า เมื่อความเข้มข้นของโคโคซาน เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนโลหะสูงขึ้นด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าโคโคซานสามารถใช้บำบัดน้ำเสียได้หลายอย่าง ทั้งกรณีการกำจัดสารแขวนลอย อินทรีย์สาร โลหะหนัก สีย้อม และลดความขุ่นของน้ำ เป็นต้น จากรายงานแสดงปริมาณการใช้โคโคซานในตลาดโลก ปี พ.ศ. 2543 ของ Sandford (2002, อ้างถึงใน ศูนย์วัสดุชีวภาพโคโคซาน, 2548) พบว่ามีปริมาณการใช้รวมอยู่ที่ 2,000 ตัน โดยมีการนำโคโคซานมาใช้เป็นสารตกตะกอนในน้ำเสียมากเป็นอันดับสองรองจากการใช้ผสมในอาหารคือ 19.30%

3. การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ หมายถึง การเพิ่มความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารดูดซับ (adsorbent) หรือในทางกลับกันเป็นการลดความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) การดูดซับจึงเป็นกระบวนการแยกองค์ประกอบของสารที่ต้องการออกจากของไหล ซึ่งของไหลนี้อาจอยู่ในสถานะของเหลวหรือแก๊ส โดยตัวดูดซับต้องประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมาก โมเลกุลของของไหล จะแพร่เข้าไปภายในรูพรุนและจะถูกดูดซับไว้ภายใน (ชฎาภา, 2547) ซึ่งกระบวนการเกิดการดูดซับมีทั้งหมด 3 ขั้นตอนคือ การแพร่ไปยังผิวของสารดูดซับ (Diffusion to Adsorbent Surface) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านไปยังผิวด้านนอกของตัวดูดซับ, การผ่านเข้ารูพรุนของสารดูดซับ (Migration into Pores of Adsorbent) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณ พื้นที่ผิวด้านนอก ไปยังรูพรุนภายในที่มีพื้นที่ผิวมากกว่า ซึ่งการดูดซับเกือบทั้งหมดเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ และเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียวของสารดูดซับอย่างรวดเร็ว (Monolayer Build up of Adsorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะยึดติดอยู่ที่ผิวภายในรูพรุน (นวหทัย และคณะ, 2543)

ประเภทของการดูดซับ

การดูดซับสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดจากการสัมผัสกันทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่าง เบาบางคือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล และแรงไฟฟ้าสถิตย์ จึงไม่มีการถ่ายเท หรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โครงสร้างผิวของสารดูดซับจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ชฎาภา, 2547) นอกจากนี้ยังเป็นการดูดซับที่ไม่มีบริเวณจำเพาะคือ โมเลกุลของสาร สามารถ

ถูกดูดซับบนตำแหน่งใด ๆ ของผิวดูดซับได้ จึงเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayered) โดยตัวดูดซับสามารถดึงดูดให้โมเลกุลของแก๊สเข้ายึดเกาะและเกิดเป็นชั้นอยู่บนโมเลกุลที่ถูกดูดซับก่อนหน้านี้นี้ได้ (สรัล, 2545) ความสามารถในการดูดซับ ทางกายภาพจะมีเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง (ฐิติมา, 2545) ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความดัน จะทำให้เกิด การคายสารดูดซับ (Desorption) เนื่องจากการดูดซับทางกายภาพเป็นการยึดเหนี่ยวด้วยแรงอย่างอ่อน (อดุลย์, 2543)

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เกิดจากการสร้างพันธะระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ โดยอาศัยพลังงานกระตุ้นให้ปฏิกิริยาเคมีทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม แล้วสร้างหรือจัดเรียงอะตอมขึ้นใหม่ พันธะที่เกิดขึ้นจึงมีความแข็งแรง (ชฎาภา, 2547) เกิดอย่างจำเพาะเจาะจง เนื่องจากต้องแลกเปลี่ยน อิเล็กตรอนร่วมกัน การดูดซับ จึงเป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer) โดยการดูดซับทางเคมีจะหยุดลงเมื่อ reactive site ที่ผิวของตัวดูดซับหมดลง การดูดซับทางเคมีไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible) หรือผันกลับได้แต่น้อยมาก และอาจมีการเปลี่ยนรูปไป (อดุลย์, 2543) การดูดซับทางเคมีต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิ เพิ่มสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับยิ่งมาก (ฐิติมา, 2545)

ตารางที่ 1 ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. ค่าความร้อนของการดูดซับ	0.5 – 5 กิโลแคลอรีต่อโมล	60 – 70 กิโลแคลอรีต่อโมล
2. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนมากไม่ผันกลับ
5. การดูดซับก๊าซบนของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดได้เฉพาะบางระบบ
6. รูปแบบชั้นของการดูดซับ	monolayer และ multilayer	Monolayer
7. พลังงานกระตุ้น	ไม่ใช่	ใช่
8. อัตราเร็วการดูดซับ	เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว	เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ
9. ความจำเพาะเจาะจง	ไม่จำเพาะเจาะจง	มีความจำเพาะเจาะจง

ที่มา: พัชรี (2543)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ โดยอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับเมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน แต่ถ้าสารดูดซับนั้นมีรูพรุน อัตราการดูดซับจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของสารดูดซับ สารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดซับมากกว่าสารที่มีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้อย (ชฎาภา, 2547)

2. ความปั่นป่วนที่เกิดจากการกวนน้ำหรือสารละลาย โดยอัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของระบบ ถ้าระบบปั่นป่วนต่ำจะส่งผลให้ชั้นฟิล์มซึ่งล้อมรอบสารดูดซับมีความหนาเนื่องจากไม่ถูกรบกวน เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ (อดุลย์, 2543)

3. ค่า pH มีผลต่อการแตกตัวของไอออนของสารประกอบที่เป็นกรดหรือเบสในการดูดซับ (สรัด, 2545) ซึ่งสารละลายที่มีค่า pH ต่ำจะทำให้ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลง ซึ่งตรงข้ามกับสารดูดซับที่มี pH สูงจะให้การดูดซับมากขึ้น(ชฎาภา, 2547)

4. อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การดูดซับทางเคมีจะมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของความร้อน ที่ช่วยเร่งสร้างพันธะเคมีให้ เกิดเร็วขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าลดลง (ชฎาภา, 2547)

5. ระยะเวลาที่ของไหลสัมผัสกับตัวดูดซับ การดูดซับจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเวลา จนกระทั่งระบบเข้าสู่จุดสมดุล ซึ่งเป็นเวลาที่อัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคาย ความสามารถในการดูดซับจะมีค่ามากที่สุด และมีค่าคงที่เมื่อเวลามากขึ้น (อดุลย์, 2543)

ประโยชน์ของสารดูดซับ

การดูดซับสามารถกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย และ แก๊สพิษ ได้โดยอาศัยกลไกทาง เคมีและกายภาพ ซึ่งสิ่งเจือปนเหล่านี้ได้แก่ สี กลิ่น โลหะหนัก ยาฆ่าแมลง และสารพิษต่างๆ เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ควบคุมง่าย มีประสิทธิภาพที่ดี และ มีความทนทานต่อสารพิษ นอกจากนี้ สรัด (2545) กล่าวว่า การดูดซับ ต้องการพื้นที่น้อย ไม่มีกลิ่นที่น่ารังเกียจ ไม่มีผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง pH อุณหภูมิ หรือปริมาณสารอินทรีย์ที่ ไม่คงที่ เงินลงทุนต่ำ และระบบมีความยืดหยุ่นสูง สามารถเพิ่มหรือลดขนาดของระบบได้ง่าย

คุณสมบัติของไคโตซานกับการพัฒนาเป็นสารดูดซับ

เนื่องจากไคโตซานมีประจุบวก, มีความหนาแน่นของประจุ สูง สามารถใช้เป็นสารกระตุ้นให้เกิดการตกตะกอนได้ดี การดูดซับของไคโตซานจึงขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่าง ในโครงสร้าง ซึ่งสามารถควบคุมขนาดของช่องว่างนี้ได้ จากขั้นตอน การขึ้นรูปไคโตซาน เช่น การใส่สารเพิ่มความพรุนตัว หรือการควบคุมความพรุนตัวด้วยวิธี freeze dry เป็นต้น (สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ, 2548)

สุธา และคณะ (2544) ทดลองเตรียมไคโตซานบีด เพื่อนำมากำจัดสารหนูในรูปอาร์ซีนิด พบว่า ไคโตซานบีดที่เตรียมได้สามารถละลายในกรดอะซิติก กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก และสารละลายที่มี pH ต่ำกว่า 6 ได้ แต่จะไม่ละลายในกรดซัลฟูริก เบสหรือด่าง เอทานอล อะซิโตนและคลอโรฟอร์ม เมื่อส่องเม็ดบีดที่ผ่านการดูดซับแล้วด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า พื้นผิวมีความพรุนตัวลดลง แสดงให้เห็นว่า การดูดซับของเม็ดบีดเกิดขึ้นที่พื้นผิวภายนอก และภายในรูพรุน Twu *et al.* (2003) ศึกษาการดูดซับของบีดที่มีส่วนผสมของไคโตซานและเซลลูโลส พบว่า สามารถดูดซับโลหะหนักเช่น คอปเปอร์ เหล็ก และนิกเกิลได้ นอกจากนั้นยังพบว่า บีดไคโตซานและเซลลูโลสนี้สามารถดูดซับ แก๊ส trimethylamine (TMA) ได้ โดยบีดที่มีส่วนผสมของไคโตซานมีความสามารถในการดูดซับดีกว่าบีดที่เป็นเซลลูโลสเพียงอย่างเดียว และมีประสิทธิภาพในการดูดซับ ดีกว่าถ่านกัมมันต์ วีระ (2546) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสี และกลิ่นด้วยถ่านกัมมันต์ชนิดเคลือบด้วยไคโตซาน เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ธรรมดา พบว่า ภายใต้อุณหภูมิห้อง สีสียูเรอีนแบบส่องกราด ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่นำมาเคลือบไคโตซานมีรูพรุนลดต่ำลง หรือมีพื้นผิวที่เรียบมากขึ้น แต่กลับมีความสามารถในการดูดซับสีและกลิ่นดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้เคลือบไคโตซาน และ ยังใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าการดูดซับไม่ได้ขึ้นอยู่กับ ขนาดของ รูพรุนเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับประจุบนพื้นผิวด้วย มณฑิชาและคณะ (2543) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัด แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยการดูดซับด้วยไคโตซานพบว่า ไคโตซาน บีดและสารละลายไคโตซาน สามารถดูดซับ แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ 70 – 95% และ 50 – 90% ตามลำดับ และไคโตซานบีดขนาดเล็กมีความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกับไคโตซานบีดขนาดใหญ่ นอกจากนี้ นิรันดร์ (2545) ยังพบว่า ไคโตซานแบบเม็ดมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นสารดูดซับได้ดีกว่าไคโตซานผง หรือเกล็ด เนื่องจากทั้ง 2 แบบนี้ไม่มีความพรุนตัว ละลายได้ง่ายในสารละลายที่เป็นกรด ซึ่งการไม่มีรูพรุนทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับน้อยลง โดย ปิยะบุตร และคณะ (2547) ได้ทดลองกำจัดทองแดงด้วยไคโตซานแบบผง และไคโตซานบีดพบว่า ไคโตซานบีดสามารถกำจัดทองแดงได้สูง กว่าไคโตซานแบบผงโดยมีค่า 94 และ 67% ตามลำดับ ส่วนไคโตซานบีดแบบเปียกให้ค่าการดูดซับดีกว่าแบบแห้งโดยสุชาดา

(2545) ได้ทดสอบดูดซับโลหะจากสารละลายโดยใช้ไคโตซานปิดทั้งชนิดเปียกและแห้งพบว่า ไคโตซานปิดชนิดเปียกและ ไคโตซานปิดชนิดแห้งให้ค่าการดูดซับ 57.25 และ 53.19% ตามลำดับ

4. การเตรียมไคโตซานปิด

เนื่องจากไคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดแต่ไม่ละลายในเบส จึงเตรียมปิดได้จาก การนำสารละลายไคโตซานมาหยดในสารละลายเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ และสามารถใส่สารเชื่อมขวาง (Crosslinking agent) เช่น polyphosphoric acid และ glutaraldehyde ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาโครงร่างตาข่าย ปิดที่เกิดขึ้นจะมีคุณสมบัติไม่ละลายในตัวทำละลาย (ฐิติมา, 2545) ซึ่งการนำไคโตซานมาพัฒนาเป็นเม็ดปิดเพื่อ เพิ่มพื้นที่ผิวให้กับไคโตซาน ได้มีการทดลองที่หลากหลายวิธีได้แก่ ปิยะบุตร (2546) ได้เตรียมไคโตซานปิดจากสารละลายไคโตซาน 4% ที่ละลายในกรดอะซิติก 2% โดยได้ไคโตซานปิดที่มีลักษณะเป็นเม็ดค่อนข้างกลม มีสีขาวขุ่น มีความแข็งแรงคงทนต่อการเขย่า และเมื่อนำไปตรวจสอบสมบัติทางเคมีด้วย XRD (X-Ray Diffractometer) พบว่าไคโตซานปิดมีหมู่ functional group ใกล้เคียงกับผงไคโตซาน สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ (2548) ได้เตรียม ไคโตซานปิดโดยใช้ซิลิกาเป็นสารเพิ่มความพรุนตัว พบว่า เมื่อเติมซิลิกาความเข้มข้นต่างๆ ลงไปในสารละลายไคโตซาน เม็ดปิดที่ได้มีความพรุนตัวมากขึ้น และหากเพิ่มปริมาณซิลิกาจะทำให้ปริมาตร และขนาดของรูพรุนเพิ่มขึ้นเช่นกัน ฐิติมา (2545) ได้ศึกษาการเตรียมไคโตซานปิดเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมพบว่า เม็ดปิดขนาดเล็กให้การดูดซับสีย้อมได้ดีกว่าเม็ดปิดขนาดใหญ่ การเติมไกลซินลงในสารละลายไคโตซานที่อัตราส่วน 1 : 5 จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ปิดไคโตซานที่ ทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางด้วย 2.5% (v/v) glutaraldehyde มีความสามารถในการดูดซับดีกว่าปิดที่ไม่ได้ผ่านการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวาง

5. ไอระเหยของสารเคมีที่ก่อให้เกิดพิษ

แอมโมเนีย (Ammonia)

แอมโมเนียเป็นอนินทรีย์สารที่มีสูตรเคมี NH_3 น้ำหนักโมเลกุล 17.03 g/mol คือมีจุดเดือด -33.35°C จุดหลอมเหลว -77.7°C ความหนาแน่นไอ 0.579 ความถ่วงจำเพาะ 0.6819 ค่าความเป็นกรดต่าง 11.6 ในบรรยากาศปกติจะเป็น แก๊สไม่มีสี มีกลิ่นฉุนระคายเคือง สภาวะที่อยู่ภายใต้ความกดดัน อุณหภูมิต่ำจะมีสภาพเป็นของเหลว เมื่อแอมโมเนียสลายตัวโดยใช้ความร้อนจะให้ละอองพุ่มกัดกร่อน (Corrosive fume of ammonia) และแก๊สพิษกลุ่มออกไซด์ของไนโตรเจน มีอันตรายต่อ

ร่างกาย โดยที่ระดับ 50 – 100 ppm เริ่มมีอาการระคายเคือง หายใจไม่สะดวก เจ็บคอ แ่น้ำหนัก 400 – 700 ppm ปวดและหดรอดลมอักเสบ น้ำท่วมปอด มีผลต่อระบบประสาทส่วน กลาง คลื่นไส้ อาเจียน 1,000 – 2,000 ppm เกร็ง ชัก ความดันโลหิตเพิ่ม ตาบอด ผิวหนังเป็นแผลเนื่องจากความเย็น ถ้าได้รับปริมาณสูงอาจทำให้เสียชีวิตได้ในทันที โดย NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) ได้กำหนดค่ามาตรฐานเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานเท่ากับ 25 ppm และค่ามาตรฐานในระยะเวลาอันสั้น 15 นาทีไว้สูงสุดคือ 35 ppm (สำนักควบคุมวัตถุอันตราย, 2549)

ฟอร์มาลิน (formalin)

สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ หรือ ฟอร์มาลิน เป็นสารละลายที่ประกอบด้วย แก๊สฟอร์มาลดีไฮด์ ประมาณ 37% โดยน้ำหนักในน้ำ และเมทานอล 10 - 15% เพื่อป้องกันการเกิดโพลิเมอร์ ฟอร์มาลิน มีสูตรเคมี CH_2O น้ำหนักโมเลกุล 30.03 g/mol จุดเดือด 96°C จุดหลอมเหลว -15°C ความหนาแน่นไอ 1.04 ความถ่วงจำเพาะ 1.1 ฟอร์มาลดีไฮด์มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิปกติ มีกลิ่นฉุนแสบจมูก หากสูดดมหรือสัมผัสที่ระดับประมาณ 2 - 3 ppm จะทำให้เกิดระคายเคืองที่ตา จมูก และคอ ที่ระดับประมาณ 10 - 20 ppm จะทำให้เกิดอาการปวดแสบ ปวดร้อนอย่างรุนแรงที่ปาก และคอ หากสูดดมเข้าไปมากจะทำให้เกิดน้ำท่วมปอด หายใจไม่ออก แ่น้ำหนัก และตายในที่สุด โดย NIOSH ได้กำหนดค่า มาตรฐานเฉลี่ยตลอด ระยะเวลาการทำงานเท่ากับ 0.024 mg/m^3 (0.016 ppm) และค่ามาตรฐานในระยะเวลาอันสั้น 15 นาทีไว้สูงสุดคือ 0.15 mg/m^3 (0.1 ppm) (สำนักควบคุมวัตถุอันตราย, 2549)

การศึกษา นำสารสกัดจากธรรมชาติ มาใช้ในการกำจัดกลิ่นของสารพิษ ได้แก่ รฐิตา (2545) ศึกษาการดูดซับกลิ่นแอมโมเนีย โดยใช้สารสกัดจากเห็ดฟางพบว่า สามารถดูดซับกลิ่นแอมโมเนียได้สูงสุดที่ 73.5% ศรีณัชร และสุณิศา (2547) เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของวัสดุธรรมชาติกับแอมโมเนียเหลวพบว่า ดินเซรามิก ผงถ่าน กากใบชา และใบเตย สามารถดูดซับแอมโมเนียได้สูง 83.31, 82.46, 81.42 และ 80.34% ตามลำดับ ปทุมพร และคณะ (2547) ทดลองดูดซับแก๊สแอมโมเนียโดยใช้ฟอง แก๊สแอฟรอนที่เตรียมจากมะคำดีควาย ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวพบว่า สารละลายมะคำดีควาย 8 g /100 ml ที่ความเข้มข้นแก๊สแอมโมเนีย $106,968 \text{ g/m}^3$ มีประสิทธิภาพการดูดซับ 77.89% ฉิมภักดิ์ และอัจฉริยา (2548) ทดสอบ การกำจัดกลิ่นฟอร์มาลดีไฮด์ด้วย sodium sulfite, potassium permanganate, sodium hypochlorite พบว่า sodium sulfite มีประสิทธิภาพการดูดซับสูง สุดคือ 84.37% ที่ pH 8.4 ส่วนน้ำที่มี pH 7 - 12 มีผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการดูดซับมีค่ามากที่สุดที่ pH 12 เท่ากับ 96.27%

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
2. BET Surface Area Analyzer
3. Spectrophotometer
4. Shaker
5. Magnetic stirrer
6. pH meter
7. เตาเผา (Muffle furnace)
8. ถ้วยกระเบื้อง (Porcelain crucible)
9. ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)
10. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. Sodium hydroxide (NaOH)
2. Hydrochloric acid (HCl)
3. Sulfuric acid (H₂SO₄)
4. Ammonium hydroxide (NH₄OH)
5. Potassium permanganate (KMnO₄)
6. Acetic acid (CH₃COOH)
7. Acetone (C₃H₆O)
8. Methanol (CH₃OH)
9. สารละลายมาตรฐาน Sodium Oxalate (Na₂C₂O₄)
10. สารละลายอิมิตัว Ammonium Oxalate ((NH₄)₂C₂O₄)
11. สารละลายอินดิเคเตอร์ Bromophenol blue
12. สารละลายอินดิเคเตอร์ Toluidene Blue
13. สารละลาย Hexadecylpyridinium Chloride Monohydrate (CPC)
14. สารละลาย Potassium Polyvinyl Sulfate (PVSK)

15. Mixed indicator (0.1 % methy red และ 0.1 % methylene blue)
16. 37 % Formaldehyde (HCHO)
17. Phenyl hydrazine hydrochloride ($C_6H_5NHNH_2.HCl$)
18. Potassium hexacyanoferrate ($C_6N_6FeK_3$)

สัตว์ทดลอง

1. กุ้งขาว *Litopenaeus vannamei*
2. ปูทะเล *Scylla sp.*
3. หมึกกระดอง *Sepia sp.*
4. แมงดาทะเล *Carcinoscorpius rotundicauda*

วิธีการ

1. การผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกสัตว์ทะเล

การผลิตไคติน

การผลิตไคตินดำเนินการตามวิธีการของรัตนา และจินตนา (2544) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบ นำเปลือกสัตว์ทะเลมาล้างทำความสะอาด เอาอวัยวะภายใน และเนื้อเยื่อต่าง ๆ ออกให้หมด หลังจากนั้นนำมาตากให้แห้ง 1 – 2 วัน จึงนำมาตัดให้มีขนาดเล็ก
2. การกำจัดแร่ธาตุ เป็นการแยกแคลเซียมคาร์บอเนตออกจากเปลือกสัตว์ทะเล โดยการนำเปลือกสัตว์ทะเลที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนัก แล้วผสมกับสารละลาย 1 N HCl ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกสัตว์ทะเลกับสารละลายกรดเท่ากับ 1 : 10 (w/v) คนสารให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 – 2 วัน หลังจากนั้นจึงกรองเอาส่วนที่เป็นสารละลายทิ้งแล้วเติมสารละลาย 1 N HCl เพื่อแช่เปลือกซ้ำอีก 2 - 3 ครั้ง หรือจนกว่าจะไม่มีแคลเซียมคาร์บอเนตหลงเหลืออยู่ (สังเกตได้จากไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น) หลังจากนั้นจึงนำเปลือกสัตว์ทะเลมาล้างด้วยน้ำกลั่น ปรับ pH จนเป็นกลาง อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักเปลือกแห้งที่ได้

3. การกำจัดโปรตีน นำเปลือกสัตว์ทะเลที่กำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตออกแล้ว ผสมกับ 1 N NaOH ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกสัตว์ทะเลกับ 1 N NaOH เท่ากับ 1 : 10 (w/v) ทำการคนด้วยเครื่อง magnetic stirrer ที่อุณหภูมิ 90 °C ด้วยความเร็วปานกลางเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงกรองเอาส่วนที่เป็นสารละลายทิ้ง นำเปลือกสัตว์ทะเลมาล้างด้วยน้ำกลั่นและปรับ pH ให้เป็นกลาง

4. การกำจัดตรงควัตถุ นำเปลือกสัตว์ทะเลที่กำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตและโปรตีนออกแล้ว มากำจัดสีด้วยการแช่ใน methanol และ acetone หลาย ๆ ครั้ง ก่อนนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักสารแห้งที่ได้ โดยสารสุดท้ายที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ ไคติน นำน้ำหนักไคตินที่ชั่งได้ไปคำนวณตามสูตร

$$\% \text{ ไคติน} = (\text{น้ำหนักไคติน} / \text{น้ำหนักของสาร}) \times 100$$

การเตรียมไคโตซานจากไคติน

การผลิตไคโตซานดำเนินการตามวิธีของของ รัตนา (2544) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. นำไคตินมาผสมกับ 50 % (w/v) NaOH ในอัตราส่วน 1: 10 ที่อุณหภูมิ 100 °C คนให้เข้ากันตลอดเวลานาน 1 ชั่วโมง แล้วตั้งส่วนผสมให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นจึงกรองเอาสารละลายทิ้ง และปรับ pH ให้เป็นกลางด้วยน้ำกลั่น จึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. ชั่งน้ำหนักสารแห้งที่ได้ โดยสารสุดท้ายที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ ไคโตซาน นำน้ำหนักไคโตซานที่ชั่งได้ไปคำนวณตามสูตร

$$\% \text{ ไคโตซาน} = (\text{น้ำหนักไคโตซานที่ได้} / \text{น้ำหนักไคตินที่ใช้}) \times 100$$

2. การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของเปลือกสัตว์ทะเล

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (% Moisture)

วิเคราะห์ความชื้นตามวิธีของ AOAC (1984) โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในถ้วยกระเบื้อง นำไปอบที่อุณหภูมิ 135 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสูตร

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

วิเคราะห์ปริมาณเถ้าตามวิธีของ AOAC (1984) โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

1. เผาถ้วยกระเบื้อง crucible เป่าที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกค่าถ้วยกระเบื้องเป่าก่อนนำไปใส่สารตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในถ้วยกระเบื้อง หลังจากนั้นจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จึงนำมาชั่งน้ำหนัก
3. นำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณปริมาณเถ้าโดยใช้สูตร

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักหลังเผา}}{\text{น้ำหนักก่อนเผา}} \times 100$$

การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม ดำเนินการ ตามกิตติมาและคณะ (2541) โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

การเทียบหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน 0.01 M โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

1. นำสาร Sodium Oxalate ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) ใส่ขวดชั่ง และนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น
2. ชั่ง $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ หนักประมาณ 0.1 g ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml เติมน้ำ 100 ml และ cone Sulfuric acid (H_2SO_4) 3 ml เขย่าขวดจนออกซาเลตละลายหมด

3. ให้ความร้อนแก่สารละลายตลอดเวลาที่อุณหภูมิประมาณ $80 - 90^{\circ}\text{C}$ ไตเตรตสารละลายขณะร้อนอย่างช้า ๆ ด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.01 M Potassium permanganate (KMnO_4) ในช่วงแรกของการไตเตรตสีม่วงแดงจะจางหายไปช้า และจะหายไปเร็วขึ้นในช่วงหลังของการไตเตรต

4. เมื่อใกล้ถึงจุดยุติ สารสีม่วงแดงของ KMnO_4 จะจางหายไปช้าอีกครั้ง จึงต้องเติม KMnO_4 ที่ละลายด้วยความระมัดระวังจนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูอ่อนที่คงอยู่นานมากกว่า 30 นาที ซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติแล้ว บันทึกปริมาตร KMnO_4 เป็น ml ทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง

5. วิเคราะห์สิ่งไร้ตัวอย่างโดยเติมน้ำกลั่น 100 ml และ conc. H_2SO_4 3 ml ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml ให้ความร้อนแก่สารละลายตลอดเวลาที่อุณหภูมิประมาณ $80 - 90^{\circ}\text{C}$ แล้วทำการไตเตรตด้วยวิธี ดังกล่าวข้างต้น บันทึกปริมาตร KMnO_4 เป็น ml นำปริมาตรนี้ไปลบออกจากปริมาตร KMnO_4 ที่ได้จากข้อ 4 จะทำให้ได้ปริมาตรของสารละลาย KMnO_4 ที่ใช้ในการคำนวณตามสูตร

$$\text{ความเข้มข้นสารละลาย } \text{KMnO}_4 = \frac{2}{5} \times \frac{\text{น.น. Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}{\text{มวลโมเลกุล Na}_2\text{C}_2\text{O}_4} \times \frac{1}{\text{ปริมาตร KMnO}_4}$$

การหาปริมาณแคลเซียมในสัตว์ทะเล

1. ชั่งเปลือกสัตว์ทะเลประมาณ 0.4 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 400 ml ละลายตัวอย่างให้หมดด้วยสารละลายกรด 0.1 N HCl ปริมาตร 5 ml เติมน้ำกลั่น 95 ml คนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยแท่งแก้ว โดยคนตัวอย่างตลอดเวลาจนกว่าจะทำการไตเตรตเสร็จ

2. เติม Bromophenol blue $3 - 4$ หยด และค่อย ๆ เติมสารละลายเจือจาง Ammonium hydroxide (NH_4OH) จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเขียวเหลือง (ไม่ใช่สีน้ำเงินม่วง) ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินม่วงให้เติมสารละลายเจือจาง HCl จนกระทั่งได้สารละลายสีเขียวเหลือง ซึ่งจะมี pH อยู่ในช่วง $3.5 - 4.0$ เติมน้ำกลั่น 150 ml ปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟิวส์ แล้วนำไปต้มให้เกือบเดือดบนเตาไฟฟ้า

3. เติมสารละลาย Ammonium Oxalate ($(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$) อิ่มตัวที่ร้อน 30 ml ลงไปในสารละลายตัวอย่างช้า ๆ พร้อมทั้งคนสารละลายอย่างสม่ำเสมอ ถ้าสีของสารละลายเปลี่ยนจากสี

เจียวเหลืองเป็นสีน้ำเงินม่วงให้ปรับด้วยสารละลายเจือจาง HCl แต่ถ้าสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองให้ปรับเป็นสีเจียวเหลืองด้วยสารละลายเจือจาง NH_4OH

4. ย่อยสลายตะกอนบนเครื่อง water bath เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยต้องให้สารละลายมีสีเจียวเหลืองตลอดเวลา หากสารละลายเปลี่ยนสี ให้ดำเนินการเปลี่ยนสีสารละลายด้วยวิธีการข้างต้น ตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้ตะกอนแยกออกจากสารละลาย

5. กรองตะกอนที่ได้ด้วยกระดาษกรอง หลังจากนั้นล้างตะกอนด้วย 2 % (v/v) NH_4OH นำกระดาษกรองที่มีตะกอนอยู่ใส่ในบีกเกอร์ใบเดิม เติมน้ำกลั่น 125 ml ล้างกรวยกรองในกรณีที่มีตะกอนอยู่ลงในบีกเกอร์ และเติม conc. H_2SO_4 5 ml ให้ความร้อนแก่สารละลายที่อุณหภูมิประมาณ 70°C

6. ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.01 M KMnO_4 จนกระทั่งถึงจุดยุติ สารละลายจากเดิมไม่มีสีจะเปลี่ยนเป็นสารละลายสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรสารละลาย KMnO_4 เป็น ml ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

7. วิเคราะห์สิ่งไร้ตัวอย่าง โดยใช้ขั้นตอน รีเอเจนต์ และปริมาตรสารต่าง ๆ เหมือนกับวิธีข้างต้นทุกประการเพียงแต่ไม่มีสารตัวอย่าง บันทึกปริมาตรสารละลาย KMnO_4 เป็น ml นำปริมาตรนี้ไปลบออกจากปริมาตรของสารละลาย KMnO_4 ที่ใช้ทดสอบกับตัวอย่างก่อนหน้านี้ กลายเป็นค่าปริมาตร KMnO_4 ที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักแคลเซียม(mg.)} = \frac{5 \times \text{ความเข้มข้น } \text{KMnO}_4 \times \text{ปริมาตร } \text{KMnO}_4 \times \text{น.น. โมเลกุล Ca}}{2}$$

$$\% \text{ แคลเซียม} = (\text{น.น. แคลเซียม} / \text{น.น. ตัวอย่าง}) \times 100$$

การวิเคราะห์ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล (Degree of Deacetylation, %DD)

วิเคราะห์ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิลด้วยวิธี Colloid Titration ตามวิธีการของนันทิยา (2548) มีรายละเอียดดังนี้

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลาย 1-n-Hexadecylpyridinium Chloride Monohydrate (CPC) (CPC 12.5 mg ใน 0.1 M acetic acid ปริมาตร 25 ml หรือความเข้มข้นประมาณ 0.05 % (w/v)
2. สารละลาย Potassium Polyvinyl Sulfate (PVSK) (PVSK 25 mg ในน้ำ 50 ml หรือความเข้มข้นประมาณ 0.0025 N)
3. สารละลายอินดิเคเตอร์ Toluidene Blue ความเข้มข้น 0.1 % (w/v) (Toluidene Blue 0.1 g ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 ml)
4. สารละลายไคโตซานตัวอย่างความเข้มข้น 0.04 % (w/v) (โดยละลายไคโตซาน 10 mg ใน 0.1 M acetic acid ปริมาตร 25 ml)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ไตเตรตสิ่งไร้ตัวอย่างโดยปิเปต 0.1 M acetic acid มา 5 ml เติมลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 25 ml หยดสารละลาย Toluidene Blue ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ลงไป 1-2 หยด ทำการไตเตรตด้วยสารละลาย PVSK และกวนสารละลายในขวดอยู่เสมอจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้ากลายเป็นสีม่วงแดงและมีตะกอนปรากฏขึ้น บันทึกปริมาตรของ PVSK ที่ใช้ในการไตเตรต ทำการไตเตรตซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยจากปริมาตรที่ต่างกันไม่เกิน 0.1 ml
2. หาคความเข้มข้นของ PVSK โดยปิเปตสารละลาย CPC มา 5 ml เติมลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 25 ml หยดสารละลาย Toluidene Blue ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ลงไป 1-2 หยดแล้วทำการไตเตรตด้วยสารละลาย PVSK เช่นเดียวกับตัวอย่างข้างต้น นำค่าเฉลี่ยปริมาตรมาคำนวณหาคความเข้มข้นของสารละลาย PVSK จากสมการ

$$N = (50 \times C') / (358D)$$

เมื่อ N คือ ความเข้มข้นของ PVSK (นอร์มัล)

C' คือ ความเข้มข้นของ CPC (ร้อยละ)

D คือ ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการไตเตรต CPC และสิ่งไร้ตัวอย่าง

3. ทำการไตเตรตสารละลายไคโตซานตัวอย่าง โดยเปิดสารละลายไคโตซานมา 5 ml เติมลงไปในช่วงรูปชมพูขนาด 25 ml หยดสารละลาย 0.1 % Toluidene Blue ลงไป 1 - 2 หยดและทำการไตเตรตด้วยสารละลาย PVSK เช่นเดิม นำค่าเฉลี่ยปริมาตรมาคำนวณหาระดับการกำจัดหมู่อะซีติล (%DD) ของไคโตซานตัวอย่าง จากสมการ

$$\%DD = 100 \times (50C - 161ND) / (42ND + 50C)$$

เมื่อ N คือ ความเข้มข้นของ PVSK ที่หาได้จากการไตเตรต (นอร์มัล)

D คือ ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการไตเตรตสารละลายไคโตซาน และสิ่งไร้ตัวอย่าง

C คือ ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานตัวอย่าง (ร้อยละ)

การวิเคราะห์ความเป็นกรด - ด่าง (pH)

วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างโดยใช้วิธีของ สุวบุญ และคณะ (2544) โดยเตรียมสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1 % (w/v) ในน้ำกลั่นแล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วย pH meter

การละลายของไคโตซาน

ทดสอบการละลายของไคโตซานตามวิธีของเกศสุดา (2545) โดยการ นำไคโตซาน 1 g ละลายใน 0.5 % (w/v) acetic acid 100 ml นำไปเขย่าที่ 100 rpm เป็นเวลา 12 ชั่วโมงหลังจากนั้นจึงกรองไคโตซานที่ไม่ละลายออกแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักกากไคโตซานที่ไม่ละลายนำมาคำนวณตามสูตร

$$\% \text{ การละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนละลาย} - \text{น้ำหนักตัวอย่างที่ไม่ละลาย}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนละลาย}} \times 100$$

การวิเคราะห์ความหนืด

วิธีวิเคราะห์ความหนืดได้ดัดแปลงมาจากนันทิยา (2548) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. เตรียมสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1 % (w/v) ใน 1 % acetic acid ปริมาตร 500 ml ในบีกเกอร์ 600 ml ใช้เวลาในการผสม 24 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กที่ความเร็วสูง

2. แช่บีกเกอร์ที่มีสารละลายโคโคซานลงในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่มีสารหล่อเย็น โดยควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าอยู่ที่ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$
3. ต่อหัวตรวจวัดของชุด RV Spindle Set เข้ากับแกนของเครื่องวัดความหนืด Brookfield Viscometer
4. วัดค่าความหนืด โดยตั้งโปรแกรมให้เครื่องเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่าง มีค่าเป็น $25 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ เพิ่มความเร็วรอบครั้งละ 0.5 รอบ/นาทีทุก ๆ 30 วินาที
5. เลือกอ่านค่าความหนืดที่ความเร็ว 25 รอบ/นาที (รายงานผลเป็นเซนติพอยต์) เนื่องจากเป็นความเร็วรอบที่สามารถอ่านค่าความหนืดได้ทุกตัวอย่าง และสามารถใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความหนืดระหว่างตัวอย่างได้

การศึกษาลักษณะภายนอกของโคโคซานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การศึกษาลักษณะภายนอกของเปลือก สัตว์, โคลดิน และโคโคซานจากสัตว์ทะเลด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) ตามวิธีของรุจิพร (2538) โดยติดชิ้นตัวอย่างบนฐานรอง (stub) ด้วย carbon tape หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปฉาบผิวทองคำ ด้วยเครื่อง sputter coater แล้วนำไปส่องดูใต้กล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด (บริษัท JEOL รุ่น JSM 5400) ด้วยกำลังขยาย 500 1,000 10,000 และ 15,000 เท่า

การศึกษาลักษณะภายนอกของโคโคซานด้วย BET Surface Area Analyzer

ตรวจสอบหาพื้นที่ผิวภายนอก ปริมาตรรูพรุน และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน โดยวิธีของ BET Surface Area Analyzer ด้วยเครื่อง Accelerated Surface Area and Porosimetry System รุ่น ASAP 2000 ของ MICROMERTICS ตามการทดสอบของพิบูลย์ (2549) โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 0.3 – 0.5 g บรรจุลงในเซลล์ทดสอบ เติมไนโตรเจนเหลวลงใน Dewar เปิดวาล์วหัวถังของ แก๊สฮีเลียม และไนโตรเจน ตั้งค่าอุณหภูมิ และความดันของเครื่องไว้ที่ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ 10 mHG ตามลำดับ เมื่อเครื่องหยุดการทำงานจึงถอดเซลล์ที่บรรจุตัวอย่างออกไปชั่งน้ำหนัก ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักตัวอย่างจริงที่ใช้ในการ วิเคราะห์ นำเซลล์ที่บรรจุตัวอย่างหลังจากการชั่งน้ำหนักแล้ว กลับไปต่อกับเครื่อง BET อีกครั้งเพื่อทำการป้อนข้อมูลค่าสั่งและ วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวภายนอก ปริมาตรรูพรุน และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน

3. การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่น

การเตรียมไคโตซานปิด

เตรียมไคโตซานปิดตามวิธีการของปิยะบุตร และนิรันดร (2546) โดยการละลายไคโตซาน ความเข้มข้น 4 % ในสารละลาย 2 % acetic acid ปริมาตร 100 ml ทิ้งไว้ 2 คืนแล้วกรองแยกด้วยผ้า กรอง หยดสารละลายไคโตซานด้วยเข็มฉีดยาลงในสารละลายผสมของ KOH : EtOH อัตราส่วน 1:1 แช่ทิ้งไว้ 1 คืน หลังจากนั้นจึงล้างเม็ดปิดด้วยน้ำกลั่นจนมีค่า pH เป็นกลาง จึงได้ไคโตซาน ปิด หลังจากนั้นจึงนำไคโตซานปิดทั้ง 4 ชนิดมาส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) ตามวิธีของรุจิพร (2538) เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้าง ภายในของไคโตซานปิด

ประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นแอมโมเนียของไคโตซานปิด

ดัดแปลงจากวิธีของสุธา และคณะ (2544) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

การศึกษาเปอร์เซ็นต์การระเหยของแอมโมเนีย

1. นำสารละลาย Ammonium hydroxide (NH_4OH) ความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 mg/l มาความเข้มข้นละ 30 ml
2. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที อุณหภูมิ 25°C ที่เวลา 1, 30 นาที 1, 2, 3, 4, 8, 16, 24, 32, 40, 48 ชั่วโมง
3. หลังจากนั้นจึงนำไป วัดปริมาณ แอมโมเนีย ที่เหลืออยู่โดยวิธีการไตเตรท (Titration method) ตามวิธีการของมนัสสิน (2540) โดยการปิเปตสารละลายแอมโมเนีย ข้างต้นมา 5 ml นำมา ไตเตรทกับสารละลายกรดมาตรฐาน $0.1\text{ M H}_2\text{SO}_4$ โดยมี 0.1% methyl red และ 0.1% methylene blue เป็น Mixed indicator จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจาก สีชมพูม่วงเป็นสีเขียวจำนวน 3 ซ้ำ และ บันทึกปริมาณสารละลายกรด มาตรฐานที่ใช้ นำไปคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียที่เหลืออยู่ใน สารละลายจากสูตร

$$\text{แอมโมเนีย (mg/l ในรูป N)} = \frac{(A-B) \times N \times 1400}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (ml)}}$$

- เมื่อ A คือ มล. ของกรด H_2SO_4 ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง
 B คือ มล. ของกรด H_2SO_4 ที่ใช้ในการไตเตรทสิ่งไร้ตัวอย่าง
 N คือ ความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 หน่วยเป็นนอร์มัลลิตี (N)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดที่ความเข้มข้น และ เวลาต่างๆ

1. นำไคโตซานบีดกึ่งขาว ปูทะเล หมักกระดอง และแมงดาทะเลมาชนิดละ 5 g ใส่ลงในขวดรูปกรวยปริมาตร 100 ml เติมสารละลาย NH_4OH ที่ระดับความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 mg/l ความเข้มข้นละ 30 ml ในแต่ละขวด

2. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที อุณหภูมิ $25^\circ C$ ที่เวลา 1, 30 นาที 1, 2, 3, 4 ชั่วโมง

3. กรองไคโตซานบีดออก แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดปริมาณแอมโมเนียที่เหลืออยู่ โดยวิธีการไตเตรทตามวิธีการของมันสัน (2540) โดยปิเปตสารละลายแอมโมเนียที่เหลือมา 5 ml นำมาไตเตรทกับสารละลายกรดมาตรฐาน 0.1 M H_2SO_4 โดยมี 0.1 % methyl red และ 0.1 % methylene blue เป็น Mixed indicator ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ และบันทึกปริมาณสารละลายกรดมาตรฐานที่ใช้ นำไปคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในสารละลาย

4. ทำการวิเคราะห์สิ่งไร้ตัวอย่างโดยใช้น้ำกลั่น และทำขั้นตอนทุกอย่างตามวิธีข้างต้นทุกประการเพียงแต่ไม่มีสารตัวอย่าง

การศึกษา pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดชนิดต่างๆ

1. นำไคโตซานบีดกึ่งขาว ปูทะเล หมักกระดอง และแมงดาทะเลมาชนิดละ 5 g ใส่ลงในขวดรูปกรวยปริมาตร 100 ml เติมสารละลาย 18 mg/l NH_4OH ปริมาตร 30 ml ปรับ pH ให้เป็น 8, 9 และ 10 (โดยใช้ 1 N H_2SO_4 และ 1 N NaOH) นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที อุณหภูมิ $25^\circ C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2. กรองไคโตซานบีดออก แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดปริมาณแอมโมเนียที่เหลืออยู่โดยวิธีการไตเตรท ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ บันทึกปริมาณสารละลายกรดมาตรฐานที่ใช้ นำไปคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในสารละลาย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียเมื่อใช้ไคโตซานบีดปริมาณต่างๆ

1. นำไคโตซานบีดกุ้งขาว ปูทะเล หมึกกระดอง และแมงดาทะเลมาชนิดละ 5, 10 และ 15 g ใส่ลงในขวดรูปกรวยปริมาตร 100 ml เติมสารละลาย 18 mg/l NH_4OH ที่ pH 9 ปริมาตร 30 ml นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2. กรองไคโตซานบีดออก แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัด ปริมาณแอมโมเนียที่เหลืออยู่โดยวิธีการไตเตรท ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ บันทึกปริมาณสารละลายกรดมาตรฐานที่ใช้ นำไปคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในสารละลาย

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นแอมโมเนีย

พารามิเตอร์ต่าง ๆ	ช่วงที่ศึกษา
1. ชนิดไคโตซานบีด	กุ้งขาว ปูทะเล หมึกกระดอง แมงดาทะเล
2. ความเข้มข้นของสารละลาย NH_4OH	18, 20, 22, 24 mg/l
3. เวลาสัมผัส หรือเวลาในการดูดซับ	1, 30 นาที 1, 2, 3, 4 ชั่วโมง
4. pH สารละลาย	8, 9, 10
5. ปริมาณไคโตซานที่ทดสอบ	5, 10, 15 g

ประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นฟอร์มัลดีไฮด์ของไคโตซานบีด

ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของสุธา และคณะ (2544) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

การศึกษาเปอร์เซ็นต์การระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์

1. นำสารละลาย formaldehyde (CH_2O) ความเข้มข้น 4, 6, 8 และ 10 $\mu\text{g/ml}$ มาความเข้มข้นละ 30 ml

2. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที อุณหภูมิ 25 °C ที่เวลา 1, 30 นาที 1, 2, 3, 4, 8, 16, 24, 32, 40, 48 ชั่วโมง

3. หลังจากนั้นจึงนำไปวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลืออยู่ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ตามวิธีของ British Pharmacopocia (1988) โดยการปิเปต Standard formaldehyde มาความเข้มข้นละ 2 ml เติม สารละลาย 1% phenyl hydrazine hydrochloride 400 μ l, 1% potassium hexacyanoferrate 200 μ l และ conc. HCl 1 ml เขย่าหลอดให้เข้ากันแล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสง (Abs) ที่ 520 nm ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ และนำค่า Abs ที่วัดได้ไปหาคำนวณหาระดับความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน (ภาพผนวกที่ ก1)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับ ฟอร์มาลดีไฮด์ของไคโตซานบีดที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ

1. นำไคโตซานบีดกึ่งขาว ปูทะเล หมึกกระดอง และแมงดาทะเลมาชนิดละ 5 g ใส่งในขวดรูปกรวยปริมาตร 100 ml เติมสารละลาย CH₂O ที่ระดับความเข้มข้น 4, 6, 8 และ 10 μ g/ml ความเข้มข้นละ 30 ml ใส่งในแต่ละขวด

2. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที อุณหภูมิ 25 °C ที่เวลา 1, 30 นาที 1, 2, 3, 4 ชั่วโมง

3. กรองไคโตซานบีดออกแล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลืออยู่โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ตามวิธีของ British Pharmacopocia (1988) นำค่า Abs ที่วัดได้ไปคำนวณหาระดับความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

4. การวิเคราะห์สิ่งไร้ตัวอย่างโดยใช้น้ำกลั่นและทำขั้นตอนทุกอย่างตามวิธีข้างต้นทุกประการเพียงแต่ไม่มีสารตัวอย่าง

การศึกษา pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของไคโตซานบีดชนิดต่างๆ

1. นำไคโตซานบีดแต่ละชนิดมา 5 g ใส่งในขวดรูปกรวยปริมาตร 100 ml เติมสารละลาย CH₂O ความเข้มข้น 6 μ g/ml ปริมาตร 30 ml ปรับ pH ให้เป็น 5, 7 และ 9 (โดยใช้ 1 N H₂SO₄ และ 1 N NaOH) นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 30 นาที

2. กรองโคลิโดซานบีดออกแล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์ที่เหลืออยู่โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ทำการทดสอบ จำนวน 3 ซ้ำ ตามวิธีของ British Pharmacopocia (1988) ข้างต้น นำค่า Abs ที่วัดได้ไปคำนวณหาระดับความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์เมื่อใช้โคลิโดซานบีดปริมาณต่างๆ

1. นำโคลิโดซานบีดกึ่งขาว ปูทะเล และหมึกกระดอง ชนิดละ 5, 10 และ 15 g ใสลงในขวดรูปกรวยปริมาตร 100 ml เติมสารละลาย 6 $\mu\text{g/ml}$ CH_2O ที่ pH 5 ปริมาตร 30 ml

2. นำโคลิโดซานบีดแมงดาทะเลมา 5, 10 และ 15 กรัม ใสลงในขวดรูปกรวยปริมาตร 100 ml เติมสารละลาย 6 $\mu\text{g/ml}$ CH_2O ที่ pH 7 ปริมาตร 30 ml

3. นำสารละลายตัวอย่างในข้อ 1 และ 2 ไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 30 นาที

4. กรองโคลิโดซานบีดออกแล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์ที่เหลืออยู่โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ทำการทดสอบ จำนวน 3 ซ้ำ นำค่า Abs ที่วัดได้ไปคำนวณหาระดับความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นฟอर्मัลดีไฮด์

พารามิเตอร์ต่าง ๆ	ช่วงที่ศึกษา
1. ชนิดโคลิโดซานบีด	กึ่งขาว ปูทะเล หมึกกระดอง แมงดาทะเล
2. ความเข้มข้นของสารละลาย CH_2O	4, 6, 8, 10 $\mu\text{g/ml}$
3. เวลาสัมผัส หรือเวลาในการดูดซับ	1, 30 นาที 1, 2, 3, 4 ชั่วโมง
4. pH สารละลาย	5, 7, 9
5. ปริมาณโคลิโดซานที่ทดสอบ	5, 10, 15 g

ผลและวิจารณ์

1. การผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกสัตว์ทะเล

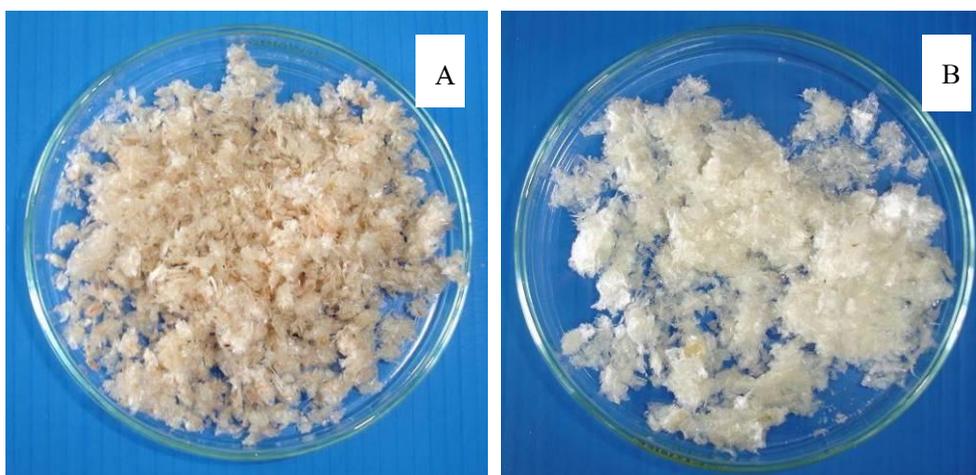
ผลผลิตไคตินจากเปลือกสัตว์ทะเล 4 ชนิด ได้แก่ กุ้งขาว ปูทะเล หมึกกระดอง และแมงดาทะเล มีค่าอยู่ในช่วง 3.81 ± 0.81 ถึง $32.00 \pm 0.76\%$ โดยเรียงลำดับจากผลผลิตสูงสุดไปหาต่ำสุด ได้แก่ เปลือกแมงดาทะเล เปลือกกุ้งขาว เปลือกปูทะเล และแกนหมึกกระดอง (ตารางที่ 4) ส่วนผลผลิตไคโตซาน (เทียบจากน้ำหนักไคติน) พบมากที่สุดจากเปลือกกุ้งขาว ($73.6 \pm 0.30\%$) เปลือกแมงดาทะเล ($70.73 \pm 2.72\%$) เปลือกปูทะเล ($70.64 \pm 4.29\%$) และแกนหมึกกระดอง ($61.23 \pm 1.06\%$) ตามลำดับ ทั้งนี้ผลผลิตไคติน จากเปลือกแมงดาทะเล และเปลือกกุ้งขาวมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากเปลือกปูทะเลและแกนหมึกกระดอง ส่วนผลผลิตไคโตซาน จากเปลือกแมงดาทะเล เปลือกกุ้งขาว และเปลือกปูทะเล มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากแกนหมึกกระดองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้การที่เปลือกสัตว์ทะเลแต่ละชนิดให้ ปริมาณ ไคตินที่แตกต่างกัน เนื่องจากโครงสร้างของสัตว์มีการสะสมไคติน แร่ธาตุ โปรตีน และสารประกอบอื่นๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน ส่วนผลผลิตไคโตซานจากการศึกษาของอธยา และคณะ (2536) ที่พบว่า เปลือกปูม้า และปูทะเลให้ผลผลิตไคโตซานเท่ากัน คือ 13% กระดองหมึกกล้วย กระดองหมึกหอม และเปลือกกุ้งให้ผลผลิต 30, 28 และ 22.5% ตามลำดับ นอกจากนี้ปราณี (2541) ได้เปรียบเทียบปริมาณไคติน และไคโตซานจากเปลือกปูชนิดต่าง ๆ พบว่า ปูม้ามีปริมาณไคตินสูงสุด (18.51%) โดยพบมากที่สุดบริเวณเปลือกขาเดินและขาว่ายน้ำ ถัดมาคือ ส่วนท้อง กระดอง และก้าม ตามลำดับ เมื่อพิจารณา ลักษณะของเปลือกสัตว์ที่นำมาศึกษา พบว่าเปลือกแมงดาทะเลและเปลือกกุ้งมีลักษณะ เหนียว แข็ง และบางกว่าเปลือกปูและแกนหมึกซึ่งมีลักษณะหนา และมีการสะสมแคลเซียมในเปลือกมากกว่า ทั้งนี้ปราณี (2541) รายงานว่าปูที่มีการเคลื่อนที่ใน รอบวันสูงจะให้ปริมาณไคตินต่อน้ำหนักเปลือกแห้งสูงกว่าปูที่มีการเคลื่อนที่ต่ำ เนื่องจากสัตว์ที่มีกิจกรรมในรอบวันสูงจะลดการสะสมแคลเซียม แต่จะเพิ่มปริมาณไคตินในเปลือกเพื่อให้เปลือกมีความเหนียวแข็งแรง และมีความยืดหยุ่นมากกว่า แคลเซียมที่จะทำให้เปลือกหนักและยากต่อการเคลื่อนไหว

ไคโตซาน จากเปลือกสัตว์ทะเลแต่ละชนิดที่ผลิตได้จะมีสีอ่อน และมีน้ำหนักเบากว่าไคตินยกเว้นไคโตซานจากเปลือกแมงดาทะเล (ภาพที่ 2 - 5) เนื่องจากเปลือกสัตว์ทะเลแต่ละชนิดมีความหนาของเปลือก และการสะสมรงควัตถุในเปลือกที่ แตกต่างกัน ทำให้ในขั้นตอนการกำจัด รงควัตถุของเปลือกแมงดาทะเลทำได้ยากกว่าเปลือกกุ้งขาว ที่เปลือกมีลักษณะบางและมีสีอ่อนกว่าเปลือกสัตว์ทะเลชนิดอื่น

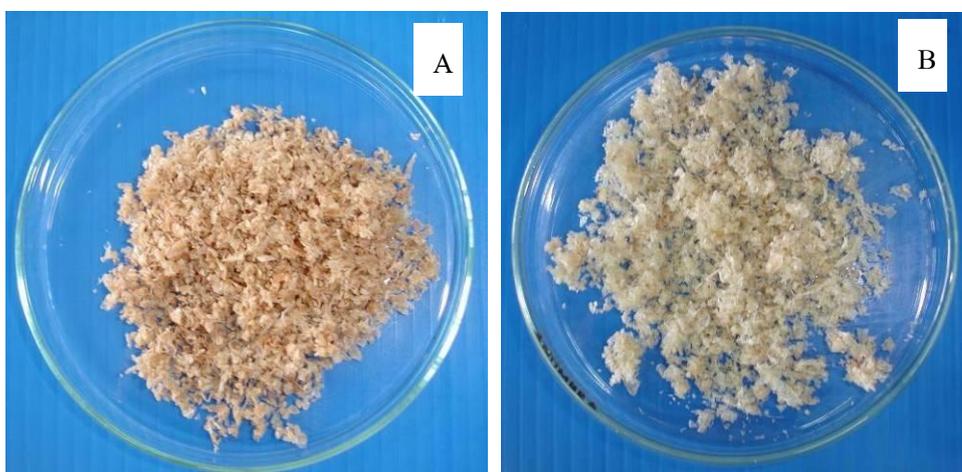
ตารางที่ 4 ผลผลิตไคตินและไคโตซาน (เทียบจากน้ำหนักไคติน) จากเปลือกสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ

ชนิด ตัวอย่าง	ผลผลิตจากเปลือกสัตว์ (%) ($\bar{x} \pm SD$)			
	เปลือกกุ้งขาว	เปลือกปูทะเล	แกนหมึกกระดอง	เปลือกแมงดาทะเล
ไคติน	31.15±2.10 ^a	9.86±1.37 ^b	3.81±0.81 ^c	32.00±0.76 ^a
ไคโตซาน	73.63±0.30 ^A	70.64±4.29 ^A	61.23±1.06 ^B	70.73±2.72 ^A

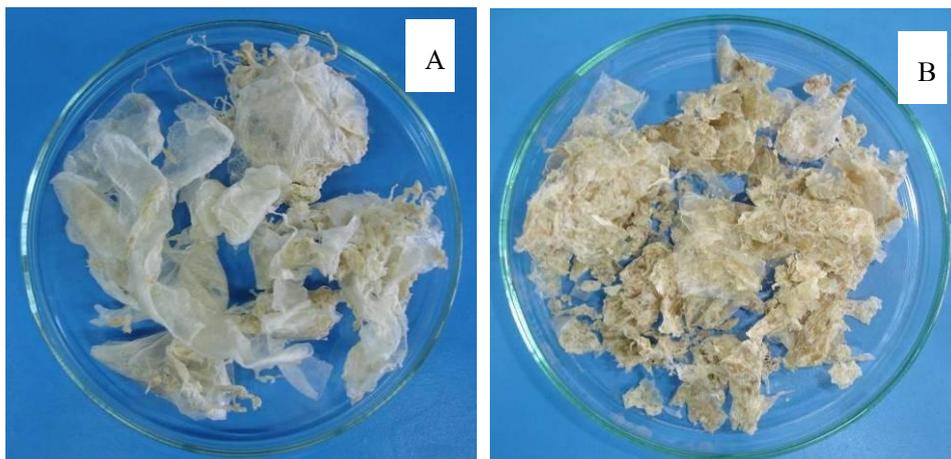
หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) ในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



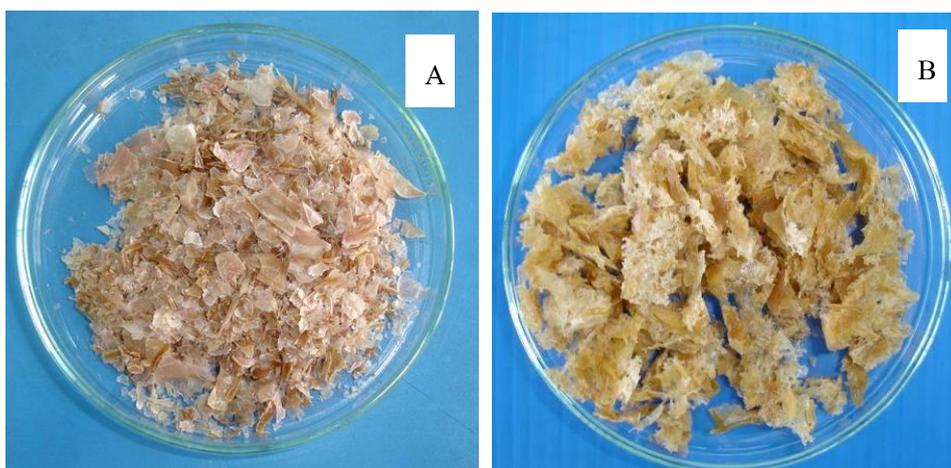
ภาพที่ 2 ไคตินกุ้งขาว (A) และไคโตซานกุ้งขาว (B)



ภาพที่ 3 ไคตินปูทะเล (A) และไคโตซานปูทะเล (B)



ภาพที่ 4 ไคตินหมีกกระดอง (A) และไคโตซานหมีกกระดอง (B)



ภาพที่ 5 ไคตินแมงดาทะเล (A) และไคโตซานแมงดาทะเล (B)

2. การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของเปลือกสัตว์ทะเล ไคติน และไคโตซาน

สมบัติของเปลือกสัตว์ทะเลและไคติน

เมื่อศึกษาสมบัติของเปลือกสัตว์ทะเลพบว่า ปริมาณความชื้นในเปลือกสัตว์ทะเลมีค่า มากที่สุด ในเปลือกกุ้งขาว ($10.12 \pm 0.25\%$) รองลงมาเป็นเปลือกแมงดาทะเล ($9.98 \pm 0.09\%$) เปลือกปูทะเล ($4.32 \pm 0.02\%$) และแกนหมีกกระดอง ($2.40 \pm 0.11\%$) (ตารางที่ 5) ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของเยาวภา (2534) ที่พบว่าความชื้นในเปลือกกุ้งมีค่าเท่ากับ 7.44%

ตารางที่ 5 สมบัติของเปลือกสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ

การทดสอบ	สมบัติของเปลือกสัตว์ทะเล (%) ($\bar{x} \pm SD$)			
	กุ้งขาว	ปูทะเล	หมีกกระดอง	แมงดาทะเล
ความชื้น (%)	10.12 \pm 0.25 ^a	4.32 \pm 0.02 ^b	2.40 \pm 0.11 ^c	9.98 \pm 0.09 ^a
เถ้า (%)	17.23 \pm 0.07 ^c	72.74 \pm 0.15 ^B	91.52 \pm 0.07 ^A	2.19 \pm 0.02 ^D
แคลเซียม (%)	7.07 \pm 0.64 ^c	10.40 \pm 0.57 ^b	22.27 \pm 0.11 ^a	5.11 \pm 1.53 ^d

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) ในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณเถ้าในเปลือกสัตว์ทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 2.19 ± 0.02 ถึง $91.52 \pm 0.07\%$ โดยมีค่ามากที่สุดใในแกนหมีกกระดอง ($91.52 \pm 0.07\%$) รองลงมาเป็นเปลือกปูทะเล ($72.74 \pm 0.15\%$) เปลือกกุ้งขาว ($17.23 \pm 0.07\%$) และเปลือกแมงดาทะเล ($2.19 \pm 0.02\%$) ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ทั้งนี้การที่เปลือกสัตว์ทะเลมีปริมาณเถ้าอยู่มากย่อมหมายถึงสัตว์ชนิดนั้นมีการสะสมปริมาณอนินทรีย์สารอยู่ในเปลือกเป็นจำนวนมาก โดยผลทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเขาวภา (2534) ซึ่งได้ทดสอบปริมาณเถ้าในเปลือกกุ้งพบว่า มีค่า 31.39% ส่วนปริมาณแคลเซียมที่สะสมไว้ในเปลือกสัตว์ทั้ง 4 ชนิดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณแคลเซียม สูงที่สุดพบในแกนหมีกกระดอง ($22.27 \pm 0.11\%$) รองลงมาเป็นเปลือกปูทะเล ($10.40 \pm 0.57\%$) เปลือกกุ้งขาว ($7.07 \pm 0.64\%$) และเปลือกแมงดาทะเล ($5.11 \pm 1.53\%$) ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณแคลเซียม และเถ้าของเปลือกสัตว์ทะเลมีค่าสอดคล้องกับปริมาณ ไคตินที่ผลิตได้ กล่าวคือ หากมีปริมาณแคลเซียมมาก ปริมาณเถ้าย่อมมีค่ามากเช่นกัน ซึ่งส่งผลทำให้ได้ปริมาณไคตินที่เป็นผลผลิตน้อย

ผลการศึกษาสมบัติของไคตินพบว่า ไคตินที่ผลิตจากเปลือกสัตว์ทะเลมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 1.74 ± 0.12 ถึง $5.69 \pm 0.12\%$ (ตารางที่ 6) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเขาวภา (2534) ที่พบว่าความชื้นในไคตินกุ้งมีค่าเท่ากับ 3.99% ความชื้นทำให้ชื้นตัวอย่างจับตัวเป็นก้อน ซึ่งการเก็บรักษาไคตินให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อการเพิ่มปริมาณความชื้นด้วย ส่วนปริมาณเถ้าในไคตินที่ผลิตจากเปลือกสัตว์ทะเลทั้ง 4 ชนิดพบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณเถ้ามากที่สุดพบในไคตินที่ผลิตจากแกนหมีกกระดอง ($0.94 \pm 0.04\%$) รองลงมา

เป็นไคตินจากเปลือกแมงดาทะเล ($0.44 \pm 0.03\%$) ไคตินจากเปลือกปูทะเล ($0.39 \pm 0.00\%$) และ ไคตินจากเปลือกกุ้งขาว ($0.31 \pm 0.01\%$) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 สมบัติของไคตินจากเปลือกสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ

การทดสอบ	สมบัติของไคตินจากเปลือกสัตว์ทะเล (%) ($\bar{x} \pm SD$)			
	กุ้งขาว	ปูทะเล	หมึกกระดอง	แมงดาทะเล
ความชื้น (%)	3.83 ± 0.14^b	3.49 ± 0.17^c	5.69 ± 0.12^a	1.74 ± 0.12^d
เถ้า (%)	0.31 ± 0.01^D	0.39 ± 0.00^C	0.94 ± 0.04^A	0.44 ± 0.03^B

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) ในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเขาวภา (2534) ที่รายงานว่ามีปริมาณเถ้าในไคตินจากเปลือกกุ้งมีค่าเท่ากับ 0.15% ความแตกต่างของปริมาณเถ้าที่พบในไคตินนี้อาจเกิดจากขนาดของชิ้นตัวอย่างที่ไม่เท่ากัน ซึ่งส่งผลต่อขั้นตอนการกำจัดแคลเซียม โดยรัตมณี (2540) รายงานว่าตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ต้องการเวลาในการเข้าทำปฏิกิริยานานกว่า ดังนั้นวัตถุดิบที่มีขนาดต่างกันต้องการเวลาในการเข้าทำปฏิกิริยาที่ต่างกัน

สมบัติของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกสัตว์ทะเล

ผลการทดสอบสมบัติของไคโตซานพบว่า ปริมาณความชื้นของไคโตซานที่ผลิตได้มีค่าอยู่ในช่วง 1.36 ± 0.04 ถึง $4.74 \pm 0.02\%$ (ตารางที่ 7) ซึ่งความชื้นที่ได้มีค่าต่ำกว่าไคโตซานกุ้งของเขาวภา (2534) ที่ได้เท่ากับ 5.70% และความชื้นไคโตซานกุ้งของนันทิยา (2548) มีค่าอยู่ในช่วง 6.22 - 9.92% ตามลำดับ ส่วนปริมาณเถ้าของไคโตซานพบว่า มีค่ามากที่สุดไคโตซานหมึกกระดอง ($0.67 \pm 0.01\%$) รองลงมาเป็นไคโตซานปูทะเล ($0.31 \pm 0.00\%$) ไคโตซานแมงดาทะเล ($0.25 \pm 0.01\%$) และไคโตซานกุ้งขาว ($0.13 \pm 0.00\%$) ตามลำดับ เปรียบเทียบกับ เขาวภา (2534) ซึ่งพบว่าไคโตซานจากเปลือกกุ้งมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 0.09%

จากผลการศึกษพบว่า ระดับการกำจัดหุ่อะซีดีลใน ไคโตซานแต่ละชนิดมีค่าอยู่ในช่วง (60 - 69%) เมื่อเปรียบเทียบกับอธยา และคณะ (2536) ที่สกัดไคโตซานจากกระดองหมีก เปลือกกุ้ง และเปลือกปูพบว่า ไคโตซานทุกชนิดมีค่าระดับการกำจัดหุ่อะซีดีลอยู่ในช่วง 50 – 65% ส่วน เกศสุดา (2545) ซึ่งทดสอบไคโตซานผงก่อนที่จะนำมาเตรียมเป็นไคโตซานบีดพบว่า มีค่าระดับการกำจัดหุ่อะซีดีลอยู่ในช่วง 69 – 76%

ไคโตซานที่ผลิตได้มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.35 - 7.78 โดยสามารถเรียงลำดับ pH ที่มีค่าต่ำไปหาสูงได้ดังนี้คือ ไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว เปลือกปูทะเล แคนหมีกกระดอง และเปลือกแมงดาทะเล ตามลำดับ ซึ่งนนทียา (2548) ได้ทดสอบค่า pH ของไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 7.15 – 8.66

เมื่อทดสอบสมบัติการละลายพบว่า ไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งขาว เปลือกปูทะเล และ แคนหมีกกระดองสามารถละลายในกรดอะซีติกได้เกือบทั้งหมด ส่วนไคโตซานจากเปลือกแมงดาทะเลละลายได้น้อย ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากไคโตซานจากเปลือกแมงดาทะเลมีค่าระดับการกำจัดหุ่อะซีดีลต่ำสุด จึงมีความเป็นไคตินมากกว่าไคโตซานทำให้การละลายมีค่าน้อย

ในส่วนของความหนืดพบว่า ไคโตซานจากเปลือกปูทะเล และเปลือกแมงดาทะเลมีค่าแตกต่างจากไคโตซานชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวให้ค่าความหนืดสูงที่สุด (276.48 ± 21.50 cps) การที่ไคโตซานมีความหนืดต่ำนั้นอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุเช่น สภาวะการกำจัดหุ่อะซีดีล มวลโมเลกุล ความเข้มข้น pH และอุณหภูมิ ซึ่งการใช้สภาวะที่รุนแรงในการแยกโปรตีน (สุวนุญและคณะ, 2544) การกำจัดหุ่อะซีดีลภายใต้บรรยากาศปกติ (รัตมณี, 2540) รวมทั้งการเพิ่มระยะเวลาในการกำจัดแร่ธาตุ (Myint *et al.*, 2002) อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ไคโตซานเสื่อมสภาพ และเกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) ได้ ไคโตซานที่ผลิตได้จึงมีน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุในแคนหมีกกระดองซึ่งเป็นเปลือกสัตว์ที่ต้องใช้เวลาในการกำจัดแร่ธาตุนานที่สุด เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมสูง นอกจากนี้ในการเปรียบเทียบค่าความหนืดระหว่างชนิดตัวอย่างจำเป็นต้องใช้หัวเข็มและความเร็วรอบเดียวกัน ซึ่งอาจเหมาะสมกับตัวอย่างบางชนิดเท่านั้น จากการทดลอง วัดค่าความหนืดไคโตซาน กุ้งของเขาวภา (2534) พบว่ามีค่า 67 cps ส่วนค่าความหนืดไคโตซาน กุ้งของนนทียา (2548) มีค่า 4.3 – 3,094.3 cps เกษม (2543) ได้ตรวจวัดความหนืดของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งและเปลือกปูพบว่า มีค่า 30 และ 12.5 cps ตามลำดับ ดังนั้นความหนืดของไคโตซานที่ผลิตได้จากการทดลองครั้งนี้จึงถือว่ามีค่าอยู่ในช่วงปานกลาง

ตารางที่ 7 สมบัติของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ

การทดสอบ	สมบัติของไคโตซานจากเปลือกสัตว์ทะเล ($\bar{x} \pm SD$)			
	กุ้งขาว	ปูทะเล	หมีกกระดอง	แมงดาทะเล
ความชื้น (%)	2.28±0.02 ^c	1.36±0.04 ^d	4.74±0.02 ^a	2.54±0.01 ^b
เถ้า (%)	0.13±0.00 ^d	0.31±0.00 ^b	0.67±0.01 ^a	0.25±0.01 ^c
pH	6.35±0.21 ^c	6.75±0.12 ^b	7.55±0.06 ^a	7.78±0.07 ^a
การละลาย (%)	98.93±0.26 ^a	96.36±0.20 ^b	93.84±0.38 ^c	78.68±0.75 ^d
ความหนืด (cps)	276.48±12.25 ^a	50.14±2.19 ^b	21.50±2.04 ^c	57.34±2.49 ^b
ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล (%)	66.74	69.30	64.29	60.94
พื้นที่ผิว (m ² /g)	74.42 x 10 ⁻²	93.08 x 10 ⁻²	74.04 x 10 ⁻²	60.27 x 10 ⁻²
ปริมาตรรูพรุน (cc/g)	4.98 x 10 ⁻⁴	27.00 x 10 ⁻⁴	5.57 x 10 ⁻⁴	4.84 x 10 ⁻⁴
เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน (A ^o)	26.77	116.02	30.09	32.12

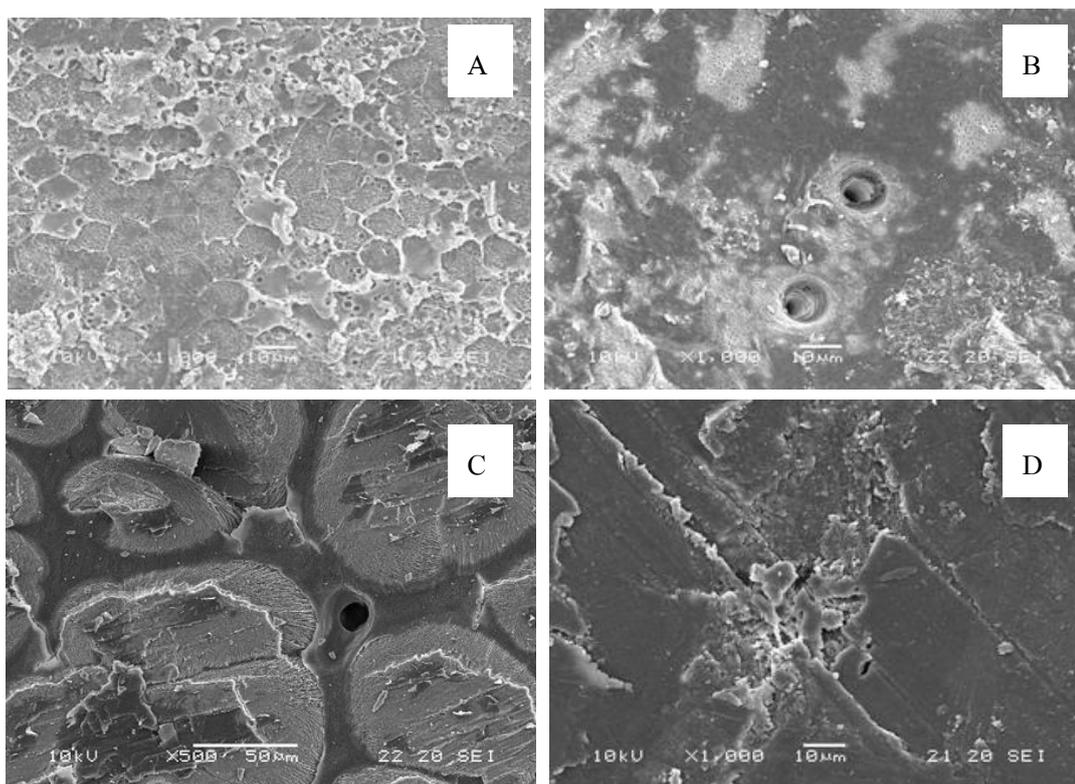
หมายเหตุ 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) ในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. การวิเคราะห์ความหนืดใช้หัวเข็มเบอร์ RV1 ที่อุณหภูมิ 25 °C

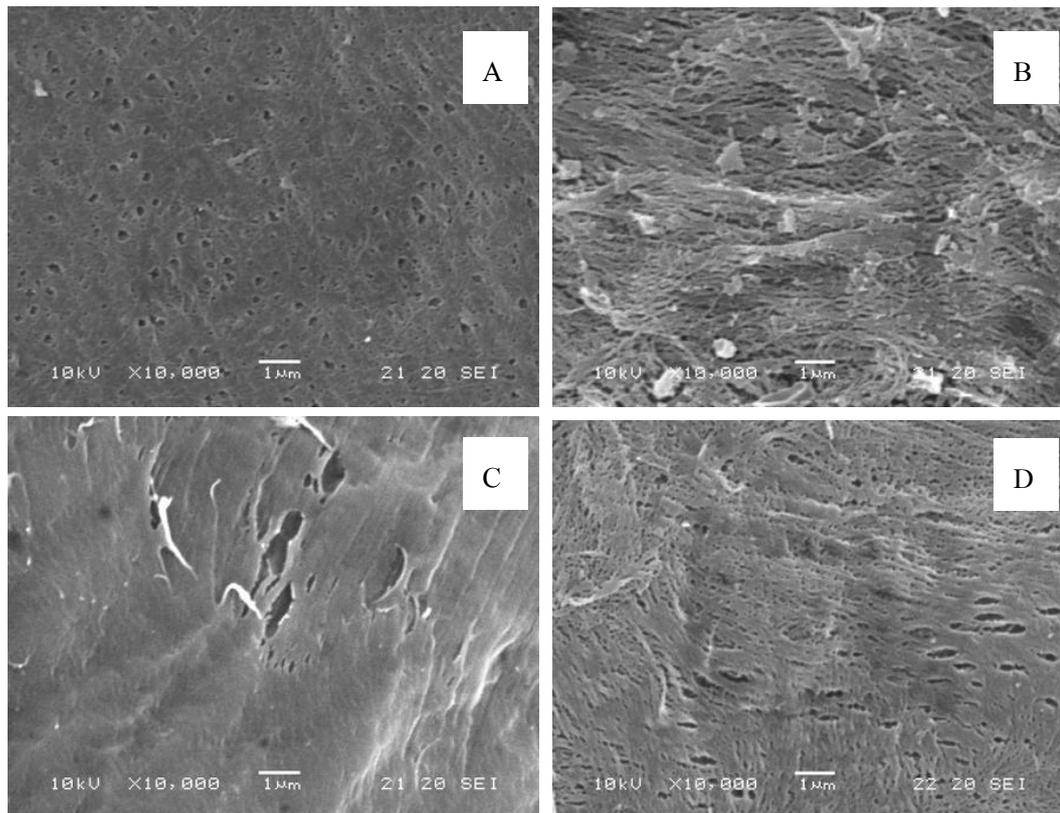
จากการศึกษาพื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุน และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนในไคโตซานพบว่า ไคโตซานจากเปลือกปูทะเลมีพื้นที่ผิว ($93.08 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{g}$) ปริมาตรรูพรุน ($27.00 \times 10^{-4} \text{ cc/g}$) และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน (116.02 A^o) มากที่สุดเมื่อเทียบกับไคโตซานจากเปลือกสัตว์ชนิดอื่น ส่วนไคโตซานจากเปลือกแมงดาทะเลมีพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนน้อยที่สุด ไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนน้อยที่สุด ซึ่งข้อมูลที่ได้สอดคล้องกับเบญจวรรณ และปัทม (2540) ที่พบว่า ไคโตซานชนิดผงที่ผลิตจากบริษัทภายในประเทศมีปริมาตรรูพรุนทั้งหมด 0.0134 cc/g และมีพื้นที่ผิว $0.906 \text{ m}^2/\text{g}$ ส่วนไคโตซานที่ผลิตจากบริษัทภายนอกประเทศ มีปริมาตรรูพรุนทั้งหมด 0.0099 cc/g และมีพื้นที่ผิว $0.032 \text{ m}^2/\text{g}$

การศึกษาลักษณะภายนอกของไคโตซาน

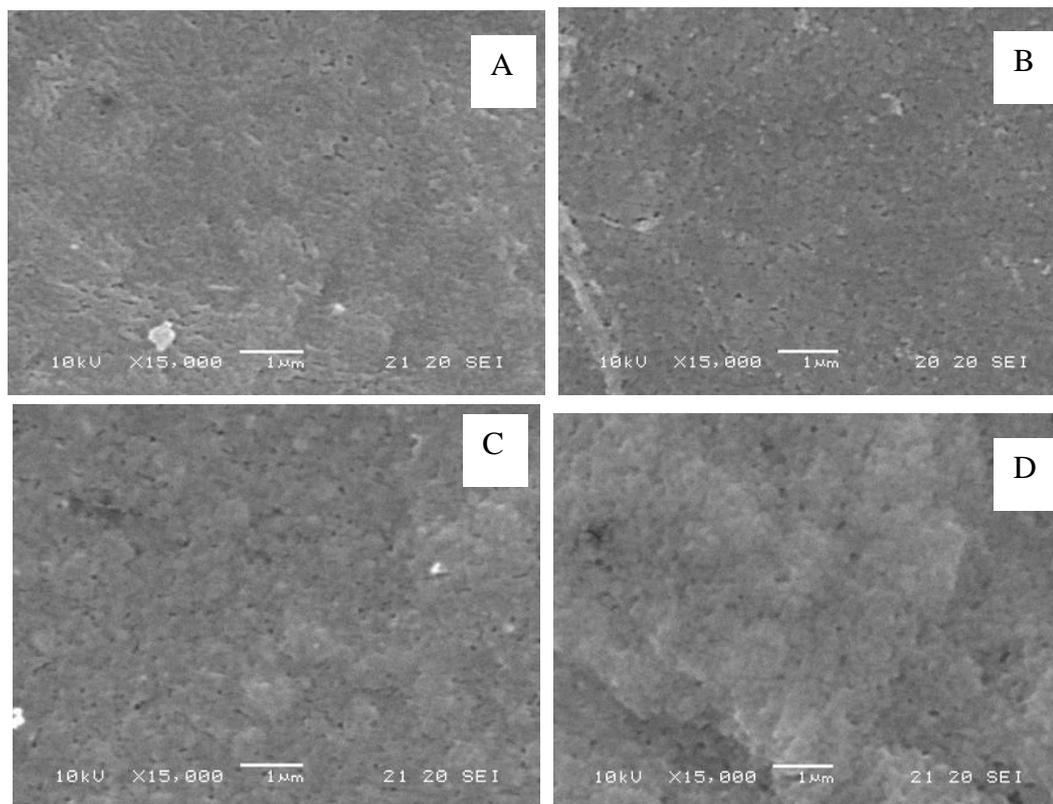
ผลการศึกษาเปลือกสัตว์ทะเล ไคติน และไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกสัตว์ทะเลภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (รูปที่ 6 - 8) พบว่า เปลือกของสัตว์ทะเลมีรูพรุนที่มีขนาดใหญ่แต่มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ (ภาพที่ 6 A - D) ในขณะที่ไคตินมีช่องว่างหรือความพรุนเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 7 A - D) เมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานจะพบว่า มีรูพรุนขนาดเล็กกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอเป็นปริมาณมาก (ภาพที่ 8 A - D) จากการศึกษาของวีระ (2546) ที่ได้ถ่ายภาพถ่านกัมมันต์ชนิดที่เคลือบด้วยไคโตซานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดที่เคลือบด้วยไคโตซานจะทำให้พื้นที่ผิวและความพรุนของถ่านกัมมันต์ลดลง โดยไคโตซานจะมีผลทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวที่เรียบมากขึ้นและมีปริมาตรรูพรุนลดลง



ภาพที่ 6 พื้นที่ผิวของเปลือกสัตว์ทะเลที่ถ่ายด้วย SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า เปลือกกุ้งขาว (A), เปลือกปูทะเล (B), แกนหมีกระดอง (C) และเปลือกแมงดาทะเล (D)



ภาพที่ 7 พื้นที่ผิวของไคตินที่ถ่ายด้วย SEM กำลังขยาย 10,000 เท่า ไคตินกึ่งขาว (A), ไคตินปูทะเล (B), ไคตินหมึกกระดอง (C) และไคตินแมงดาทะเล (D)



ภาพที่ 8 พื้นผิวของไคโตซานที่ถ่ายด้วย SEM กำลังขยาย 15,000 เท่า ไคโตซานกึ่งขาว (A), ไคโตซานปุระทะเล (B), ไคโตซานหมึกกระดอง (C) และไคโตซานแมงดาทะเล (D)

3. การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่น

การเตรียมไคโตซานปิด

การเตรียมไคโตซานปิดจากไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกสัตว์ทะเล 4 ชนิดได้แก่ กุ้งขาว ปู ทะเล หมึกกระดอง และแมงดาทะเล โดยใช้ความเข้มข้น 4 % ไคโตซานใน 2 % acetic acid พบว่า เม็ดปิดที่ผลิตได้มีขนาด และความคงตัวแตกต่างกัน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดของ ไคโตซาน กล่าวคือ ไคโตซานที่มีค่าความหนืดมากจะรวมตัวกันเป็นเม็ดใหญ่ที่ปลายหลอดฉีดยาก่อนจะหยดลงในสารละลายเบส ส่งผลให้ได้เม็ดปิดขนาดใหญ่ ส่วน ไคโตซานที่มีค่าความหนืดน้อยสารละลายไคโตซานจะหยดลงอย่างรวดเร็วในสารละลายเบสทำให้ได้เม็ดปิดที่มีขนาดเล็ก ซึ่งเม็ดปิดที่มีขนาดใหญ่ และมีความคงตัว ที่สุดคือไคโตซานปิดกึ่งขาว รองลงมาคือไคโตซานปิดแมงดาทะเล, ปูทะเล และหมึกกระดอง ตามลำดับ ซึ่งมีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 4.23 ± 0.03 , 4.08 ± 0.14 , 3.88 ± 0.30 และ 2.52 ± 0.08 mm ตามลำดับ ไคโตซานปิดที่ได้มีความแข็งแรงไม่

แตกหักเมื่อเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที สีของไคโตซานบีดที่ได้มีสีเหมือนกับ ไคโตซานเดิมที่นำมาผลิต เช่น ไคโตซานบีดกุ้งขาวและปูทะเลเป็นสีขาว ไคโตซานบีดหมีกกระดองเป็นสีน้ำตาลอ่อน และไคโตซานบีดแมงดาทะเลเป็นสีเหลือง (ภาพที่ 9)

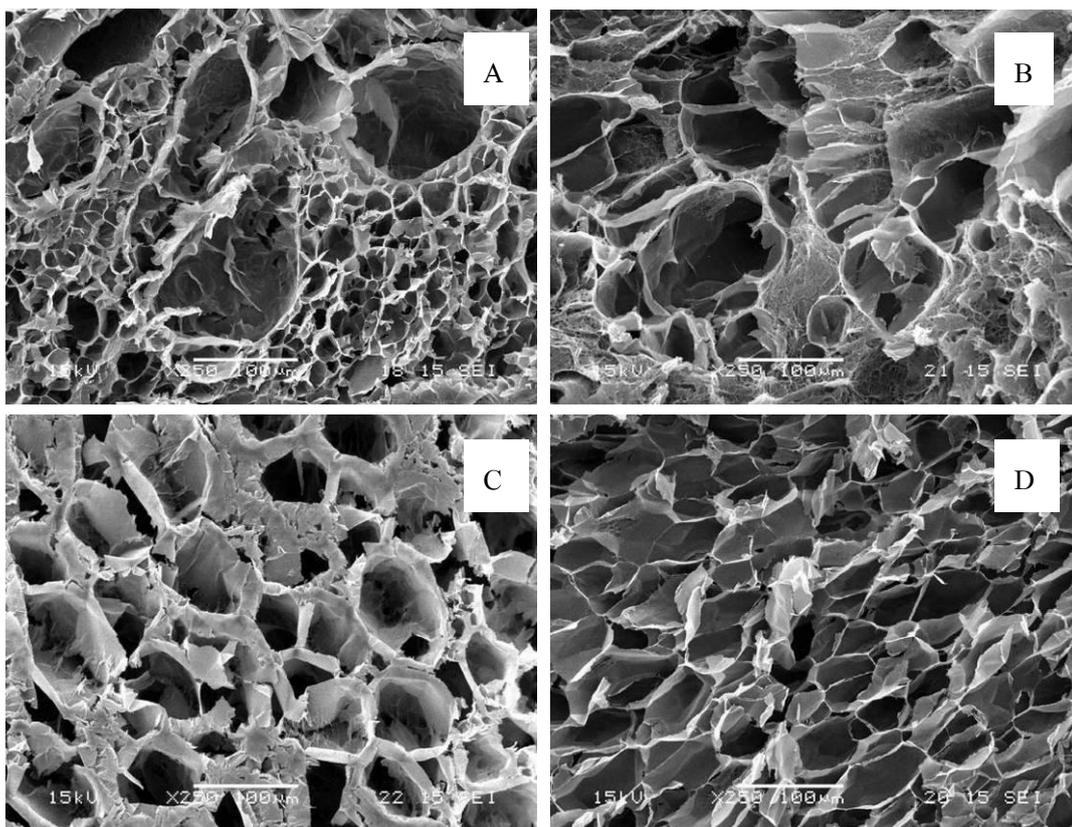


ภาพที่ 9 ไคโตซานบีดกุ้งขาว (A), ไคโตซานบีดปูทะเล (B), ไคโตซานบีดหมีกกระดอง (C) และ ไคโตซานบีดแมงดาทะเล (D)

ลักษณะภายในของไคโตซานบีด

จากการถ่ายภาพตัดขวางแสดงลักษณะโครงสร้างภายในของไคโตซานบีดภายใต้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ามีรูพรุนภายในไคโตซานบีดเป็นจำนวนมาก โดยไคโตซานบีดจากกุ้งขาว และปูทะเลมีรูพรุนขนาดใหญ่อยู่ภายในและมีรูพรุนขนาดเล็กอยู่ล้อมรอบ ส่วนไคโตซานบีดจากหมีกกระดอง และแมงดาทะเลมีรูพรุนขนาดเล็กสลับกันกระจายตัวอยู่อย่าง

สมำเสมอ (ภาพที่ 10 A - D) เมื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของไคโตซาน บิดทั้ง 4 ชนิดพบว่า ไคโตซานบิดมีรูพรุนขนาดใหญ่ และเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอมากกว่าไคโตซานธรรมดา โดยไคโตซานบิดกึ่งขาว และไคโตซานบิดปุทะเลมีรูพรุน 2 ขนาด คือ รูพรุนขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก ก ซึ่งรูพรุนขนาดใหญ่ และขนาดเล็กของ ไคโตซานบิดกึ่งขาวมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 30,000 และ 5,000 μm ตามลำดับ ไคโตซานบิดปุทะเลมีรูพรุนขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก โดยเฉลี่ยประมาณ 20,000 และ 10,000 μm ตามลำดับ ส่วนไคโตซานบิดหมึกกระดอง และไคโตซานบิดแมงดาทะเล รูพรุนมีขนาดสมำเสมอกัน โดยมีขนาด เฉลี่ยประมาณ 15,000 และ 11,666 μm ตามลำดับ ดังนั้นการเตรียมไคโตซานให้อยู่ในรูปเม็ดบิด จึงถือเป็นการเพิ่มรูพรุน และพื้นที่ผิวภายในให้กับไคโตซานได้เป็นอย่างดี เหมาะสมแก่การนำไปดูดซับกลิ่นหรือสารเคมี ในการทดลองต่อไป



ภาพที่ 10 พื้นที่ผิวภายในของไคโตซานบิดที่ถ่ายด้วย SEM กำลังขยาย 250 เท่า ไคโตซานบิดกึ่งขาว (A), ไคโตซานบิดปุทะเล (B), ไคโตซานบิดหมึกกระดอง (C) และไคโตซานบิดแมงดาทะเล (D)

ประสิทธิภาพการดูดซับกลืนแอมโมเนียของไคโตซานบีด

การศึกษาเปอร์เซ็นต์การระเหยของแอมโมเนีย

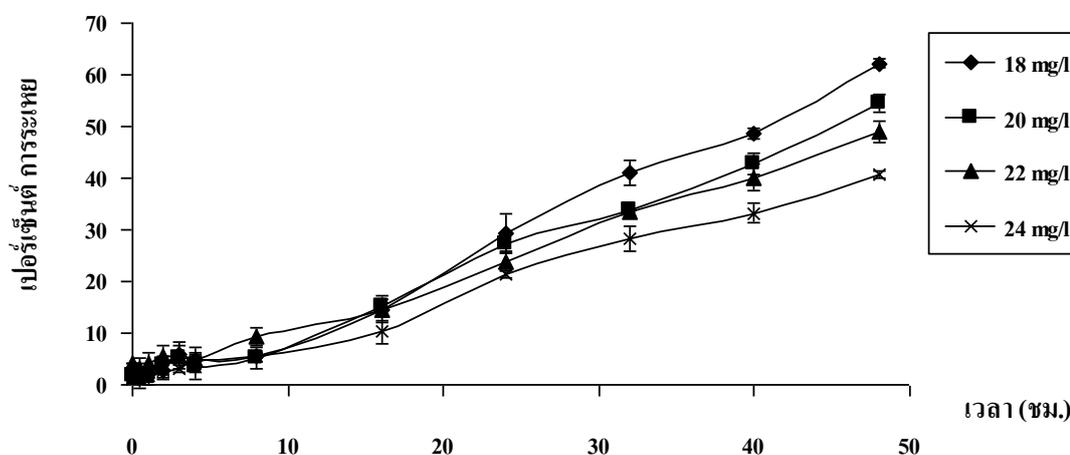
การศึกษาเปอร์เซ็นต์การระเหยของแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 mg/l ในระยะเวลาต่างๆ คือ 1, 30 นาที 1, 2, 3, 4, 8, 16, 24, 32, 40, 48 ชั่วโมง แล้ววัดค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลือจากช่วงเวลาดังกล่าวพบว่า ในช่วงเวลา 1 นาทีถึง 8 ชั่วโมงสารละลายแอมโมเนียมีเปอร์เซ็นต์การระเหยต่ำ โดยที่ระดับความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 mg/l มีค่าเปอร์เซ็นต์การระเหยอยู่ในช่วง 1.62 ± 0.94 ถึง $5.41 \pm 0.94\%$, 1.88 ± 1.63 ถึง $5.16 \pm 2.15\%$, 4.05 ± 0.00 ถึง $9.31 \pm 1.86\%$ และ 1.13 ± 0.65 ถึง $5.66 \pm 0.65\%$ ตามลำดับ ส่วนในช่วงเวลา 16 – 48 ชั่วโมงเปอร์เซ็นต์การระเหยเริ่มมีค่าสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่เวลา 48 ชั่วโมง โดยเปอร์เซ็นต์การระเหยของแอมโมเนียในช่วงเวลา 16 – 48 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 mg/l มีค่าเท่ากับ 14.60 ± 2.48 ถึง $62.16 \pm 0.94\%$, 15.02 ± 1.63 ถึง $54.46 \pm 1.63\%$, 14.58 ± 1.40 ถึง $48.99 \pm 2.10\%$ และ 10.19 ± 2.36 ถึง $40.76 \pm 0.65\%$ ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาและเปอร์เซ็นต์การระเหยได้ดังตารางที่ 8 และภาพที่ 11

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การระเหย ของสารละลายแอมโมเนีย ในช่วงเวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 นาที ถึง 48 ชั่วโมง พบว่า ระดับความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 mg/l ที่เวลา 1 นาที ถึง 4 ชั่วโมง การระเหยมีค่าอยู่ในช่วง 1.13 ± 0.65 ถึง $5.95 \pm 1.62\%$ โดยที่เวลา 4 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การระเหยมีค่าใกล้เคียงกันในทุกความเข้มข้นคือ 4.87 ± 2.48 , 3.29 ± 2.15 , 4.86 ± 1.40 และ 4.53 ± 1.31 mg/l ตามลำดับ แต่จะมีค่าแตกต่างกันอย่าง เด่นชัด ในชั่วโมงที่ 48 สารละลายแอมโมเนียที่มีค่าความเข้มข้นต่ำจะมี เปอร์เซ็นต์การระเหย มากกว่าสารละลายแอมโมเนียที่มีค่าความเข้มข้นสูง ซึ่งที่เวลา 48 ชั่วโมง สามารถเรียงลำดับ ความเข้มข้นของ สารละลายแอมโมเนีย ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การระเหยจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้คือ 18, 20, 22 และ 24 mg/l ตามลำดับ

ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์การระเหยของสารละลายแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

เวลา	การระเหย (%) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ระดับความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย (mg/l)			
	18	20	22	24
1 นาที	1.62±0.94 ⁱ	1.88±1.63 ⁱ	4.05±0.00 ^g	1.13±0.65 ⁱ
30 นาที	2.16±1.87 ^h	0.94±1.63 ⁱ	3.24±1.86 ^g	1.51±0.00 ⁱ
1 ชม.	2.16±0.94 ^h	1.41±1.41 ⁱ	4.05±2.10 ^g	1.89±0.65 ⁱ
2 ชม.	2.70±1.62 ^h	3.76±1.63 ^g	5.67±1.86 ^f	2.64±1.13 ^h
3 ชม.	5.95±1.62 ^f	5.16±0.81 ^f	5.67±2.53 ^f	3.02±0.65 ^h
4 ชม.	4.87±2.48 ^g	3.29±2.15 ^g	4.86±1.40 ^g	4.53±1.31 ^g
8 ชม.	5.41±0.94 ^f	5.16±2.15 ^f	9.31±1.86 ^f	5.66±0.65 ^f
16 ชม.	14.60±2.48 ^e	15.02±1.63 ^e	14.58±1.40 ^e	10.19±2.36 ^e
24 ชม.	29.19±3.74 ^c	27.23±1.63 ^c	23.89±1.86 ^d	21.51±0.65 ^d
32 ชม.	41.08±2.48 ^b	33.80±0.00 ^c	33.61±0.70 ^c	28.30±2.36 ^c
40 ชม.	48.65±0.94 ^a	42.72±2.15 ^b	40.08±2.53 ^b	33.21±1.96 ^c
48 ชม.	62.16±0.94 ^a	54.46±1.63 ^a	48.99±2.10 ^a	40.76±0.65 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) ในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 11 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การระเหยของสารละลายแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้น 18 – 24 mg/l ในเวลา 48 ชั่วโมง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับ แอมโมเนีย ของไคโตซานปิดที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ

การทดสอบประสิทธิภาพดูดซับกลิ่นแอมโมเนียในสารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ คือ 18, 20, 22 และ 24 mg/l ความเข้มข้นละ 30 ml โดยใช้ไคโตซานปิด 5 g ระยะเวลาดูดซับเท่ากับ 1, 30 นาที 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง แล้ววัดความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลือหลังการดูดซับ แสดงเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละของประสิทธิภาพการดูดซับดัง แสดงในตารางผนวกที่ ก1 – ก4 และภาพที่ 12 – 14

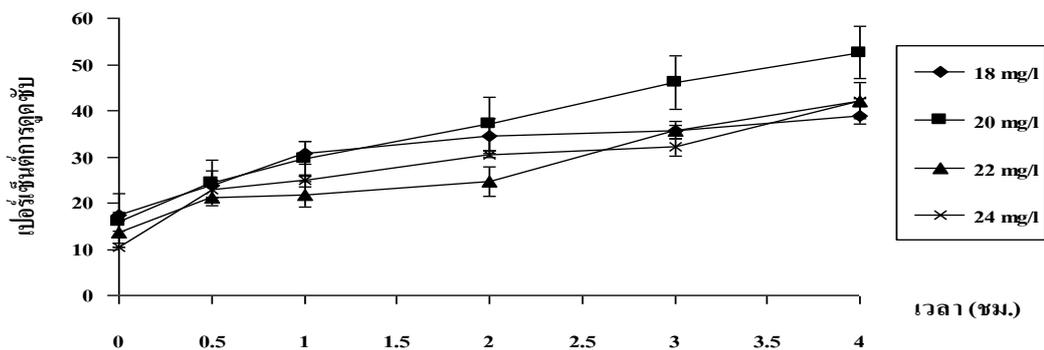
ประสิทธิภาพการดูดซับของไคโตซานปิดกุ้งขาวที่ สารละลาย แอมโมเนียระดับ ความเข้มข้น 18 – 24 mg/l ในช่วงเวลา 1 นาที – 4 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 10.57 ± 0.00 ถึง $52.58 \pm 5.69\%$ โดยที่ระดับความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 mg/l มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับมากที่สุดที่เวลา 4 ชั่วโมง คือ 38.92 ± 1.87 , 52.58 ± 5.69 , 42.11 ± 3.90 และ $41.89 \pm 0.65\%$ ตามลำดับ ส่วนอัตราการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 mg/l พบว่ามีค่าสูงสุดที่เวลา 30 นาที คือ 8.21 ± 1.12 , 9.71 ± 1.97 , 9.71 ± 0.00 และ 11.39 ± 0.97 mg/l/hr ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการดูดซับของไคโตซานปิดปูทะเลที่ สารละลาย แอมโมเนียระดับความเข้มข้น 18 – 24 mg/l ในช่วงเวลา 1 นาที – 4 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 2.82 ± 1.41 ถึง $44.87 \pm 1.62\%$ โดยที่ระดับความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 mg/l มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับมากที่สุดที่เวลา 4 ชั่วโมง คือ 44.87 ± 1.62 , 26.29 ± 4.30 , 20.24 ± 1.40 และ $24.91 \pm 1.31\%$ ตามลำดับ ส่วนอัตราการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 18 และ 22 mg/l พบว่ามีค่าสูงสุด ที่เวลา 30 นาที คือ 9.15 ± 0.32 และ 2.99 ± 0.00 mg/l/hr ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 20 และ 24 mg/l อัตราการดูดซับมีค่าสูงสุดที่เวลา 1, 2 ชั่วโมง โดยมีค่า 3.55 ± 0.90 และ 2.33 ± 0.16 mg/l/hr ตามลำดับ

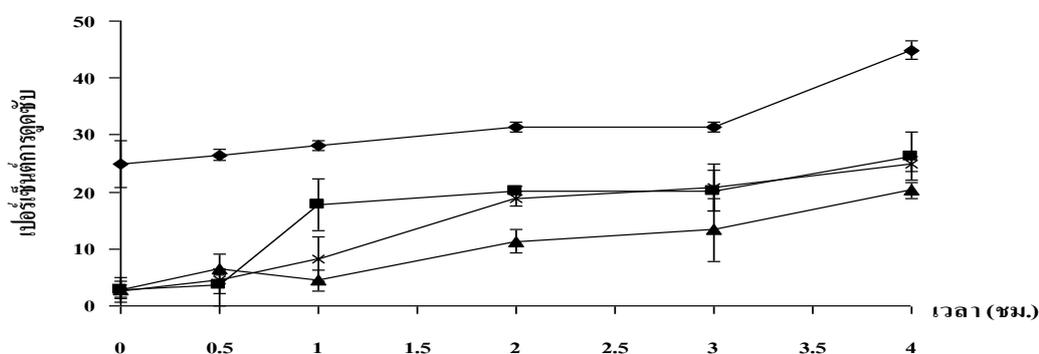
ประสิทธิภาพการดูดซับของไคโตซานปิดหมีกระดองที่สารละลายแอมโมเนียระดับความเข้มข้น 18 – 24 mg/l ในช่วงเวลา 1 นาที – 4 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 2.16 ± 1.87 ถึง $27.57 \pm 3.38\%$ โดยที่ระดับความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 mg/l มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับมากที่สุดที่เวลา 4 ชั่วโมงคือ 27.57 ± 3.38 , 23.94 ± 3.73 , 26.72 ± 1.40 และ $22.26 \pm 1.73\%$ ตามลำดับ ส่วนอัตราการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 20, 22 และ 24 mg/l พบว่ามีค่าสูงสุดที่เวลา 30 นาที คือ 6.16 ± 0.56 , 3.36 ± 1.29 และ 4.85 ± 1.17 mg/l/hr ตามลำดับ โดยที่ระดับความเข้มข้น 18 mg/l อัตราการดูดซับมีค่าสูงสุดที่เวลา 2 ชั่วโมง คือ 1.59 ± 0.29 mg/l/hr

ประสิทธิภาพการดูดซับของไคโตซานบีดแมงดาทะเลที่ สารละลายแอมโมเนียระดับความเข้มข้น 18 – 24 mg/l ในช่วงเวลา 1 นาที – 4 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 3.64 ± 0.70 ถึง $32.83 \pm 5.58\%$ โดยที่ระดับความเข้มข้น 20, 22 และ 24 mg/l มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับมากที่สุดที่เวลา 4 ชั่วโมง คือ 27.70 ± 2.93 , 26.32 ± 1.86 และ $32.83 \pm 5.58\%$ ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 18 mg/l มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับมากที่สุดที่เวลา 2 ชั่วโมง คือ $17.30 \pm 1.62\%$ อัตราการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 18, 20 และ 24 mg/l พบว่ามีค่าสูงสุดที่เวลา 30 นาที คือ 4.67 ± 1.17 , 2.24 ± 1.48 และ 6.35 ± 1.94 mg/l/hr ตามลำดับ โดยที่ระดับความเข้มข้น 22 mg/l อัตราการดูดซับมีค่าสูงสุดที่เวลา 1 ชั่วโมง คือ 3.73 ± 0.28 mg/l/hr

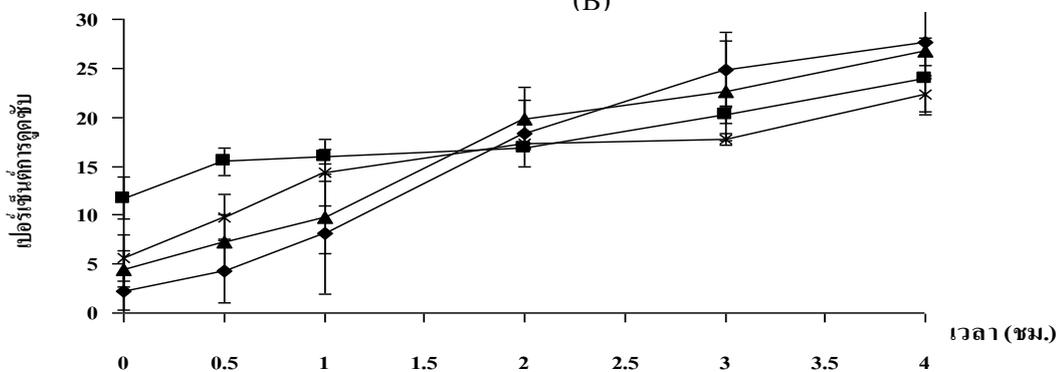
จากภาพที่ 12 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดทั้ง 4 ชนิดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปซึ่งแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ (ภาพที่ 13) ที่พบว่ามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยอัตราการดูดซับมีค่าสูงสุดที่เวลา 30 นาที แสดงให้เห็นว่าการดูดซับแอมโมเนียเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้น และมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป เมื่อเปรียบเทียบอัตราการดูดซับที่เวลา 2 ชั่วโมง กับ 4 ชั่วโมงพบว่ามีค่าต่างกันเพียง $0.14 - 1.31$ mg/l/hr ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อัตราการดูดซับเริ่มมีค่าคงที่ และมีรูปแบบใกล้เคียงกันในทุกชนิดไคโตซานบีด จากการทดลองนี้จึงได้พิจารณาเลือกเวลาที่ 2 ชั่วโมงเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการศึกษาในขั้นตอนต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับมณฑิธา และคณะ (2543) ที่ได้ศึกษาการกำจัดก๊าซ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้ ไคโตซาน พบว่า การดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 – 3 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นอัตราการดูดซับจึงเริ่มมีค่าลดลงจนเข้าสู่จุดสมดุลที่เวลา 3 – 6 ชั่วโมง นิรันดร์ (2545) ได้นำไคโตซานบีดมากำจัดความกระด้างของน้ำเสียโดยใช้จุดสมดุลของการดูดซับที่ 3 ชั่วโมง นอกจากนี้สุธา และคณะ (2544) ได้นำไคโตซานบีดมากำจัดสารหนูในรูปน้ำเสียสังเคราะห์พบว่า ที่เวลา 1 – 3 ชั่วโมงการดูดซับมีค่าอยู่ในช่วง 72.2 – 77.1% ในขณะที่ช่วงเวลา 6 – 36 ชั่วโมงการดูดซับมีค่าประมาณ 76% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่เวลา 3 กับ 36 ชั่วโมงการดูดซับมีค่าใกล้เคียงกัน



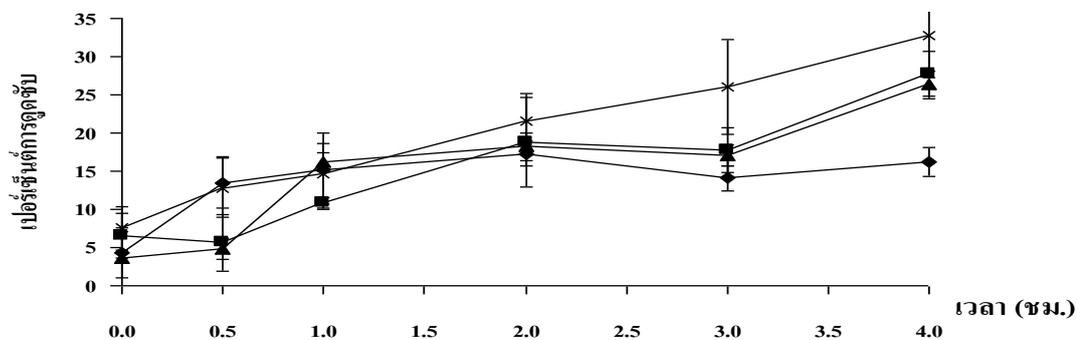
(A)



(B)

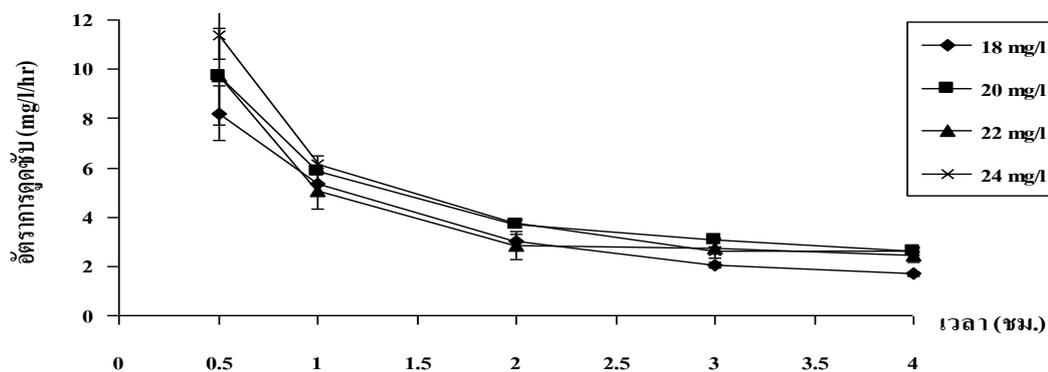


(C)

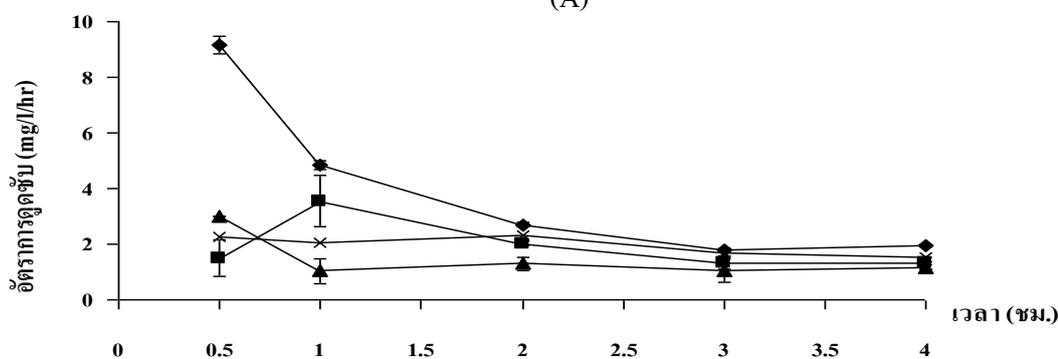


(D)

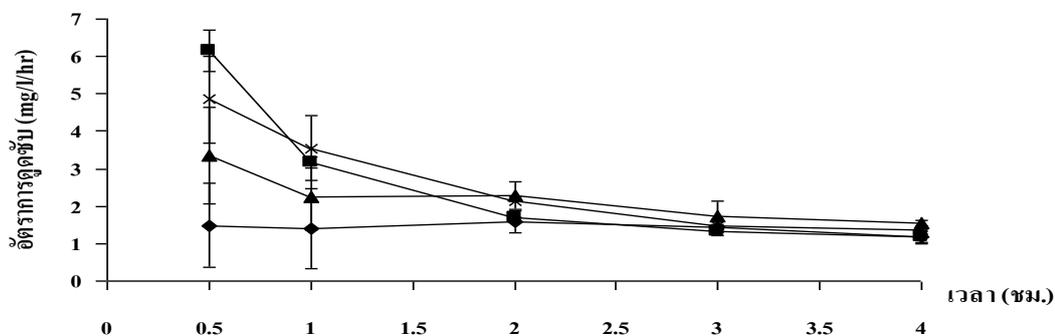
ภาพที่ 12 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดกุ่มงขาว (A), ไคโตซานบีดปุทะเล (B), ไคโตซานบีดหมึกกระดอง(C) และไคโตซานบีดแมงดาทะเล (D)



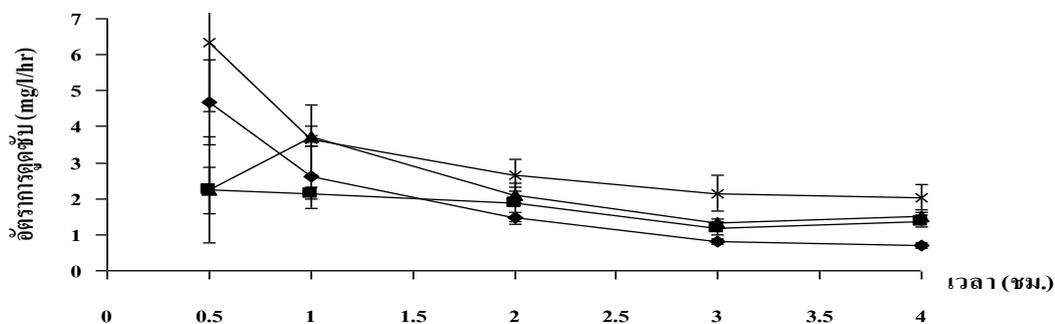
(A)



(B)



(C)

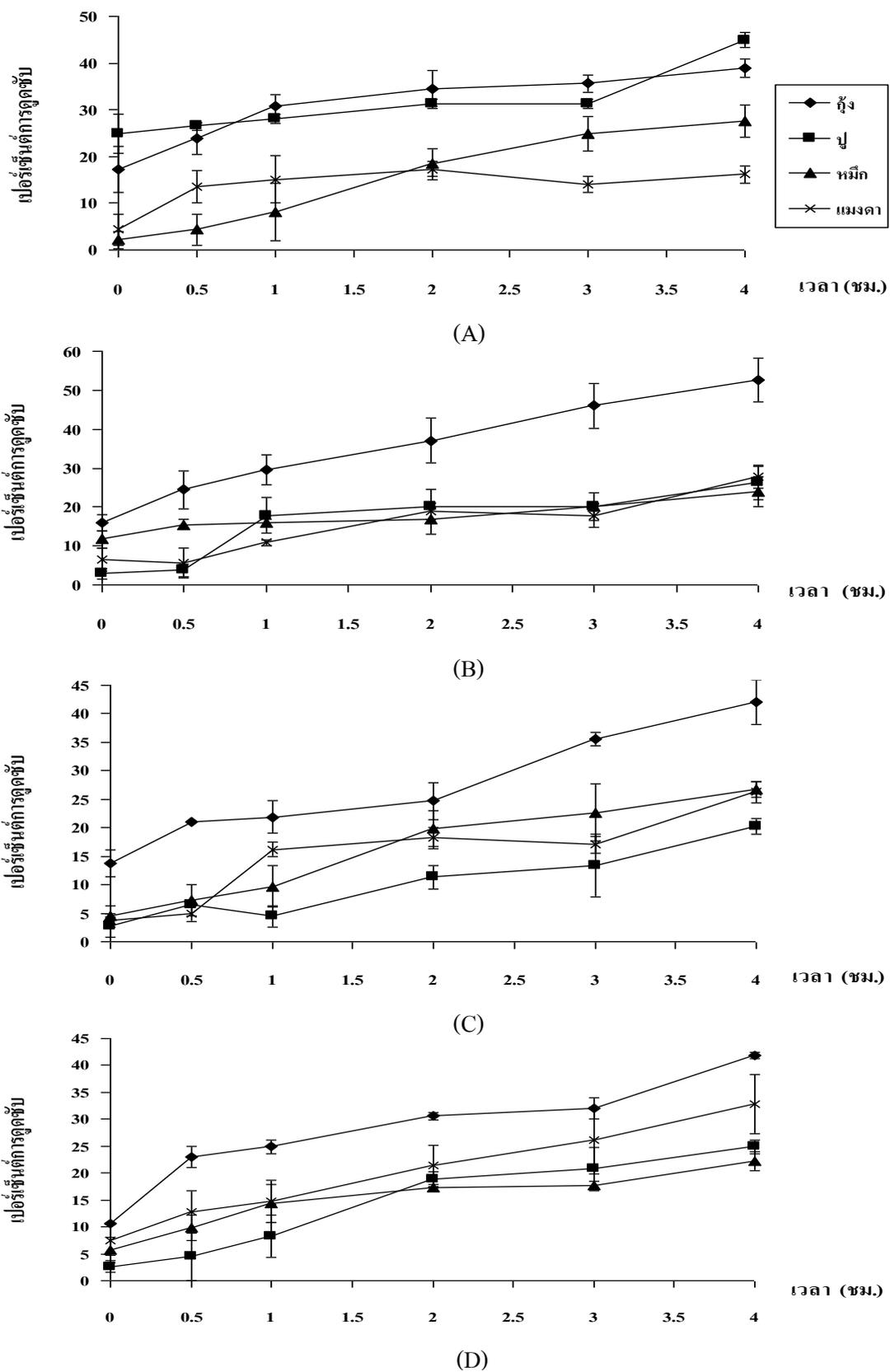


(D)

ภาพที่ 13 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซึมแอมโมเนียของโคโตซานบีดกึ่งขาว (A), โคโตซานบีดปูทะเล (B), โคโตซานบีดหมึกกระดอง (C) และ โคโตซานบีดแมงดาทะเล (D)

เมื่อเปรียบเทียบไคโตซานบีดทั้ง 4 ชนิดในทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนีย (ภาพที่ 12) ที่เวลา 2 ชั่วโมงพบว่า ความเข้มข้น 18 mg/l ให้ค่าการดูดซับค่อนข้างสูง ประกอบกับเป็นระดับความเข้มข้นที่มีค่าต่ำ จึงมีความปลอดภัยต่อผู้ทดลองมากกว่าการใช้ความเข้มข้นสูง จึงพิจารณาเลือกใช้สารละลายแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้น 18 mg/l ในการทดลองต่อไป

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการดูดซับด้วยไคโตซานบีดชนิดต่างๆ (ภาพที่ 14) พบว่า ไคโตซานบีดกึ่งขาวมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าไคโตซานบีดชนิดอื่น ๆ ในทุกระดับความเข้มข้น ซึ่งอาจเกิดจากไคโตซานกึ่งขาวมีค่าความหนืดสูงเมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นไคโตซานบีด จึงได้เม็ดบีดที่มีขนาดใหญ่ และมีความแข็งแรง ประกอบกับมีรูพรุนขนาดใหญ่ ในโครงสร้างจึงทำให้การดูดซับดี ส่วนเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียขึ้นพบว่า ไคโตซานบีดปุทะเลมีค่าการดูดซับลดต่ำลง แต่ที่ระดับความเข้มข้น 18 mg/l ไคโตซานบีดเมงดาทะเลมีค่าการดูดซับต่ำที่สุด โดยชฎาภา (2547) ได้อธิบายว่า อัตราการดูดซับ ของสาร ที่มีรูพรุน มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของสารดูดซับ โดยสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดซับ มากกว่าสารที่มีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้อย นอกจากนี้วีระ (2546) ยังกล่าวว่า ความสามารถในการดูดซับนอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของรูพรุนแล้ว ยังขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมีบนผิวตัวดูดซับด้วย ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเคลือบด้วยไคโตซานเป็นการเพิ่มหมู่อะมิโน (NH_2) ในการดูดซับไอออน ลบทำให้มีความสามารถในการดูดซับมากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยไคโตซาน



ภาพที่ 14 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย 18 mg/l (A), 20 mg/l (B), 22 mg/l (C) และ 24 mg/l (D)

การศึกษา pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดชนิดต่างๆ

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นแอมโมเนียในสารละลายแอมโมเนีย ยมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 18 mg/l ที่ pH 8, 9, 10 ปริมาตร 30 ml โดยใช้ไคโตซานบีด 5 g เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหลังจากนั้นจึงวัดระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลือหลังการดูดซับพบว่า ไคโตซานบีดทั้ง 4 ชนิดมีค่าการดูดซับสูงสุดที่ pH 9 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 17.61 ± 1.15 ถึง $35.85 \pm 1.73\%$ รองลงมาที่ pH 8 (0.95 ± 1.65 ถึง $20.95 \pm 1.65\%$) และ pH 10 (5.43 ± 0.92 ถึง $12.29 \pm 0.72\%$) ยกเว้นในไคโตซานหมึกกระดองที่ pH 10 มีค่ามากกว่า pH 8 โดยที่ pH 9 ไคโตซานบีดแมงดาทะเล มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดคือ $35.86 \pm 1.73\%$ รองลงมาคือ ไคโตซานบีดหมึกกระดอง ($29.43 \pm 0.75\%$), ไคโตซานบีดปูทะเล ($28.93 \pm 3.72\%$) และไคโตซานบีดกุ้งขาว ($17.61 \pm 1.15\%$) ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 9

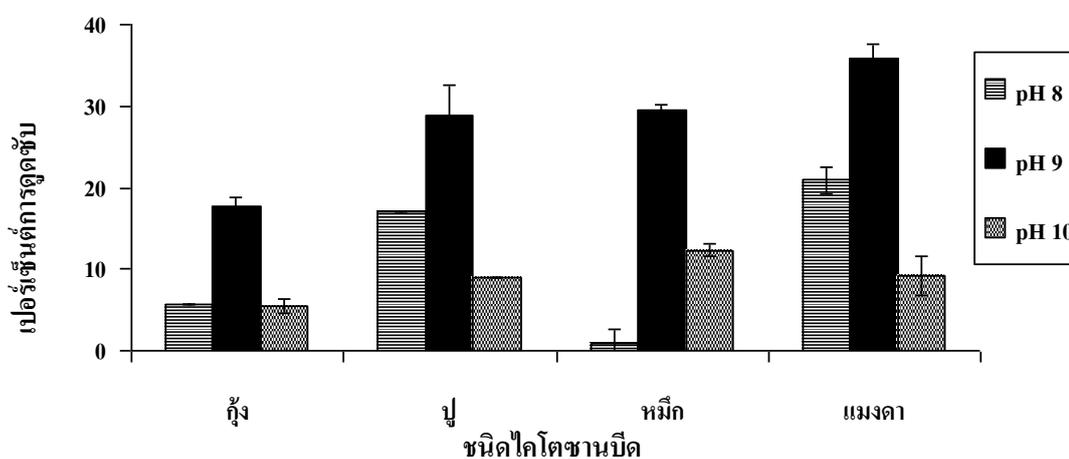
ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดที่ pH 8 - 10

pH	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ไคโตซานบีด กุ้งขาว	ไคโตซานบีด ปูทะเล	ไคโตซานบีด หมึกกระดอง	ไคโตซานบีด แมงดาทะเล
8	5.71 ± 0.00^e	17.14 ± 0.00^d	0.95 ± 1.65^h	20.95 ± 1.65^c
9	17.61 ± 1.15^d	28.93 ± 3.72^b	29.43 ± 0.75^b	35.85 ± 1.73^a
10	5.43 ± 0.92^e	8.96 ± 1.47^f	12.29 ± 0.72^c	9.17 ± 2.35^f

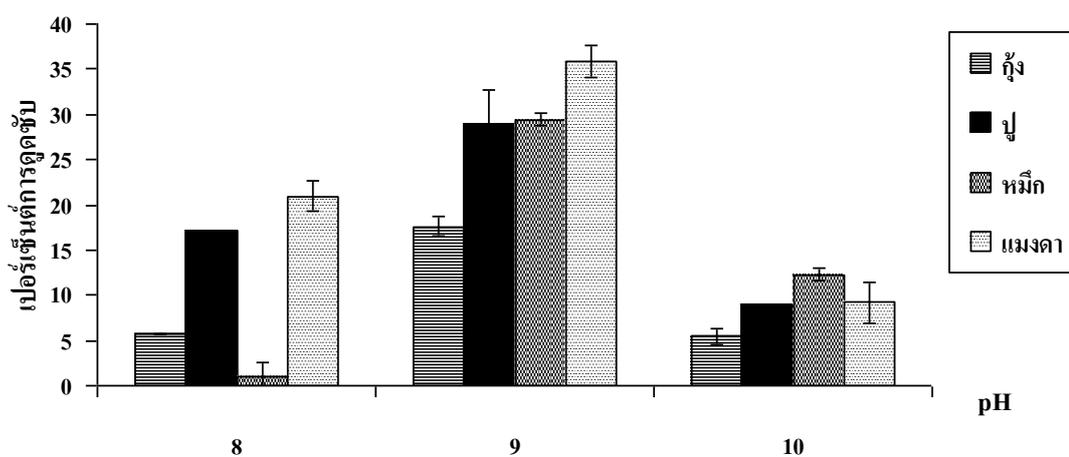
หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เนื่องจากที่ pH 9 ไคโตซานบีดทั้ง 4 ชนิดมีค่าประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดจึงเลือกนำสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 18 mg/l ที่ pH 9 มาใช้ในการทดลองต่อไป ผลการศึกษาใกล้เคียงกับมณีวรรณ (2550) ที่พบว่า น้ำเสียที่มีค่า pH 8 มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนได้ดีที่สุดในขณะที่น้ำเสีย pH 5 มีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนได้น้อยที่สุด สุชาติ (2546) พบว่าช่วง pH 7 - 8 หรือสภาวะที่เป็นเบสเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสีย เนื่องจาก แอมโมเนียอยู่ในรูปแอมโมเนียไอออนที่ สามารถละลายน้ำได้ แต่

หาก pH มีค่าต่ำกว่า 7 จะส่งผลทำให้แอมโมเนียอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน หรือก๊าซที่ระเหยสู่บรรยากาศได้ ปริมาณแอมโมเนียที่ลดลง จึงอาจเกิด จากการระเหยมากกว่าการดูดซับ ณัซพงส์ (2542) จึงกล่าวว่า การแลกเปลี่ยนไอออนกับแอมโมเนียจึงไม่ควรทำในสภาพที่มีความเป็นกรด หรือค่าสูงมาก เกินไป โดยมันลิน และมันรัก (2545) อธิบายว่า ปกติแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำ ประกอบด้วยแอมโมเนียมไอออน (-NH_2) และแอมโมเนียไอออน (-NH_3^+) เมื่อน้ำมีค่า pH เป็นกลาง แอมโมเนียจะอยู่ในรูปแอมโมเนียไอออนมากกว่าแอมโมเนียมไอออน แต่หากมีค่า pH ต่ำประจุไฮโดรเจนสามารถเข้ามาแข่งที่การแลกเปลี่ยนไอออนของแอมโมเนียได้ ส่งผลให้ปฏิกิริยาการกำจัดแอมโมเนียที่ pH ต่ำมีประสิทธิภาพลดลง



(A)



(B)

ภาพที่ 15 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียเมื่อใช้ชนิดไลโตซานบีด (A) และระดับ pH ที่แตกต่างกัน (B)

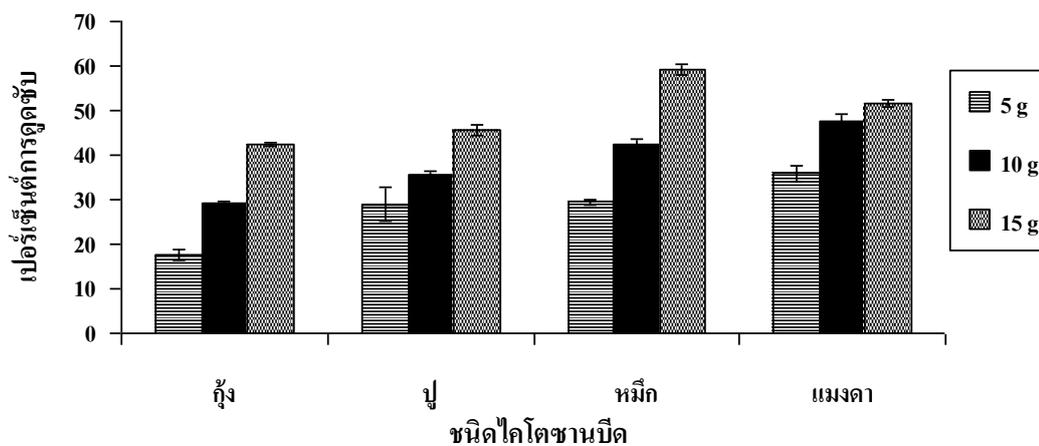
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียเมื่อใช้ไคโตซานบีดปริมาณต่างๆ

การนำเม็ดไคโตซานบีดปริมาณ 5, 10, 15 g มาทดสอบดูดซับกลิ่นแอมโมเนียในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 18 mg/l ที่ pH 9 นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลือหลังการดูดซับพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับ แปรผันโดยตรงกับปริมาณไคโตซานบีด โดยหากเพิ่มปริมาณไคโตซานบีดการดูดซับย่อมมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 10 และภาพที่ 16) ไคโตซานบีดหนัก 5, 10, 15 g มีค่าการดูดซับอยู่ในช่วง 17.61 ± 1.15 ถึง $35.85 \pm 1.73\%$, 29.18 ± 0.44 ถึง $47.80 \pm 1.57\%$ และ 42.52 ± 0.44 ถึง $59.12 \pm 1.15\%$ ตามลำดับ โดยไคโตซานบีดที่หนัก 15 g มีค่าการดูดซับมากสุดใน ไคโตซานบีดหมึกกระดอง ($59.12 \pm 1.15\%$) รองลงมาคือไคโตซานบีดแมงดาทะเล ($51.45 \pm 0.79\%$), ไคโตซานบีดปูทะเล ($45.66 \pm 1.13\%$) และไคโตซานบีดกุ้งขาว ($42.52 \pm 0.44\%$) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับมณฑิชา และคณะ (2543) ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณไคโตซานส่งผลทำให้การดูดซับในภา พรรวมทั้งหมคมมีค่าเพิ่มมากขึ้น ปิยะบุตร (2545) ได้ทดสอบนำไคโตซานบีดมาดูดซับสารละลายเหล็กพบว่า ไคโตซานบีดปริมาณ 20, 40 และ 60 g ให้ค่าการดูดซับ 95, 97 และ 98% ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มปริมาณไคโตซานบีดเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสกับสารที่ถูกดูดซับ Zehra *et al.* (2008) ได้ทดสอบดูดซับสารละลาย มาลาไคท์กรีนที่ระดับ pH 2 – 11 โดยใช้ไคโตซานบีดพบว่า การดูดซับมีค่าแปรผันโดยตรงกับระดับ pH ที่มีค่าสูงขึ้น โดย pH 8 ให้ค่าการดูดซับสูงสุด (99.38%) แต่หาก pH มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากนี้การดูดซับจะมีค่าคงที่ ซึ่งการดูดซับเกิดอย่างรวดเร็วในช่วงต้นที่ 100 นาทีแรกและเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลา 300 นาที

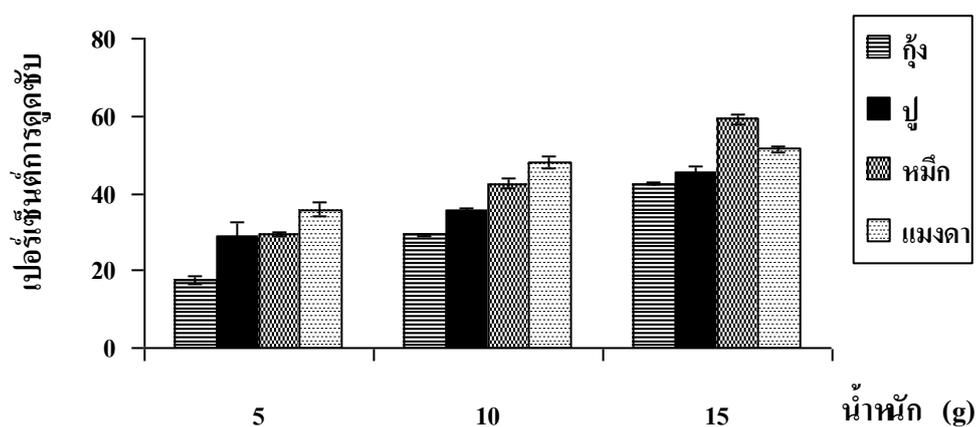
ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียที่ไคโตซานบีดปริมาณต่าง ๆ

น้ำหนักบีด (g)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ไคโตซานบีด กุ้งขาว	ไคโตซานบีด ปูทะเล	ไคโตซานบีด หมึกกระดอง	ไคโตซานบีด แมงดาทะเล
5	17.61 ± 1.15^e	28.93 ± 3.72^f	29.43 ± 0.75^f	35.85 ± 1.73^c
10	29.18 ± 0.44^f	35.47 ± 0.75^c	42.52 ± 1.15^d	47.80 ± 1.57^c
15	42.52 ± 0.44^d	45.66 ± 1.13^c	59.12 ± 1.15^a	51.45 ± 0.79^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



(A)



(B)

ภาพที่ 16 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับแอมโมเนียที่ชนิดไคโตซานบีด (A)และปริมาณต่างๆ(B) ประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นฟอร์มัลดีไฮด์ของไคโตซานบีด

การทดสอบหาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้น 1 $\mu\text{g/ml}$ ถึง 10 $\mu\text{g/ml}$ พบว่า สมการจากกราฟมาตรฐาน (ภาพผนวกที่ ก1) คือ

$$y = 8.7757x^2 + 11.078x - 0.0116 \text{ โดย } R^2 = 0.9959$$

การศึกษาเปอร์เซ็นต์การระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์

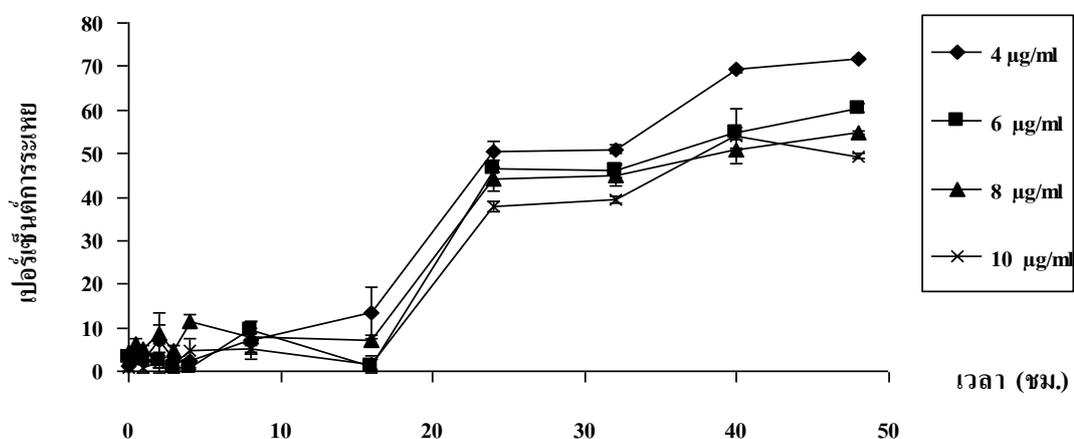
การศึกษาเปอร์เซ็นต์การระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์ในระดับความเข้มข้น 4, 6, 8 และ 10 $\mu\text{g/ml}$ ในระยะเวลาต่างๆ คือ 1, 30 นาที 1, 2, 3, 4, 8, 16, 24, 32, 40, 48 ชั่วโมง แล้ววัดค่าความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือจากช่วงเวลาดังกล่าวพบว่า ในช่วงเวลา 1 นาทีถึง 16 ชั่วโมง สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์มีเปอร์เซ็นต์การระเหยต่ำ ยกเว้นที่ความเข้มข้น 4 $\mu\text{g/ml}$ ที่มีค่าสูงแตกต่างจากในกลุ่ม โดยที่ระดับความเข้มข้น 4, 6, 8 และ 10 $\mu\text{g/ml}$ ที่เวลา 1 นาทีถึง 16 ชั่วโมงมีค่าเปอร์เซ็นต์การระเหยอยู่ในช่วง 1.37 ± 0.25 ถึง $13.28 \pm 5.88\%$, 1.32 ± 1.25 ถึง $3.01 \pm 0.32\%$, 4.30 ± 0.39 ถึง $6.91 \pm 1.29\%$ และ 0.67 ± 0.63 ถึง $1.58 \pm 1.87\%$ ตามลำดับ ส่วนในช่วงเวลา 24 – 48 ชั่วโมงเปอร์เซ็นต์การระเหยเริ่มมีค่าสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่เวลา 48 ชั่วโมง โดยเปอร์เซ็นต์การระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์ในช่วงเวลา 24 – 48 ชั่วโมงที่ระดับความเข้มข้น 4, 6, 8 และ 10 $\mu\text{g/ml}$ มีค่า 50.60 ± 2.16 ถึง $71.85 \pm 0.20\%$, 46.45 ± 0.63 ถึง $60.38 \pm 0.96\%$, 6.91 ± 1.29 ถึง $54.90 \pm 0.35\%$ และ 1.58 ± 1.87 ถึง $49.40 \pm 0.70\%$ ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้มาเขียน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาและเปอร์เซ็นต์การระเหยดังตารางที่ 11 และภาพที่ 17

การศึกษาเปอร์เซ็นต์การระเหยของสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 นาที ถึง 48 ชั่วโมงพบว่า เปอร์เซ็นต์การระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์ทุกความเข้มข้นมีค่าน้อยในช่วง 30 นาที – 16 ชั่วโมง และเปอร์เซ็นต์การระเหยจะมีค่ามากขึ้นหลัง 16 ชั่วโมงเป็นต้นไป โดยสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีค่าความเข้มข้นต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์การระเหยมากกว่าฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีค่าความเข้มข้นสูง ในการทดลองนี้จึงได้เลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์การดูดซับของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ 1 นาที - 4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบจากการระเหยน้อย

ตารางที่ 11 เปอร์เซ็นต์การระเหยของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

เวลา	การระเหย (%) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ระดับความเข้มข้นสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ ($\mu\text{g/ml}$)			
	4	6	8	10
1 นาที	1.37 \pm 0.25 ^c	3.01 \pm 0.32 ^c	4.30 \pm 0.39 ^f	0.67 \pm 0.63 ^c
30 นาที	2.96 \pm 1.50 ^c	3.11 \pm 0.19 ^c	6.32 \pm 1.27 ^c	3.80 \pm 0.33 ^d
1 ชม.	2.38 \pm 0.50 ^c	2.79 \pm 0.37 ^f	4.98 \pm 0.91 ^f	0.60 \pm 0.85 ^e
2 ชม.	7.07 \pm 6.21 ^d	2.25 \pm 1.30 ^f	8.49 \pm 2.14 ^e	1.86 \pm 2.36 ^e
3 ชม.	2.53 \pm 1.49 ^c	0.97 \pm 1.49 ^g	4.72 \pm 1.01 ^f	1.46 \pm 1.25 ^e
4 ชม.	2.38 \pm 0.50 ^c	0.68 \pm 0.22 ^g	11.39 \pm 1.49 ^d	4.86 \pm 2.68 ^d
8 ชม.	7.23 \pm 4.33 ^d	9.27 \pm 0.65 ^d	7.73 \pm 3.88 ^e	5.08 \pm 0.86 ^d
16 ชม.	13.28 \pm 5.88 ^c	1.32 \pm 1.25 ^g	6.91 \pm 1.29 ^e	1.58 \pm 1.87 ^e
24 ชม.	50.60 \pm 2.16 ^b	46.45 \pm 0.63 ^c	43.96 \pm 2.38 ^c	37.71 \pm 1.15 ^c
32 ชม.	50.98 \pm 0.86 ^b	46.09 \pm 1.70 ^c	44.89 \pm 2.22 ^c	39.42 \pm 0.76 ^c
40 ชม.	69.30 \pm 0.61 ^a	54.71 \pm 1.32 ^b	51.01 \pm 0.21 ^b	53.97 \pm 6.31 ^a
48 ชม.	71.85 \pm 0.20 ^a	60.38 \pm 0.96 ^a	54.90 \pm 0.35 ^a	49.40 \pm 0.70 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง (superscript) หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 17 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การระเหยของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้น 4 – 10 $\mu\text{g/ml}$ ในเวลา 48 ชั่วโมง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับ ฟอรั่มัลดีไฮด์ของไคโตซานปิดที่ความเข้มข้น และเวลาต่างๆ

การทดสอบประสิทธิภาพดูดซับกลิ่นฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ ระดับความเข้มข้น 4, 6, 8 และ 10 $\mu\text{g/ml}$ ความเข้มข้นละ 30 ml โดยใช้เม็ดปิดไคโตซาน 5 g ระยะเวลาดูดซับเท่ากับ 1, 30 นาที 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง แล้ววัดระดับความเข้มข้นของฟอรั่มัลดีไฮด์ที่เหลือหลังการดูดซับ แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับดังแสดงในตารางผนวกที่ ก6 – ก9 และภาพที่ 18 – 20

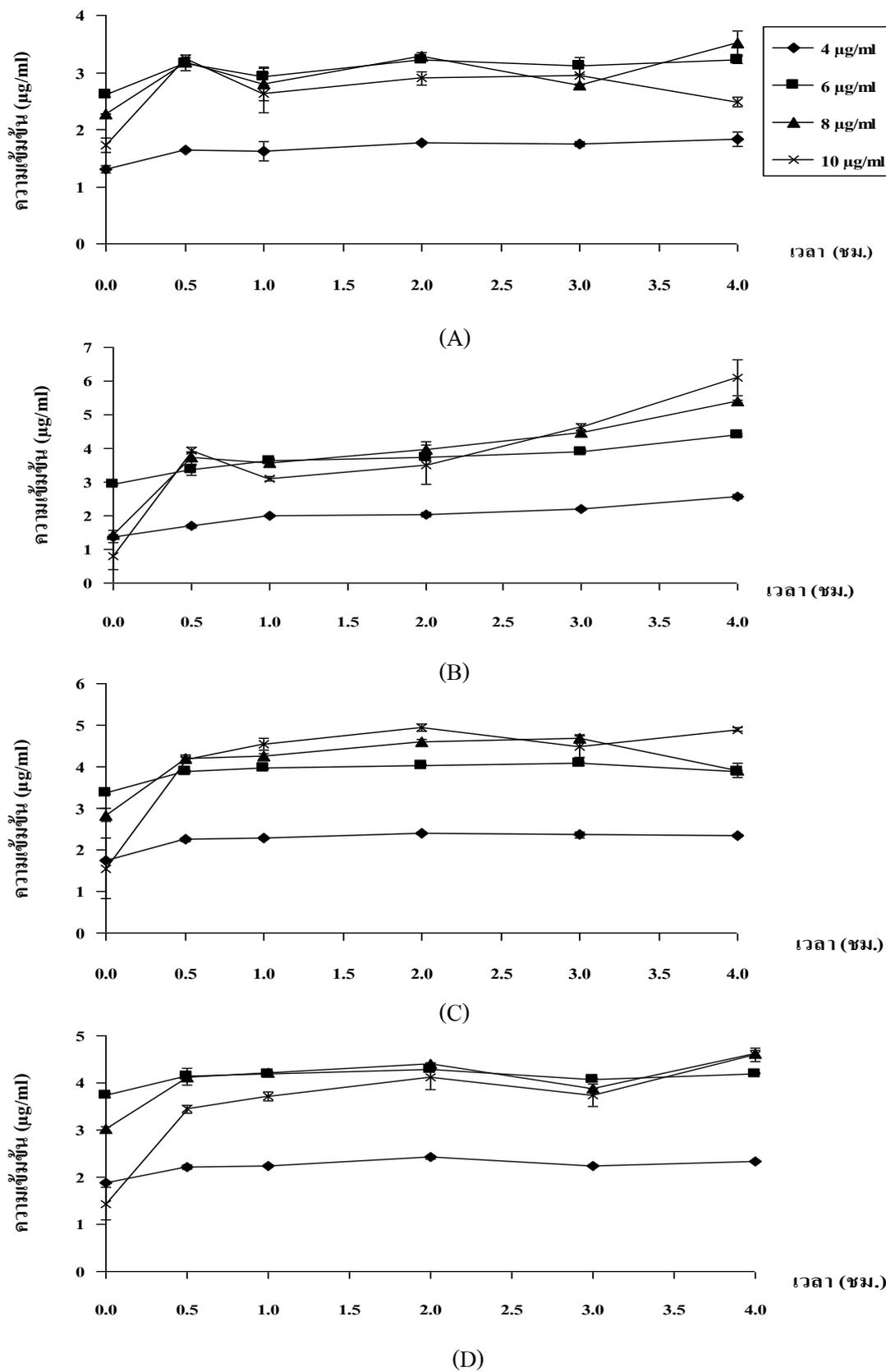
ความเข้มข้น ของฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ถูกดูดซับ ด้วยไคโตซานปิดกึ่งขาวที่ระดับความเข้มข้น 4 - 10 $\mu\text{g/ml}$ ในช่วงเวลา 1 นาที – 4 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 1.31 ± 0.06 ถึง 3.52 ± 0.21 $\mu\text{g/ml}$ โดยที่ ระดับความเข้มข้น 4, 8 $\mu\text{g/ml}$ มีค่าความเข้มข้น ที่ถูกดูดซับ มากที่สุดที่เวลา 4 ชั่วโมง คือ 1.83 ± 0.12 และ 3.52 ± 0.21 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 6, 10 $\mu\text{g/ml}$ มีค่าความเข้มข้นที่ถูกดูดซับมากที่สุดที่เวลา 2 ชั่วโมงและ 30 นาที คือ 3.23 ± 0.01 และ 3.23 ± 0.04 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ส่วนอัตราการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 4, 6, 8 และ 10 $\mu\text{g/ml}$ พบว่ามีค่าสูงสุดที่เวลา 30 นาที คือ 3.27 ± 0.03 , 6.30 ± 0.03 , 6.35 ± 0.27 และ 6.46 ± 0.09 $\mu\text{g/ml/hr}$ ตามลำดับ

ความเข้มข้น ของฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ถูกดูดซับ ด้วยไคโตซานปิดปูทะเลที่ระดับความเข้มข้น 4 - 10 $\mu\text{g/ml}$ ในช่วงเวลา 1 นาที – 4 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 0.81 ± 0.40 ถึง 6.11 ± 0.53 $\mu\text{g/ml}$ โดยที่ ระดับความเข้มข้น 4, 6, 8 และ 10 $\mu\text{g/ml}$ มีค่าความเข้มข้น ที่ถูกดูดซับมากที่สุดที่เวลา 4 ชั่วโมง คือ 2.56 ± 0.07 , 4.40 ± 0.03 , 5.39 ± 0.03 และ 6.11 ± 0.53 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ส่วนอัตราการดูดซับที่ ระดับความเข้มข้น 4, 6, 8 และ 10 $\mu\text{g/ml}$ พบว่ามีค่าสูงสุดที่เวลา 30 นาที คือ 3.38 ± 0.10 , 6.71 ± 0.27 , 7.44 ± 0.33 และ 7.88 ± 0.19 $\mu\text{g/ml/hr}$ ตามลำดับ

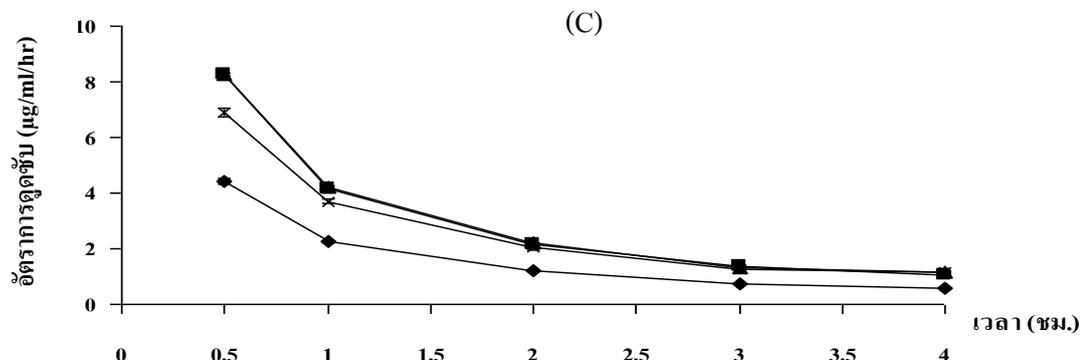
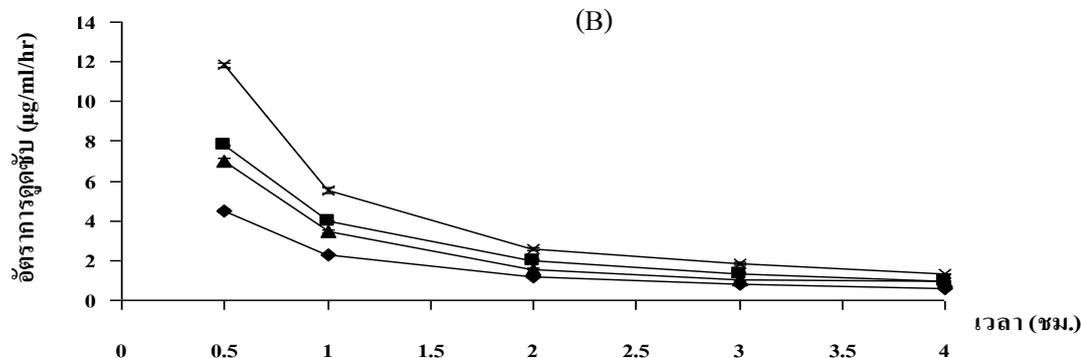
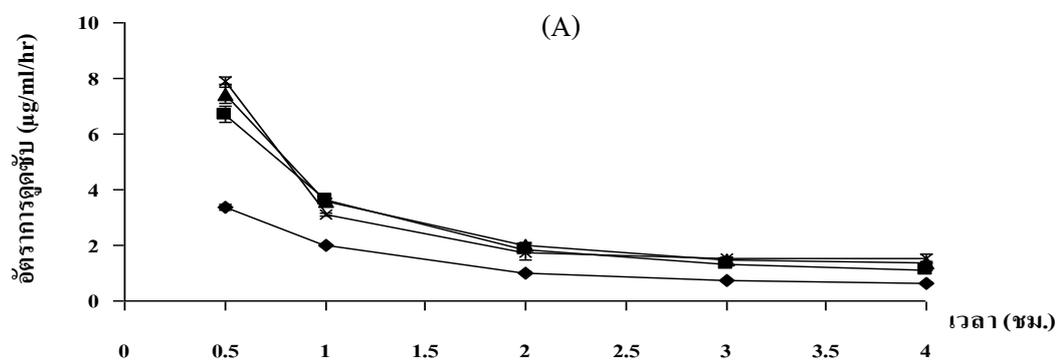
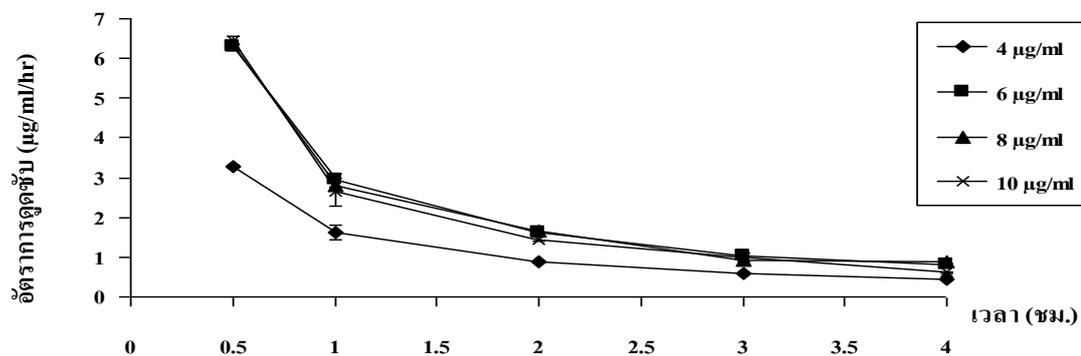
ความเข้มข้น ของฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ถูกดูดซับ ด้วยไคโตซานปิดหมึกกระดองที่ระดับความเข้มข้น 4 - 10 $\mu\text{g/ml}$ ในช่วงเวลา 1 นาที – 4 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 1.55 ± 0.72 ถึง 4.89 ± 0.04 $\mu\text{g/ml}$ โดยที่ระดับความเข้มข้น 4, 10 $\mu\text{g/ml}$ มีค่าความเข้มข้น ที่ถูกดูดซับมากที่สุดที่เวลา 2 ชั่วโมง คือ 2.40 ± 0.03 และ 4.95 ± 0.09 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 6, 8 $\mu\text{g/ml}$ มีค่าความเข้มข้นที่ถูกดูดซับมากที่สุดที่เวลา 3 ชั่วโมง คือ 4.07 ± 0.05 และ 4.69 ± 0.08 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ส่วน อัตราการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 4, 6, 8 และ 10 $\mu\text{g/ml}$ พบว่ามีค่าสูงสุดที่เวลา 30 นาที คือ 4.50 ± 0.08 , 7.78 ± 0.04 , 7.02 ± 0.16 และ 11.83 ± 0.13 $\mu\text{g/ml/hr}$ ตามลำดับ

ความเข้มข้น ของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ถูกดูดซับ ด้วยไคโตซานปิดแมงดาทะเลที่ระดับความเข้มข้น 4 - 10 $\mu\text{g/ml}$ ในช่วงเวลา 1 นาที - 4 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 1.44 ± 0.34 ถึง 4.63 ± 0.05 $\mu\text{g/ml}$ โดยที่ระดับความเข้มข้น 4, 8, 10 $\mu\text{g/ml}$ มีค่าความเข้มข้น ที่ถูกดูดซับมากที่สุดที่เวลา 4 ชั่วโมง คือ 2.34 ± 0.01 , 4.63 ± 0.05 และ 4.60 ± 0.14 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 6 $\mu\text{g/ml}$ มีค่าความเข้มข้นที่ถูกดูดซับมากที่สุดที่เวลา 2 ชั่วโมง คือ 4.28 ± 0.01 $\mu\text{g/ml}$ ส่วนอัตราการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 4, 6, 8 และ 10 $\mu\text{g/ml}$ พบว่ามีค่าสูงสุดที่เวลา 30 นาทีคือ 4.43 ± 0.09 , 8.27 ± 0.03 , 8.26 ± 0.37 และ 6.88 ± 0.15 $\mu\text{g/ml/hr}$ ตามลำดับ

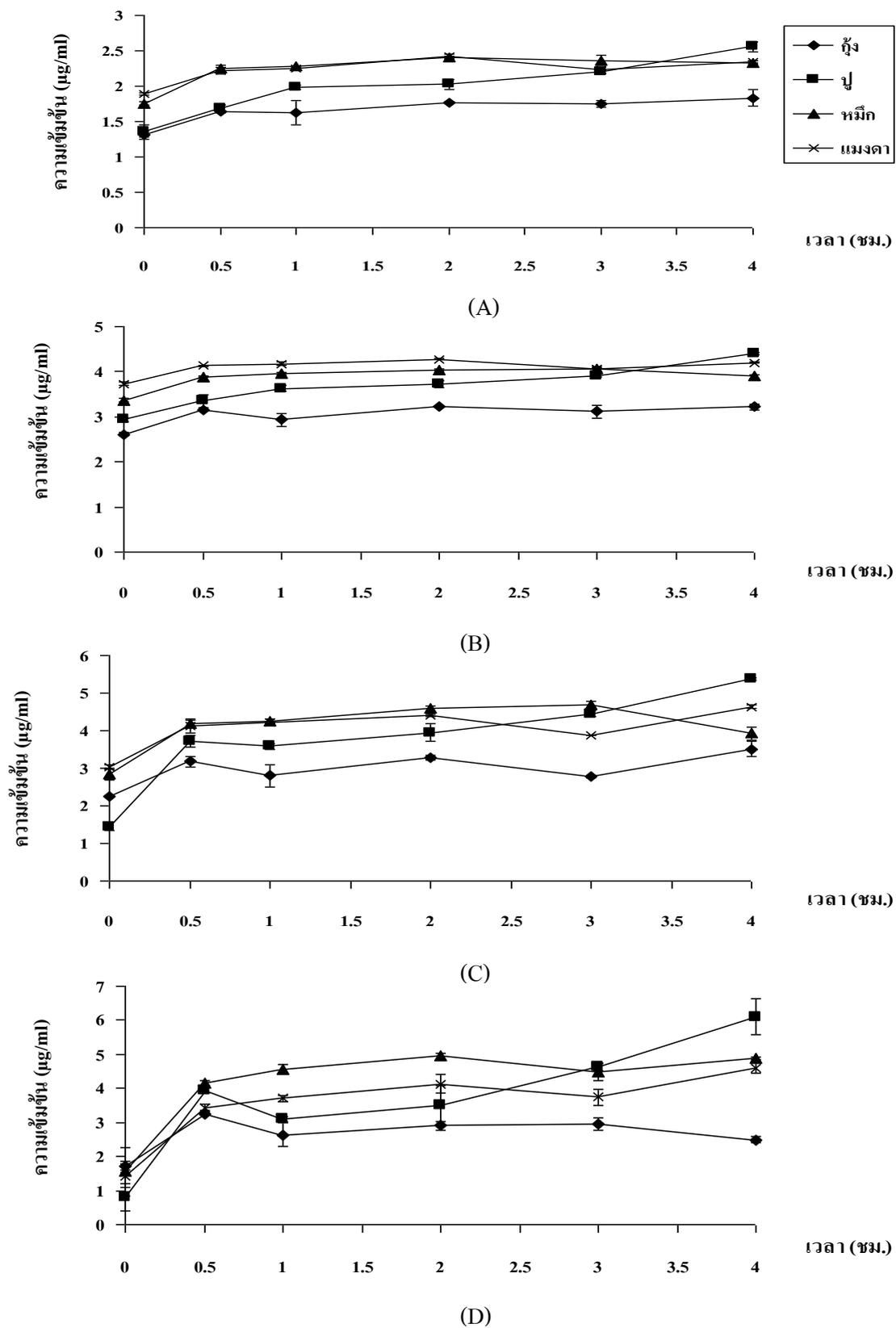
จากภาพที่ 18 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่น ฟอร์มัลดีไฮด์ของไคโตซานปิดทั้ง 4 ชนิดส่วนใหญ่มีค่าสูงขึ้นอย่างเด่นชัดที่เวลา 30 นาที หลังจากนั้นจึงมีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือมีค่าเกือบคงที่ เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับมี ค่าแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ (ภาพที่ 19) ที่พบว่ามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกชนิดไคโตซานปิด และทุกระดับความเข้มข้น ฟอร์มัลดีไฮด์ โดยอัตราการดูดซับมีค่าสูงสุดที่เวลา 30 นาที แสดงให้เห็นว่าการดูดซับกลิ่น ฟอร์มัลดีไฮด์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้น และเมื่อเวลาผ่านไปการดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อัตราการดูดซับที่เวลา 30 นาที มีค่าอยู่ในช่วง $3.27 - 11.83$ $\mu\text{g/ml/hr}$ ในขณะที่เวลา 4 ชั่วโมง อัตราการดูดซับมีค่าอยู่ในช่วง $0.46 - 1.53$ $\mu\text{g/ml/hr}$ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างเห็น ได้ชัด จากการทดลองนี้ จึงได้พิจารณา ลือกเวลาที่ 30 นาทีเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการศึกษาในขั้นตอนต่อไป ซึ่ง สอดคล้องกับณัญญา และคณะ (2544) ที่ได้นำไคโตซานปิดไปบำบัดน้ำเสียจากฟิล์มเอกซเรย์ พบว่าไคโตซานปิดมีความสามารถในการดูดซับได้อย่างรวดเร็วในช่วงต้นคือ 60 นาทีแรก (92.2%) และเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไปโดยที่เวลา 180 นาทีการดูดซับมีค่า 92.25% ซึ่งมีค่าแทบไม่แตกต่างกัน และจากการดูดซับสีย้อมประเภทละลายน้ำได้บนไคโตซานของรัตนาและจินตนา (2544) พบว่าการดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้น หลังจากนั้นจึงเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการดูดซับ จนถึงค่าหนึ่ง



ภาพที่ 18 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ถูกดูดซับด้วยไคโตซานปิดกึ่งขาว (A), ไคโตซานปิดปูทะเล (B), ไคโตซานปิดหมึกกระดอง (C) และไคโตซานปิดแมงดาทะเล (D)



ภาพที่ 19 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซับฟอร์มิกดีไฮด์ของไคโตซานบีดกึ่งขาว (A), ไคโตซานบีดปุทะเล (B), ไคโตซานบีดหมึกกระดอง (C) และ ไคโตซานบีดแมงดาทะเล (D)



ภาพที่ 20 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ถูกดูดซับด้วยไคโตซานบีดแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 4 µg/ml (A), 6 µg/ml (B), 8 µg/ml (C) และ 10 µg/ml (D)

เมื่อเปรียบเทียบไคโตซานบีดทั้ง 4 ชนิดในทุกระดับความเข้มข้นของ ฟอรั่มัลดีไฮด์ (ภาพที่ 18) ที่เวลา 30 นาทีพบว่า ความเข้มข้น $8 \mu\text{g/ml}$ ให้ค่าการดูดซับค่อนข้างสูง ประกอบกับเป็นระดับความเข้มข้นที่มีค่าต่ำจึงมีความปลอดภัยต่อผู้ท ดลองมากกว่าการใช้ความเข้มข้นสูง จึงพิจารณาเลือกใช้สารละลายฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้น $8 \mu\text{g/ml}$ ในการทดลองต่อไป

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับด้วยไคโตซานบีดชนิดต่างๆ (ภาพที่ 20) พบว่าไคโตซานบีด ปูทะเล มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าไคโตซานบีดชนิดอื่นๆ ส่วนไคโตซานบีด กุ้งขาวมีค่าการดูดซับต่ำสุดในทุกระดับความเข้มข้น โดยสุธา (2544) ได้นำไคโตซานบีดมาทดสอบกำจัดสารหนูในน้ำเสียสังเคราะห์ และศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าการดูดซับเกิดที่ผิวภายนอก และภายในรูพรุนของไคโตซานบีด โดยไคโตซานที่ผ่านการดูดซับจะมีพื้นที่ผิวลดลง

การศึกษา pH ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของไคโตซานบีดชนิดต่างๆ

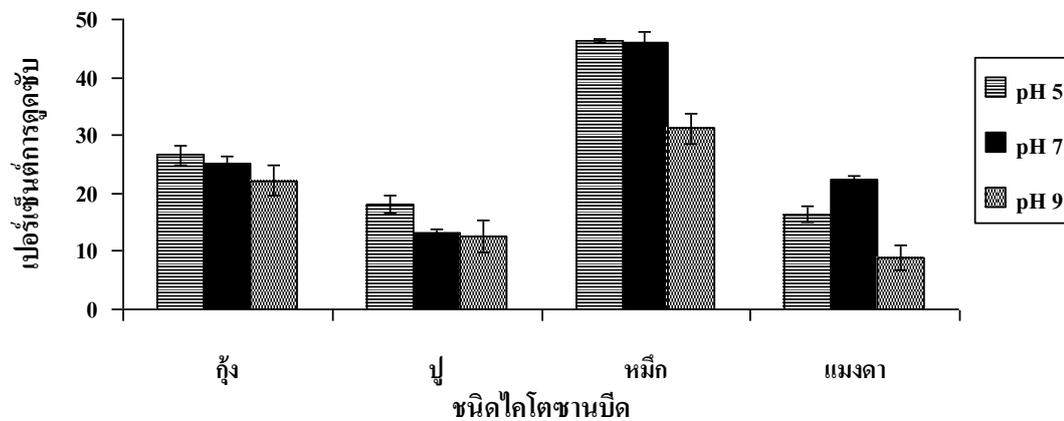
การทดสอบดูดซับกลืนฟอรั่มัลดีไฮด์ในสารละลายฟอรั่มัลดีไฮด์ความเข้มข้น $8 \mu\text{g/ml}$ ที่ pH 5, 7, 9 ปริมาตร 30 ml โดยใช้เม็ดบีดไคโตซาน 5 g เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจึงวัดความเข้มข้นของฟอรั่มัลดีไฮด์ที่เหลือหลังการดูดซับ พบว่า ไคโตซานบีดส่วนใหญ่มีค่าการดูดซับสูงสุดที่ pH 5 รองลงมาคือ pH 7 และ pH 9 ตามลำดับ ยกเว้นไคโตซานบีดแมงดาทะเลที่มี ค่าการดูดซับสูงสุด ที่ pH 7 โดยที่ pH 5, 7 และ 9 การดูดซับ มีค่าอยู่ในช่วง 16.39 ± 1.38 ถึง $46.27 \pm 0.30\%$, 13.08 ± 0.84 ถึง $45.92 \pm 1.89\%$ และ 8.81 ± 2.19 ถึง $31.15 \pm 2.72\%$ ตามลำดับ ไคโตซานบีด หมึกกระดอง มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด คือ $46.27 \pm 0.30\%$ รองลงมาคือไคโตซานบีด กุ้งขาว ($26.56 \pm 1.57\%$), ไคโตซานบีดแมงดาทะเล ($22.44 \pm 0.58\%$) และไคโตซานบีดปูทะเล ($18.04 \pm 1.53\%$) ตามลำดับ ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของไคโตซานบีดที่ pH 5 - 9

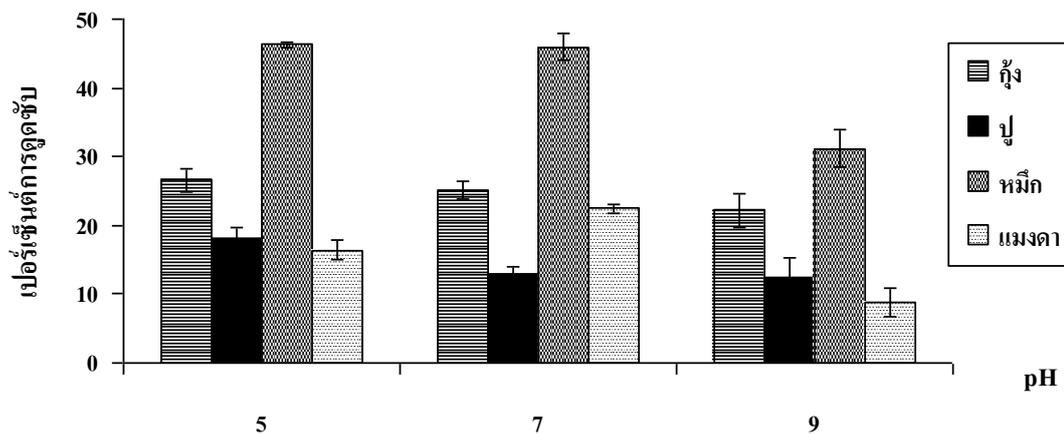
pH	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ไคโตซานบีด กุ้งขาว	ไคโตซานบีด ปูทะเล	ไคโตซานบีด หมีกระดอง	ไคโตซานบีด แมงดาทะเล
5	26.56±1.57 ^c	18.04±1.53 ^c	46.27±0.30 ^a	16.39±1.38 ^c
7	25.24±1.29 ^c	13.08±0.84 ^f	45.92±1.89 ^a	22.44±0.58 ^d
9	22.18±2.52 ^d	12.55±2.84 ^f	31.15±2.72 ^b	8.81±2.19 ^e

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากผลการทดลองจึงเลือกใช้ pH 5 สำหรับ ไคโตซานบีดกุ้งขาว, ไคโตซานบีดปูทะเล และ ไคโตซานบีดหมีกระดอง และ pH 7 สำหรับ ไคโตซานบีดแมงดาทะเล เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป โดยกานดา และคณะ (2540) ได้ศึกษาหาค่า pH ที่มีความเหมาะสมต่อการดูดซับสีข้อมผ้าของไคโตซานบีดพบว่า pH 3 ให้การค่าการดูดซับสูงสุดรองลงมาคือ pH 5, 7, 9 และ 11 ตามลำดับ โดยปริมาณสีที่หายไปมีค่าเท่ากับ 23, 20, 18, 14 และ 9.2 ppm ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อสารละลายมีสถานะเป็นกรดส่งผลทำให้ความสามารถในการดูดซับสีข้อมผ้าของไคโตซานบีดมีค่าสูงขึ้น ซึ่งรามนรี (2543) ได้อธิบายว่า สภาพของสารละลายที่เป็นกรด ช่วยเพิ่มประจุให้หมู่เอมีนอิสระ (NH_2) ของไคโตซานให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปเอมีนที่มีประจุบวก (NH_3^+) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแยกประจุลบที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายให้ตกตะกอนลงมา



(A)



(B)

ภาพที่ 21 ค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพการดูดซับ ฟอรั่มัลดีไฮด์ เมื่อใช้ชนิดไคโตซานบีด (A) และระดับ pH ที่แตกต่างกัน (B)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์เมื่อใช้ไคโตซานบีดปริมาณต่างๆ

การนำเม็ดไคโตซานบีดกึ่งขาว, ปูทะเล และหมึกกระดอง ปริมาณ 5, 10, 15 g มาทดสอบดูดซับกลิ่นฟอรั่มัลดีไฮด์ ที่ระดับความเข้มข้น ความเข้มข้น 8 $\mu\text{g/ml}$ ที่ pH 5 ส่วนเม็ดบีดไคโตซานแมงดาทะเลนำมาดูดซับสารละลายฟอรั่มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 8 $\mu\text{g/ml}$ เช่นกันที่ pH 7 นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาทีเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจึงวัดความเข้มข้นของฟอรั่มัลดีไฮด์ที่เหลือหลังการดูดซับพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับ แปรผันโดยตรงกับปริมาณไคโตซานบีด โดย

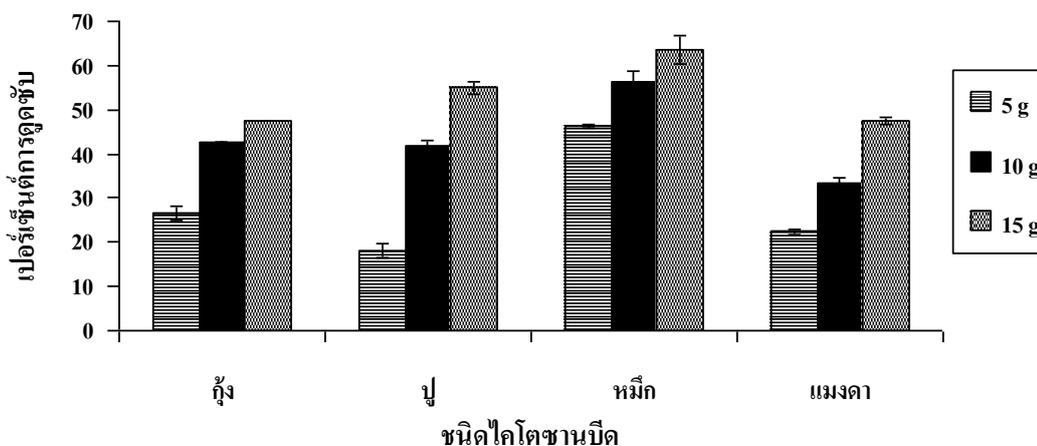
หากเพิ่มปริมาณไคโตซานปิดการดูดซับย่อมมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน (ตารางที่ 13 และภาพที่ 22) ไคโตซานปิดหนัก 5, 10, 15 g มีค่าการดูดซับอยู่ในช่วง 18.04 ± 1.53 ถึง $46.27 \pm 0.30\%$, 33.54 ± 1.16 ถึง $56.47 \pm 2.23\%$ และ 47.31 ± 0.00 ถึง $63.73 \pm 3.25\%$ ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการดูดซับของไคโตซานปิดที่หนัก 15 g มีค่ามากสุดในไคโตซานปิดหมึกกระดอง ($63.73 \pm 3.25\%$) รองลงมาคือไคโตซานปิดปูทะเล ($54.98 \pm 1.30\%$), ไคโตซานปิดแมงดาทะเล ($47.35 \pm 0.81\%$) และไคโตซานปิดกุ้งขาว ($47.31 \pm 0.00\%$) ตามลำดับ จากการศึกษาของธีระพล (2534) พบว่าการดูดซับมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารดูดซับ โดยอัตราส่วนไคโตซานต่อสี ย้อมผ้า 4:6 มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุด รองลงมาคือ 3:6, 2:6 และ 1:6 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณสีที่หายไปมีค่าเท่ากับ 29.73, 28.27, 23.10 และ 13.3 ppm ตามลำดับ นอกจากนี้ กานดา และคณะ (2540) ยังกล่าวว่าการเพิ่มสารดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส และปริมาณหมู่เอมีนอิสระ (NH_2) ของไคโตซานทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากขึ้น

ตารางที่ 13 ประสิทธิภาพการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ไคโตซานปิดปริมาณต่างๆ

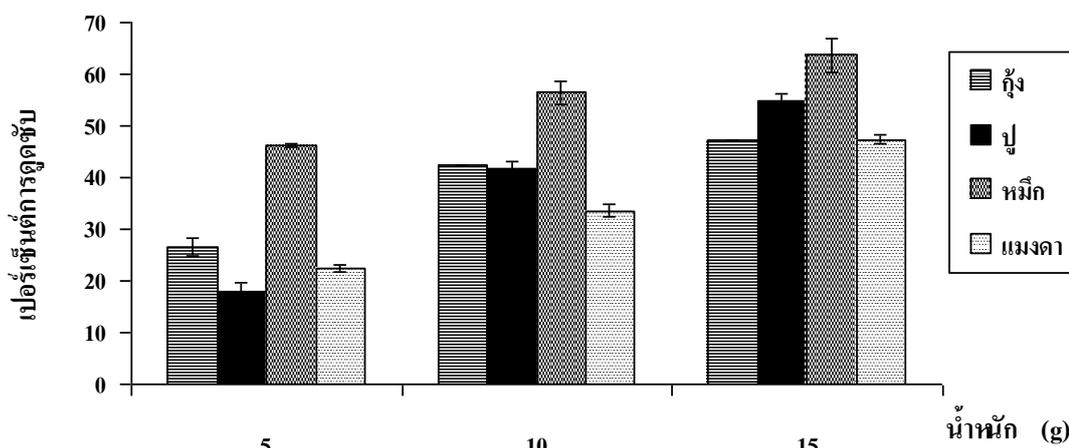
น้ำหนักปิด (g)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ($\bar{x} \pm \text{SD}$)			
	ไคโตซานปิด กุ้งขาว	ไคโตซานปิด ปูทะเล	ไคโตซานปิด หมึกกระดอง	ไคโตซานปิด แมงดาทะเล
5	26.56 ± 1.57^f	18.04 ± 1.53^h	46.27 ± 0.30^c	22.44 ± 0.58^g
10	42.55 ± 0.00^d	41.75 ± 1.40^d	56.47 ± 2.23^b	33.54 ± 1.16^c
15	47.31 ± 0.00^c	54.98 ± 1.30^c	63.73 ± 3.25^a	47.35 ± 0.81^c

- หมายเหตุ 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
2. ไคโตซานปิดชนิดกุ้งขาว, ปูทะเลและ หมึกกระดองทดสอบที่ pH 5 ส่วนไคโตซานปิดแมงดาทะเลทดสอบที่ pH 7

ภาพที่ 20 แสดงให้เห็นว่าไคโตซานปิดทุกชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุดเมื่อใช้ปริมาณไคโตซานปิดมากที่สุดคือ 15 g รองลงมาที่ 10, 5 g ตามลำดับ โดยไคโตซานปิดหมึกกระดองมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุดในทุกปริมาณน้ำหนักไคโตซานปิด



(A)



(B)

ภาพที่ 22 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ที่ชนิดไลโตซานบีด (A) และปริมาณต่างๆ (B)

หมายเหตุ ไลโตซานบีดชนิดกุ่มขาว, ปูทะเลและ หมึกกระดองทดสอบที่ pH 5 ส่วนไลโตซานบีดแมงดาทะเลทดสอบที่ pH 7

จากการทดสอบ ประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นไอระเหยของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไลโตซานบีดจากเปลือกสัตว์ทะเลทั้ง 4 ชนิดพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณไลโตซานให้มากขึ้นเป็น 15 g การดูดซับมีค่าสูงสุดในไลโตซานบีดหมึกกระดอง ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจาก

รูปแบบรูพรุนในไคโตซานปิดหุ้มกระดองที่มีขนาดใหญ่ใกล้เคียงกัน และจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากกว่ารูพรุนในไคโตซานปิดชนิดอื่นๆ ซึ่งการมีรูพรุนขนาดใหญ่ กระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลของตัวถู กดูดซับที่มีขนาดต่างๆ กันได้ดี เพราะการดูดซับจะเกิดขึ้นได้เมื่อนานโมเลกุลของตัวถูถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนตัวดูดซับ (พัชรี, 2543) ในขณะที่ไคโตซานปิดกึ่งขาวประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็ก และ ขนาดใหญ่ หากโมเลกุลตัวถูถูกดูดซับ มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุน การดูดซับ จึงไม่สามารถ เกิดขึ้น ได้ ค่าการดูดซับจึงลดต่ำลง ประกอบกับไคโตซานปิดหุ้มกระดองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก ที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานปิดจึงเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับด้วย (ชฎาภา, 2547) นอกจากนี้ไคตินจากแกนหุ้มยังมีรูปแบบในการจัดเรียงตัวของสายโซ่ใน โมเลกุลเป็นแบบ β -chitin ซึ่งมีความเป็นเสถียรภาพทางเคมีน้อยกว่า α -chitin ที่พบในเปลือกกุ้ง ปู และแมงดาทะเล เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่า และพันธะระหว่างสายโซ่ โมเลกุลมีความแข็งแรงน้อย (รามนรี, 2543) ดังนั้น β -chitin จึงมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา มากกว่า α -chitin โดยไคโตซานประกอบด้วย 3 หมู่ฟังก์ชันที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา คือ หมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) หมู่ไฮดรอกซิล 2 ประเภทคือ Primary Alcohol ($-\text{CH}_2\text{OH}$) และ Secondary Alcohol ($-\text{CHOH}$) (ภาวดี และ คณะ, 2543) ซึ่งหมู่อะมิโนในไคโตซานมีสมบัติเป็นด่างอ่อน มีอิเล็กตรอนคู่ว่างอยู่ในรูปไม่มีประจุ ($-\text{NH}_2$) ทำให้สามารถสร้างพันธะกับไอออนที่มีประจุบวกได้ แต่หากไคโตซานอยู่ในรูปมีประจุ ($-\text{NH}_3^+$) ก็สามารถดูดซับไอออนที่มีประจุลบได้เช่นกัน (รามนรี, 2543) ไคโตซานจึงสามารถทำปฏิกิริยาได้ทั้งในสารละลายที่เป็นกรด และเบส

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. สมบัติของไคติน-ไคโตซานจากเปลือกกุ้งทะเล

ผลผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว ปูทะเล แคนหมึกกระดอง และแมงดาทะเล มีค่าอยู่ในช่วง 3.81 – 32.00% และ 61.23 – 73.63% ตามลำดับ โดยเปลือกกุ้งขาว และเปลือกแมงดาทะเลสามารถนำมาผลิตเป็นไคติน และไคโตซานได้สูงกว่าเปลือกปู ทะเล และแคนหมึก กระดอง เนื่องจาก เปลือก ปูทะเล และ แคน หมึกกระดอง มีปริมาณเถ้าและแคลเซียมสะสมอยู่ในเปลือกมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวมีค่าความหนืดค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกสัตว์ทะเลชนิดอื่น ทั้งนี้ปัจจัยต่างๆ เช่น ระดับ pH, ค่าเปอร์เซ็นต์การละลาย และระดับการกำจัดหมู่อะซิติลล้วนมีค่าแตกต่างกัน เมื่อนำไคโตซานทั้ง 4 ชนิดมาตรวจสอบหาปริมาณรูพรุนพื้นที่ผิว และเส้นผ่า ศูนย์กลางรูพรุนพบว่า มีค่าค่อนข้างต่ำ โดยเส้นผ่าศูนย์กลางรูพรุน มีค่าอยู่ในช่วง 26.77 - 116.02 Å⁰

2. ไคโตซานบีด

การเตรียมไคโตซานบีดจากสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 4 % ใน 2 % acetic acid และหยดลงในสารละลายผสมระหว่าง KOH : EtOH อัตราส่วน 1 : 1 พบว่าไคโตซานบีดที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นเม็ดค่อนข้างกลมสีขาวนวลถึงสีเนื้ออ่อน มีความแข็งแรงไม่แตกหัก เมื่อเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที ไคโตซานบีดกุ้งขาวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุด รองลงมาคือ ไคโตซานบีดแมงดาทะเล ปูทะเล และแคนหมึกกระดอง ตามลำดับ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.52 - 4.23 mm ไคโตซานบีดที่ผลิตได้มีขนาดของรูพรุนประมาณ 5,000 - 30,000 μm ซึ่งเมื่อส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า รูพรุนในไคโตซานบีดมีขนาดใหญ่กว่าไคโตซานดั้งเดิมที่ใช้ในการผลิต

3. การดูดซับกลีโคเจนและฟอรัมาลิน

จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการใช้ไคโตซานบีดเป็นสารดูดซับกลีโคเจนแอมโมเนียซึ่งอยู่ในรูปสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ คือ ไคโตซานบีดน้ำหนัก 15 g ดูดซับสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 18 mg/l ที่ pH 9 เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที

เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งอัตราการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้น และค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ไคโตซานบีดจากแกนหมึกกระดอง มีค่าการดูดซับสูงสุด (59.12%) ถัดมาเป็น ไคโตซานบีดจากเปลือกแมงดาทะเล เปลือกปูทะเล และเปลือกกุ้งขาว ตามลำดับ

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับฟอรัมาลิน คือ ไคโตซานบีด น้ำหนัก 15 g ดูดซับสารละลายฟอรัมาลินไฮโดรคลอไรด์ความเข้มข้น 8 $\mu\text{g/ml}$ ที่ pH 5 สำหรับไคโตซานบีดจากเปลือกกุ้งขาว ปูทะเล และแกนหมึกกระดอง และที่ pH 7 สำหรับไคโตซานบีดแมงดาทะเล โดยการเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/นาทิจ เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งไคโตซานบีดแกนหมึกกระดอง มีค่าการดูดซับสูงสุด (63.73%) ถัดมาเป็น ไคโตซานบีดจากเปลือกปูทะเล เปลือกแมงดาทะเล และเปลือกกุ้งขาว ตามลำดับ

ผลการศึกษารูปได้ว่า ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ pH เวลาสัมผัส ปริมาณสารดูดซับ ขนาดรูพรุน และชนิดไคโตซานล้วนมีผลต่อความสามารถในการดูดซับของไคโตซานบีด

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการคายซับ เพื่อฟื้นฟูคุณภาพ และนำไคโตซานบีดกลับมาใช้ใหม่
2. ควรทำการศึกษาเพิ่มประสิทธิภาพของไคโตซานบีด โดยการเติมสารเคมีชนิดอื่นๆ เพื่อเพิ่มรูพรุน และความแข็งแรงให้กับเม็ดบีด
3. ควรทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการดูดซับของไคโตซานบีด ทั้งชนิดแบบแห้ง และแบบเปียก รวมทั้งเปรียบเทียบระยะเวลาในการเก็บรักษากับประสิทธิภาพการดูดซับ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กานดา ใจดี, ชัยวัฒน์ สุภูมิตรกฤษณา และ พัชรี ศรีเมือง. 2540. การใช้ไคโตซานและผงถ่าน
กัมมันต์ดูดซับสีย้อมผ้า. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง.
- กิตติมา ฉัตรวงศ์วาน, นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, พรพรรณ พรศิลปะทิพย์, ภควดี สุทธิไวยกิจ, มุกดา
จิรภูมิมนตรี, สายใจ ชาญเศรษฐิกุล และ อัจฉนา วงศ์ชัยสุรัตน์. 2541. เคมวีเคราะห์เชิง
ปริมาณ. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เกศสุดา เหลืองธีรภาพ. 2545. การเตรียมและสมบัติไคโตซานชนิดเม็ดจากเปลือกกุ้งกุลาดำ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกษม สีดอกบวบ. 2543. การกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียโดยไคโตซาน. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จารุวัฒน์ นกิตะภัก. 2536. ชีวิตประวัติและพฤติกรรมของปลาหมึกจากการเพาะเลี้ยง. กรมประมง,
ระยอง.
- จิราพร สุริยวารกุล. 2546. ความสัมพันธ์ของอายุหมึกกระดองลายเสือ *Sepia pharaonis*
Ehrenberg, 1831 กับจำนวนลายบนกระดอง และสัดส่วนของจะงอยปาก. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิราภรณ์ เชาวลิขิตสุขุมมาวาสี. 2544. ใคตินไคโตซาน สารมหัศจรรย์จากธรรมชาติ. **LABTODAY**
1(2): 12-20.
- จุฬ ลินชัยพานิช. 2528. แมงดาทะเล. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- เจตจินดา โชติยะปุตตะ. 2538. ชีวิตวิทยาของปลาหมึก, น. 27-33. ในจารุวัฒน์ นกิตะภัก,
บรรณาธิการ. **ชีวิตวิทยาและการเพาะเลี้ยงปลาหมึก**. กรมประมง, กรุงเทพฯ.

- ชฎาภา ชยามนนท์. 2547. การผลิตและศึกษาสารดูดซับจากโซลเจลสำหรับการดูดซับสารระเหยอินทรีย์ (VOCs). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จิตา ฟูเฝ้า. 2545. สารระงับกลิ่นจากเห็ดฟาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิติมา มณีกุล. 2545. ศึกษาการเตรียมปิดโคโทซานเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับ. โครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัชพงศ์ ฐัฏระกุล. 2542. อิทธิพลของความเป็นกรดต่าง และความเค็มที่มีต่อการวัดปริมาณแอมโมเนียในน้ำโดยวิธีเนสเลอไรเซชัน และโซเดียมไนโตรปริสต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณัฐยา จินดาพรม, ชนะภัทร พูนวุฒิกุล และ บังอร ลือภักดีสกุล. 2544. การบำบัดน้ำเสียจากฟิล์มเอ็กซ์เรย์โดยเม็ดปิดโคโทซาน. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ณิชากัทร เซ็นโซ และ อัจฉริยา นุตะมาน. 2548. การกำจัดกลิ่น formaldehyde. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ธนัญญา ทรรพนันท์ และ วิทยา หะวานนท์. 2547. การศึกษาแหล่งและฤดูสืบพันธุ์วางไข่เพื่อการจัดการทรัพยากรปูทะเล *Scylla olivacea* ในบริเวณคลองหวาง จ. ระนอง. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- ธีระพล ประมวลกิจจา. 2534. อุตสาหกรรมผลิตไคดินและโคโทซานจากเปลือกกุ้ง. อุตสาหกรรมสาร 34(7-12): 3-7.
- นวหทัย บุญवास, สุวิทย์ มังคละคารา และ เอมอร ตรีวิเศษสร. 2543. การดูดซับสาร VOC ด้วยถ่านกัมมันต์. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นันทยา เทียบแหลม. 2548. สหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติการใช้งานของโคโทซานที่เตรียมภายใต้ภาวะการกำจัดหมู่อะซีทิลต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยบูรพา.

- นิรันดร์ สัพพวิญญู. 2545. การกำจัดความกระด้างด้วยไคโตซานพอร์สปีด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เบญจวรรณ คำหนองคู และ ปกัศรา โสภณากิจโกศล. 2540. การเตรียมไคโตซานพอร์สปีด. คณะเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ปทุมพร แม่พงษ์, วิทยา บุตรทองมูล และ ปรัชญา มหายศนันท์. 2547. การดูดซับก๊าซแอมโมเนียโดยใช้แก๊สแอฟรอน. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ประภัสสร สุรวฒนาวรรณ. 2549. ไคติน-ไคโตซาน. องค์การเภสัชกรรม. แหล่งที่มา: <http://www.gpo.or.th/rdi/htmls/chitin.html>, 11 พฤษภาคม 2549.
- ปราณี วัฒนาวรรสกุล. 2541. การเปรียบเทียบปริมาณไคตินและไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกปูชนิดต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. 2545. การขึ้นรูปเม็ดปิดไคโตซานและทดสอบการดูดซับสารละลายเหล็ก. เทคโนโลยีชนบุรี 1(1): 51-56.
- _____. 2546. การศึกษาคุณสมบัติของไคโตซานพอร์สปีด. เทคโนโลยีชนบุรี 2(3): 25-34.
- _____. 2547. ยุทธศาสตร์ไคติน-ไคโตซานเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจของไทย. เทคโนโลยีชนบุรี 3(1): 18-21.
- _____. และ นิรันดร์ สัพพวิญญู. 2546. การศึกษาคุณสมบัติของไคโตซานพอร์สปีด. เทคโนโลยีชนบุรี 2(3): 25-34.
- _____, รกีส เพ็ชรนิยม และ นิรันดร์ สัพพวิญญู. 2547. การกำจัดทองแดงด้วยไคโตซานพอร์สปีด, น. 242. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30. กรุงเทพฯ.
- ป๊วย อุ๋นใจ. ไคติน-ไคโตซานสารมหัศจรรย์จากธรรมชาติ. 2548. Update. แหล่งที่มา: <http://update.se-ed.com/162/chitin.htm>, 11 พฤศจิกายน 2548.

- พรรณนิภา พรหมเพ็ชร. 2547. การศึกษาการเลี้ยงกุ้งขาวแฉะฟิวก (*Litopenaeus vannamei*) แบบพัฒนาด้วยน้ำความเค็มต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พัชรวิระ พจนานันท์. 2543. ผลของความชื้นต่อการดูดซับไอระเหยสารอินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พัฒน์นันทน์ วงศ์วิวัฒน์. 2545. การสกัดไคติน ไคโตซานจากเปลือกหอย. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิบูลย์ เกิดโภคทรัพย์. 2549. วิธีการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ BET Surface Area Analyzer รุ่น ASAP 2000 ของ MICROMERTICS. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ภาวดี เมธะคานนท์, อศิรา เฟื่องฟูชาติ และ ก้องเกียรติ คงสุวรรณ. 2543. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไคติน-ไคโตซาน. เอ็มเทค เทคโนโลยีวิสต์ดู (19): 69-75.
- มณฑิชา ภัทรากานุกส์กดิ์, ยุทธศักดิ์ ทองใหญ่ และ ลลนา วิวิธสุรการ. 2543. การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยการดูดซับด้วยไคโตซาน. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- มณีวรรณ เกตะวันดี. 2550. การกำจัดแอมโมเนียในโตรเจนจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมฟองหนังด้วยเมมเบรนซีโอไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2540. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- _____. และ มันรัก ตันฑุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- เขาวภา ไหวพริบ. 2534. การผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รัตนารุจิรวนิช. 2544. การผลิตไคตินไคโตซาน, น. 1-10, ใน การประชุมเชิงปฏิบัติการไคตินและไคโตซานจากวัตถุดิบธรรมชาติสู่การประยุกต์ใช้. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

_____. และ จินตนา ชำนาญนุธรรม. 2544. โครงการวิจัยการดูดซับสีย้อมประเภทละลายน้ำได้บนไคตินและไคโตซาน. จุฬารวิจัย 20(2): 18-21.

รัตมณี หาญวณิชศักดิ์. 2540. การออกแบบเบื้องต้นสำหรับกระบวนการผลิตไคตินและสารปรุงแต่งกลิ่นรสกึ่งจากเศษกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รามนรี เนตรวิเชียร. 2543. การกำจัดสารหนูในรูปอาร์ซีเนตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไคโตซานแบบเม็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รุจิพร ประทีปแสน. 2538. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 5(1): 49-55.

วีระ รัตนศิริ โสภณ. 2546. การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผลิตเคลือบด้วยไคโตซานในการกำจัดสีและกลิ่นในน้ำธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศรันย์ธร เกียรติศักดิ์นิกร และ สุณิศา อิศระ. 2547. การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับก๊าซแอมโมเนียของวัสดุธรรมชาติและสารสกัดจากพืชบางชนิด. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศูนย์วัสดุชีวภาพไคตินไคโตซาน. 2548. การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซาน.

MMRI Chulalongkorn University. แหล่งที่มา : <http://www.material.chula.ac.th/chitosan/CCB.htm>, 11 พฤศจิกายน 2548.

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ. 2548. การศึกษาการเตรียมพอร์สไคโตซานปิดโดยใช้ซิลิกาเป็นสารเพิ่มความพรุนตัว. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักควบคุมวัตถุอันตราย. 2549. แอมโมเนียและสารเคมี. กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. แหล่งที่มา: <http://www2.diw.go.th/chemicalhealth/index.asp>, 11 พฤษภาคม 2549.

- สร้อย คณัณพร. 2545. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเกล็ดในการกำจัดโครเมียมที่ละลายในน้ำเสียสังเคราะห์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- สุชาดา ยางเอน. 2546. การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากตู้ปลาโดยการกรองด้วยหินภูเขาไฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุชาดา อัมรินทร์. 2545. การดูดซับเมอร์คิวริกคลอไรด์และฟีนิลเมอร์คิวริกอะซิเตตจากสารละลายน้ำโดยใช้ไคโตซานชนิดเม็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุธา ขาวเชิธร, เจดศักดิ์ ไชยคุณา และ รามนรี เนตรวิเชิธร. 2544. การกำจัดสารหนูในรูปอาร์ซีเนตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไคโตซานแบบเม็ด. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 23 (1): 1-11.
- สุวบุญ จิระกาญจน์, รังรอง ยกสำน และ โกสุม สมักรรัตน์. 2544. สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคตินไคโตซาน, น. 15-17, 40 ใน เอกสารประกอบการบรรยายการประชุมเชิงปฏิบัติการไคตินและไคโตซานจากวัตถุดิบธรรมชาติสู่การประยุกต์ใช้. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- อดุลย์ ศรีพิลา. 2543. การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการดูดซับฟลูออไรด์บนถ่านกัมมันต์และถ่านกระดูก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อนุวัฒน์ รัตนโชติ, นายทวิศักดิ์ ช่างนิชเศรษฐ, สุภาพ ไพรพนาพงศ์ และ รัชฎา แดงวัฒนกุล. 2541. การเลี้ยงปูทะเล. กรมส่งเสริมการเกษตร. แหล่งที่มา : <http://www.doae.go.th/LIBRARY/html/detail/crab/crab.html>, 11 พฤษภาคม 2549.
- อรอนงค์ ประวิทย์วิไลกุล. 2547. การเปรียบเทียบการเลี้ยงกุ้งขาวแปซิฟิกในบ่อดินและบ่อที่ปูด้วยโพลีเอททิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อชยา กังสุวรรณ, พรรณี ครชชาติ และ สมยศ ราชนิยม. 2536. การสกัดไคโตซานจากเปลือกสัตว์น้ำ, น. 726. ใน รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2536. กรมประมง, กรุงเทพฯ.

- Alimuniar, A. and R. Zainuddin. 1992. An Economical Technique for Producing Chitosan, pp. 627-632. *In* C.J. Brine, P.A. Sandford and J.P. Zikakis, eds. **Advances in Chitin and chitosan**. Elsevier Applied Science, Essex, UK.
- AOAC. 1984. **Official Methods of Analysis of AOAC International** (14th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Virginia.
- Arab-Bahmani, S., G.C. East and I. Holme. 2000. Application of chitosan in textile printing. **Advances in Chitin Science**. 4: 136-142.
- Bough, W.A., W.L. Salter, A.C.M. Wu and B.E. Perkins. 1978. Influence of Manufacturing Variables on the Characteristics and Effectiveness of Chitosan Products. **Biotechnology Bioengineering**. 20: 1931-1942.
- British Pharmacopocia. 1988. **Formaldehyde Solution Volume I**. Her majesty's stationary office, London.
- Budavari, S., M.J. O'Neil, A. Smith, P.E. Heckelman and J.F. Kinneary. 1996. **Merck Index**. Merck Research Laboratories Division of Merck & Co. Inc., N.J., U.S.A
- Chandrkrachang, S. 2002. The applications of chitin and chitosan in agriculture in Thailand. **Advances in Chitin Science**. 5: 458-462.
- Chiou, M.S. and H.Y. Li. 2003. Adsorption behavior of reactive dye in aqueous solution on chemical cross-linked chitosan beads. **Chemosphere**. 1095-1105.
- Felse, P.A. and T. Panda. 1999. Studies on applications of chitin and its derivatives. **Bioprocess Engineering**. 20: 505-512.
- Hirano, S. 1996. Chitin biotechnology applications. **Biotechnology Annual Review**. 2: 237-258.

- Krasavtsev, V., G. Maslova, E. Degtyareva, V. Bykova and L. Noudga. 2002. Study and selection of chitosan characteristics for packaging materials and preservation of fish products. **Advances in Chitin Science**. 5: 543-546.
- Lertsutthiwong, P., C.H. Ng, S. Chandkrachang and W.F. Stevens. 2002. Effect of chemical treatment on the characteristics of shrimp chitosan. *Journal of Metals, Materials and Minerals*. 12(1): 11-18.
- Li, C.F. and J.C. Wu. 1998. Chitosan benefits cultivation of vegetables. **Advances in Chitin Science**. 3: 448-452.
- Li, F., W.G. Liu and K.D. Yao. 2002. Preparation of oxidized glucose-crosslinked N-alkylated chitosan membrane and in vitro studies of pH-sensitive drug delivery. **Biomaterials**. 23: 343-347.
- Majeti N.V. Ravi Kumar. 2000. A review of chitin and chitosan applications. **Reactive & Functional Polymers**. 46: 1 – 27.
- Mi, F.L., S.S. Shyu, Y.B. Wu, S.T. Lee, J.Y. Shyong and R.N. Huang. 2001. Fabrication and characterization of a sponge-like asymmetric chitosan membrane as a wound dressing. **Biomaterials**. 22: 165-173.
- Myint, K.T., C.H. Ng, S. Chandkrachang and W.F. Stevens. 2002. Optimal demineralization of crab shell waste for chitin production. **Advances in Chitin Science**. 5: 15-18.
- Selmer-Olsen, E., H.C. Ratnaweera and R. Pehrson. 1996. A novel treatment process for dairy wastewater with chitosan produced from shrimp-shell waste. **Water Science and Technology**. 34(11): 33-40.
- Struszczyk, H. 1997. Preparation of chitosan fibres. **Chitin Handbook**. 437-440.

- Twu, Y.K., H.I. Huang, S.Y. Chang and S.L. Wang. 2003. Preparation and sorption activity of chitosan/cellulose blend beads. **ELSEVIER**. Available Source: <http://www.sciencedirect.com>, September 21, 2006.
- Wanichpongpan, P., N. Tanapongsathorn and S. Chandkrachang. 2002. Application of Chitosan as Bioflocculation in Shrimp Pond. pp. 45. **The 5th Asia Pacific Chitin-Chitosan Symposium and Exhibition**. Bangkok, Thailand.
- Wu, A.C.M. and W.A. Bough. 1978. A study of variables in the Chitosan Manufacturing Process in relation to Molecular Weight Distribution, Chemical Characteristics and Waste Treatment Effectiveness, pp. 88-102. *In* R.A.A. Muzzarelli and E.R. Pariser, eds. **Proceedings of the first International conference on Chitin and Chitosan**. MIT programme, Cambridge, M.A.
- Zehra, B., O. Cosan, S. Yoldas and Y. Kadir. 2008. Sorption of malachite green on chitosan bead. **Hazardous Materials**. 154(1): 254-261.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การทดสอบ และตารางแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่น

การศึกษาการขึ้นรูปเม็ดบีดโคโตซาน

เตรียมเม็ดบีดโคโตซานจากสารละลายโคโตซานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 2, 4 และ 6% ใน 2% acetic acid แล้วหยดลงในสารละลายต่าง จากการทดลองพบว่า สารละลาย 6% โคโตซานมีความหนืดมากเมื่อนำไปขึ้นรูปจะได้เม็ดบีดโคโตซานที่มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ประมาณ 5 mm เม็ดโคโตซานมีลักษณะแข็ง ไม่กลม มีหางยาว ส่วนสารละลาย 2% โคโตซานมีความหนืดน้อยทำให้เมื่อนำไปขึ้นรูปจะได้เม็ดบีดที่มีลักษณะกลมขนาดเล็กประมาณ 3 mm ไม่มีหาง แต่เม็ดบีดที่ได้ไม่แข็งแรง เมื่อเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที พบว่า เม็ดบีดส่วนใหญ่จะแตก และสารละลาย 4% โคโตซานมีความหนืดปานกลาง เมื่อนำไปขึ้นรูปจะได้เม็ดบีดที่มีลักษณะกลม ขนาดใหญ่ปานกลางประมาณ 3.8 mm มีหางเล็กน้อย เม็ดบีดมีความแข็งแรง จึงเลือกนำสารละลาย 4% โคโตซานมาใช้ในการเตรียมบีดโคโตซาน

สารละลายต่างที่ใช้ขึ้นรูปในการทดลองคือ 20%NaOH, 20%KOH, 20% NaOH:EtOH และ 20% KOH:EtOH ในอัตราส่วน 1:1 พบว่าสารละลาย 20% NaOH และ 20% KOH ทำให้โคโตซานบีดที่หยดลงไปนั้นติดกันเป็นก้อน เนื่องจากเม็ดบีดจะลอยอยู่ที่ผิวด้านบนของสารละลาย ส่วนสารละลาย 20% NaOH:EtOH และ 20% KOH:EtOH เม็ดบีดที่ได้จะแยกตัวกันไม่ติดกันเป็นก้อน เนื่องจากเม็ดบีดจะจมลงที่พื้นด้านล่างของสารละลาย เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการขึ้นรูป เม็ดบีดของสารละลายต่างทั้ง 2 ชนิดนี้พบว่าสารละลาย 20% KOH:EtOH ทำให้เม็ดบีดแข็งตัวทันที เม็ดบีดที่ได้มีความหยาบและแข็งแรงกว่าบีดโคโตซานที่เตรียมจาก 20% NaOH:EtOH จึงเลือกใช้สารละลาย 20% NaOH:EtOH ในการใช้เป็นสารขึ้นรูป

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นแอมโมเนีย

ตารางผนวกที่ ก1 ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดกึ่งขาวที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ

เวลาดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ($\bar{x} \pm SD$)				อัตราการดูดซับ (mg/l/hr) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ระดับความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย (mg/l)				ระดับความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย (mg/l)			
	18	20	22	24	18	20	22	24
1 นาที	17.30±4.87 ^j	15.96±2.15 ^k	13.77±2.43 ^k	10.57±0.00 ^l	-	-	-	-
30 นาที	23.78±3.24 ^g	24.41±4.95 ^g	21.05±0.00 ⁱ	23.02±1.96 ^h	8.21±1.12 ^c	9.71±1.97 ^b	9.71±0.00 ^b	11.39±0.97 ^a
1 ชม.	30.81±2.48 ^f	29.58±3.73 ^f	21.86±2.81 ^h	24.91±1.31 ^g	5.32±0.43 ^e	5.88±0.74 ^d	5.04±0.65 ^e	6.16±0.32 ^d
2 ชม.	34.60±3.75 ^e	37.09±5.69 ^d	24.70±3.21 ^g	30.57±0.65 ^f	2.99±0.32 ^g	3.69±0.57 ^f	2.85±0.37 ^g	3.78±0.08 ^f
3 ชม.	35.68±1.87 ^e	46.01±5.86 ^b	35.63±1.21 ^e	32.08±1.96 ^e	2.05±0.11 ⁱ	3.05±0.39 ^g	2.74±0.09 ^g	2.64±0.16 ^h
4 ชม.	38.92±1.87 ^c	52.58±5.69 ^a	42.11±3.90 ^b	41.89±0.65 ^b	1.68±0.08 ⁱ	2.61±0.28 ^h	2.43±0.23 ⁱ	2.59±0.04 ^h

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ก2 ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดปูทะเลที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ

เวลาดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ($\bar{x} \pm SD$)				อัตราการดูดซับ (mg/l/hr) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ระดับความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย (mg/l)				ระดับความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย (mg/l)			
	18	20	22	24	18	20	22	24
1 นาที	24.87±4.08 ^c	2.82±1.41 ⁱ	2.83±2.10 ⁱ	2.64±1.13 ⁱ	-	-	-	-
30 นาที	26.49±0.94 ^c	3.76±1.63 ⁱ	6.48±0.00 ⁱ	4.53±4.58 ⁱ	9.15±0.32 ^a	1.49±0.65 ^f	2.99±0.00 ^c	2.24±2.26 ^d
1 ชม.	28.11±0.94 ^b	17.84±4.53 ^e	4.45±1.86 ⁱ	8.30±3.92 ^h	4.85±0.16 ^b	3.55±0.90 ^c	1.03±0.43 ^h	2.05±0.97 ^e
2 ชม.	31.35±0.94 ^b	20.19±0.81 ^d	11.34±2.10 ^g	18.87±1.31 ^e	2.71±0.08 ^c	2.01±0.08 ^e	1.31±0.24 ^f	2.33±0.16 ^d
3 ชม.	31.35±0.94 ^b	20.19±3.54 ^d	13.36±5.48 ^f	20.76±4.08 ^d	1.80±0.05 ^e	1.34±0.24 ^f	1.03±0.42 ^h	1.71±0.34 ^e
4 ชม.	44.87±1.62 ^a	26.29±4.30 ^c	20.24±1.40 ^d	24.91±1.31 ^c	1.94±0.07 ^e	1.31±0.21 ^f	1.17±0.08 ^g	1.54±0.08 ^f

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ก3 ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดหมักกระดองที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ

เวลาดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ($\bar{x} \pm SD$)				อัตราการดูดซับ (mg/l/hr) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ระดับความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย (mg/l)				ระดับความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย (mg/l)			
	18	20	22	24	18	20	22	24
1 นาที	2.16±1.87 ^l	11.74±2.15 ^h	4.45±1.86 ^k	5.66±2.36 ^k	-	-	-	-
30 นาที	4.32±3.24 ^k	15.49±1.41 ^f	7.29±2.80 ^j	9.81±2.36 ⁱ	1.49±1.12 ^e	6.16±0.56 ^a	3.36±1.29 ^c	4.85±1.17 ^b
1 ชม.	8.11±6.14 ⁱ	15.96±0.81 ^f	9.72±3.71 ⁱ	14.34±3.46 ^g	1.40±1.06 ^e	3.17±0.16 ^c	2.24±0.86 ^d	3.55±0.86 ^c
2 ชม.	18.38±3.38 ^d	16.90±0.00 ^e	19.84±3.21 ^c	17.36±0.00 ^d	1.59±0.29 ^e	1.68±0.00 ^e	2.29±0.37 ^d	2.15±0.00 ^e
3 ชม.	24.87±3.74 ^a	20.19±0.81 ^c	22.67±5.06 ^b	17.74±0.65 ^d	1.43±0.22 ^e	1.34±0.05 ^e	1.74±0.39 ^e	1.46±0.05 ^e
4 ชม.	27.57±3.38 ^a	23.94±3.73 ^b	26.72±1.40 ^a	22.26±1.73 ^b	1.19±0.15 ^e	1.19±0.19 ^e	1.54±0.08 ^e	1.38±0.11 ^e

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ก4 ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับแอมโมเนียของไคโตซานบีดแมงดาทะเลที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ

เวลาดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%) ($\bar{x} \pm SD$)				อัตราการดูดซับ (mg/l/hr) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ระดับความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย (mg/l)				ระดับความเข้มข้นสารละลายแอมโมเนีย (mg/l)			
	18	20	22	24	18	20	22	24
1 นาที	4.32±3.24 ⁱ	6.57±2.93 ^h	3.64±0.70 ⁱ	7.55±2.85 ^h	-	-	-	-
30 นาที	13.51±3.38 ^f	5.63±3.73 ^h	4.86±1.40 ⁱ	12.83±3.92 ^f	4.67±1.17 ^b	2.24±1.48 ^d	2.24±0.65 ^d	6.35±1.94 ^a
1 ชม.	15.14±4.95 ^f	10.80±0.81 ^g	16.19±1.21 ^e	14.72±3.98 ^f	2.61±0.86 ^c	2.15±0.16 ^d	3.73±0.28 ^b	3.64±0.98 ^b
2 ชม.	17.30±1.62 ^d	18.78±5.86 ^d	18.22±1.86 ^d	21.51±3.64 ^c	1.49±0.14 ^e	1.87±0.58 ^e	2.10±0.21 ^d	2.66±0.45 ^c
3 ชม.	14.05±1.62 ^f	17.84±2.93 ^d	17.00±1.40 ^e	26.04±6.24 ^b	0.81±0.09 ^g	1.18±0.19 ^f	1.31±0.11 ^f	2.15±0.51 ^d
4 ชม.	16.22±1.87 ^e	27.70±2.93 ^a	26.32±1.86 ^b	32.83±5.58 ^a	0.70±0.08 ^g	1.38±0.15 ^e	1.52±0.11 ^e	2.03±0.35 ^e

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) ในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นฟอร์มาลดีไฮด์

ซึ่งดัดแปลงจากวิธีของสุชา และคณะ (2544) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

1. การเตรียม Stock standard formaldehyde ความเข้มข้น 100 $\mu\text{g/ml}$

นำ 37% formaldehyde มา 27 μl ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 100 ml และเติมน้ำให้ครบ 100 ml

2. การเตรียม Working Standard formaldehyde

ปิเปต stock solution ที่เตรียมไว้ มาในปริมาตรต่างๆ ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml และเติมน้ำให้ครบ 100 ml เพื่อให้ได้ความเข้มข้น Standard formaldehyde ดังตารางผนวกที่ ก5

ตารางผนวกที่ ก5 การเตรียม Working Standard formaldehyde

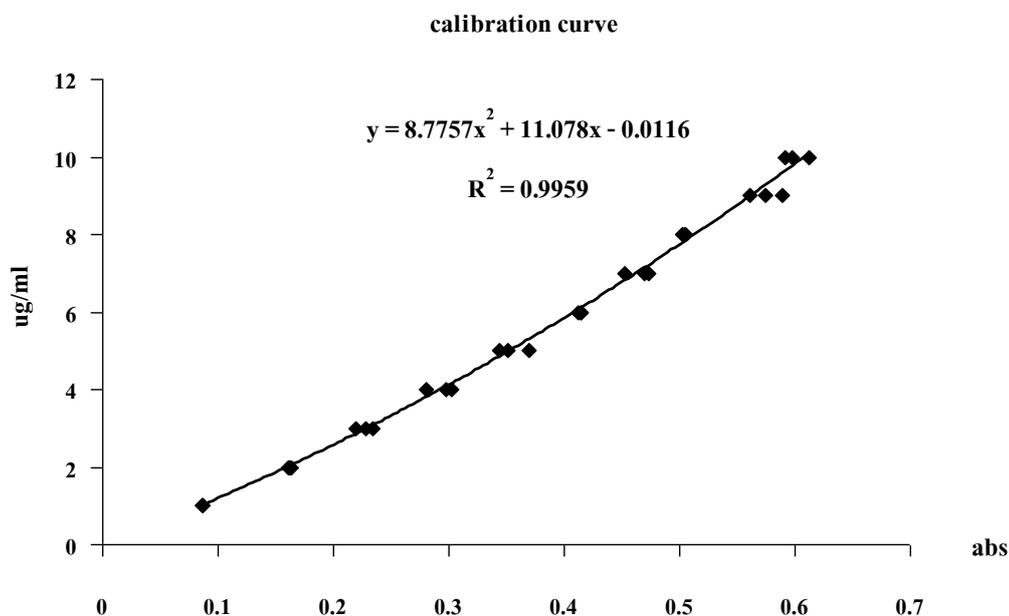
ปิเปต stock solution (ml)	ความเข้มข้น Standard formaldehyde ($\mu\text{g/ml}$)
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10

ได้ Standard formaldehyde ความเข้มข้น 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ จึงนำไปตรวจวัดค่าดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ตามวิธีของ British Pharmacopocia (1988) โดย

- ปิเปต Standard formaldehyde ความเข้มข้นละ 2 ml ใส่หลอดทดลองอย่างละ 3 ซ้ำ
- เติม 1% phenyl hydrazine hydrochloride 400 μl
- เติม 1% potassium hexacyanoferrate 200 μl
- เติม conc. HCl 1 ml
- เขย่าหลอด แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสง (Abs) ที่ 520 nm และนำค่า Abs ที่วัดได้ไป plot curve

การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

การทดสอบหาสมการจากกราฟมาตรฐาน โดยวัดค่า Abs ของฟอร์มัลดีไฮด์ในแต่ละความเข้มข้นคือ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 $\mu\text{g/ml}$ แล้วนำค่ามาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ ได้ดังภาพผนวกที่ ก1



ภาพผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานของฟอร์มัลดีไฮด์

ตารางผนวกที่ 6 ประสิทธิภาพการดูดซึม และอัตราการดูดซึมฟอर्मัลดีไฮด์ของโคโคซานบีดกึ่งขาวที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ

เวลาดูดซึม	ความเข้มข้นที่ถูกลดดูดซึม ($\bar{x} \pm SD$)				อัตราการดูดซึม ($\mu\text{g/ml/hr}$) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ระดับความเข้มข้นสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ ($\mu\text{g/ml}$)				ระดับความเข้มข้นสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ ($\mu\text{g/ml}$)			
	4	6	8	10	4	6	8	10
1 นาที	1.31±0.06 ^j	2.61±0.04 ^f	2.26±0.00 ^h	1.73±0.13 ⁱ	-	-	-	-
30 นาที	1.64±0.01 ⁱ	3.15±0.01 ^b	3.17±0.14 ^b	3.23±0.04 ^b	3.27±0.03 ^b	6.30±0.03 ^a	6.35±0.27 ^a	6.46±0.09 ^a
1 ชม.	1.62±0.17 ⁱ	2.93±0.15 ^d	2.80±0.30 ^c	2.64±0.35 ^f	1.62±0.17 ^e	2.93±0.15 ^c	2.80±0.30 ^c	2.64±0.35 ^d
2 ชม.	1.77±0.01 ⁱ	3.23±0.01 ^b	3.29±0.06 ^b	2.90±0.12 ^d	0.89±0.01 ^f	1.61±0.00 ^e	1.64±0.03 ^e	1.45±0.06 ^e
3 ชม.	1.75±0.05 ⁱ	3.11±0.15 ^c	2.77±0.03 ^c	2.96±0.18 ^c	0.58±0.02 ^g	1.04±0.05 ^f	0.92±0.01 ^f	0.99±0.06 ^f
4 ชม.	1.83±0.12 ⁱ	3.22±0.07 ^b	3.52±0.21 ^a	2.48±0.09 ^g	0.46±0.03 ^h	0.81±0.02 ^f	0.88±0.05 ^f	0.62±0.02 ^g

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๗7 ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ของไคโตซานบีดปูทะเลที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ

เวลาดูดซับ	ความเข้มข้นที่ถูกลดดูดซับ ($\bar{x} \pm SD$)				อัตราการดูดซับ ($\mu\text{g/ml/hr}$) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ระดับความเข้มข้นสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ ($\mu\text{g/ml}$)				ระดับความเข้มข้นสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ ($\mu\text{g/ml}$)			
	4	6	8	10	4	6	8	10
1 นาที	1.37±0.08 ^k	2.93±0.04 ^g	1.45±0.11 ^k	0.81±0.40 ^l	-	-	-	-
30 นาที	1.69±0.05 ^j	3.36±0.14 ^f	3.72±0.17 ^d	3.94±0.09 ^d	3.38±0.10 ^e	6.71±0.27 ^c	7.44±0.33 ^b	7.88±0.19 ^a
1 ชม.	1.99±0.03 ⁱ	3.63±0.06 ^e	3.58±0.08 ^e	3.10±0.06 ^g	1.99±0.03 ^g	3.63±0.06 ^d	3.58±0.08 ^d	3.10±0.06 ^f
2 ชม.	2.03±0.07 ⁱ	3.72±0.08 ^d	3.95±0.24 ^d	3.51±0.59 ^e	1.02±0.04 ^k	1.86±0.04 ^g	1.98±0.12 ^g	1.76±0.29 ^g
3 ชม.	2.21±0.03 ⁱ	3.91±0.04 ^d	4.45±0.08 ^c	4.62±0.12 ^c	0.74±0.01 ^l	1.304±0.01 ^j	1.48±0.03 ⁱ	1.54±0.04 ^h
4 ชม.	2.56±0.07 ^h	4.40±0.03 ^c	5.39±0.03 ^b	6.11±0.53 ^a	0.64±0.02 ^l	1.100±0.01 ^j	1.35±0.01 ⁱ	1.53±0.13 ^h

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑๘ ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานบีดหมึกกระดองที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ

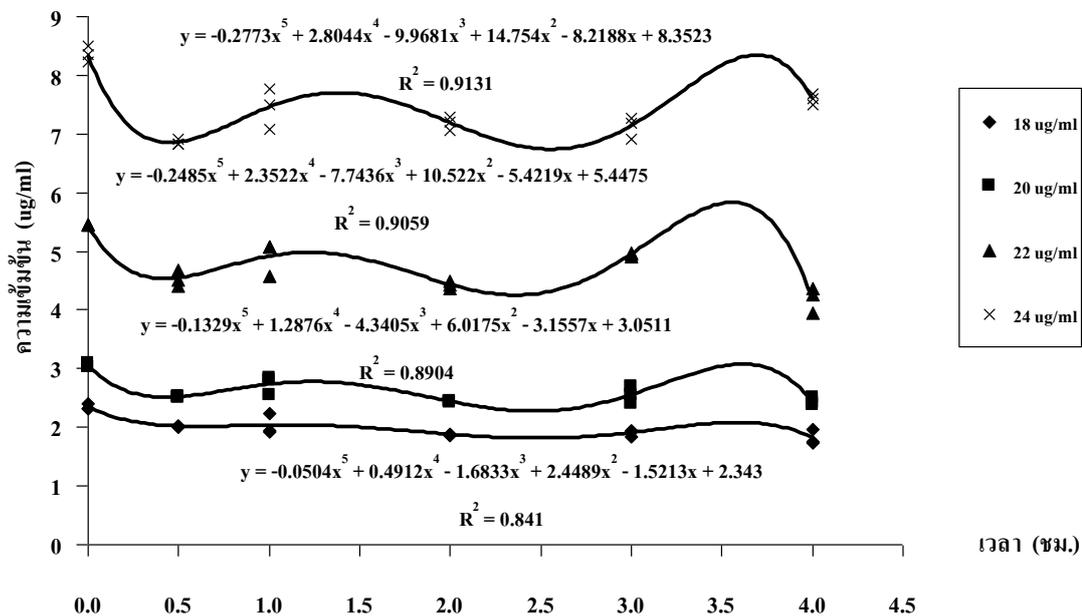
เวลาดูดซับ	ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ ($\bar{x} \pm SD$)				อัตราการดูดซับ ($\mu\text{g/ml/hr}$) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ระดับความเข้มข้นสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ ($\mu\text{g/ml}$)				ระดับความเข้มข้นสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ ($\mu\text{g/ml}$)			
	4	6	8	10	4	6	8	10
1 นาที	1.76±0.02 ^j	3.37±0.04 ^g	2.83±0.16 ^h	1.55±0.72 ^j	-	-	-	-
30 นาที	2.25±0.04 ⁱ	3.89±0.02 ^f	4.20±0.08 ^e	4.17±0.07 ^e	4.50±0.08 ^e	7.78±0.04 ^b	7.02±0.16 ^c	11.83±0.13 ^a
1 ชม.	2.27±0.01 ⁱ	3.96±0.02 ^f	4.25±0.07 ^d	4.55±0.14 ^b	2.27±0.01 ⁱ	3.96±0.02 ^f	3.46±0.07 ^g	5.54±0.14 ^d
2 ชม.	2.40±0.03 ⁱ	4.04±0.02 ^e	4.59±0.08 ^b	4.95±0.09 ^a	1.20±0.01 ⁿ	2.02±0.01 ^j	1.56±0.04 ⁱ	2.57±0.05 ^h
3 ชม.	2.37±0.07 ⁱ	4.07±0.05 ^e	4.69±0.08 ^a	4.49±0.26 ^c	0.79±0.02 ^p	1.36±0.02 ^m	1.01±0.03 ^o	1.86±0.09 ^k
4 ชม.	2.34±0.03 ⁱ	3.90±0.03 ^f	3.93±0.17 ^f	4.89±0.04 ^a	0.58±0.01 ^q	0.97±0.01 ^o	0.95±0.04 ^o	1.30±0.01 ^m

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

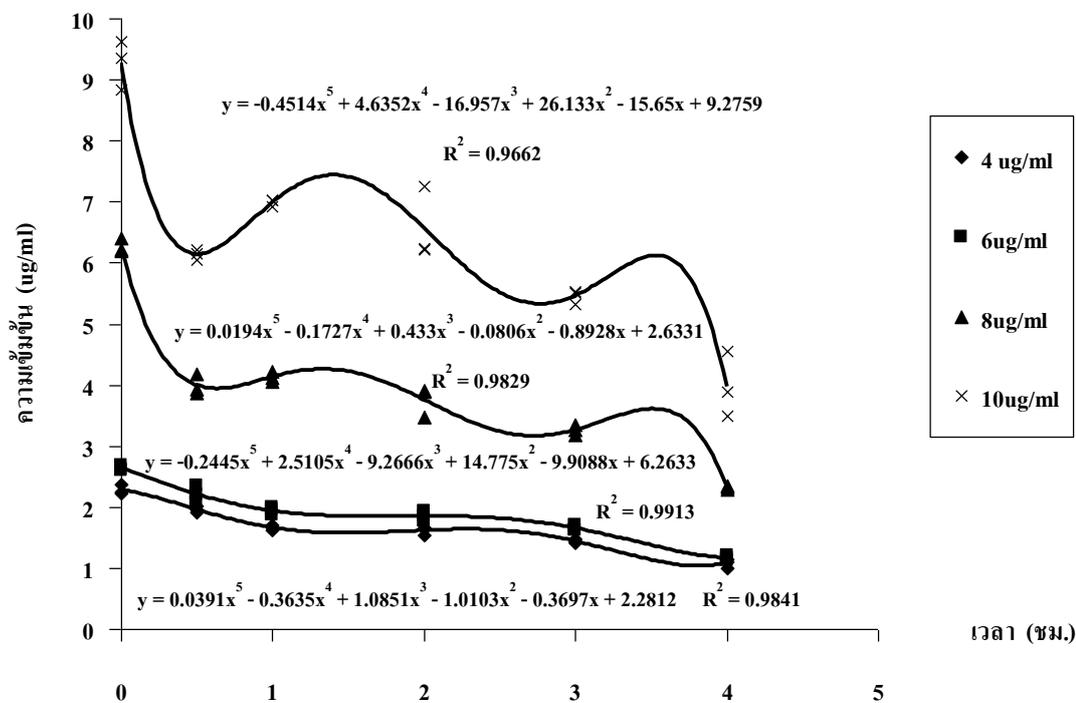
ตารางผนวกที่ ๑๑ ประสิทธิภาพการดูดซับ และอัตราการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานบีดแมงดาทะเลที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ

เวลาดูดซับ	ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ ($\bar{x} \pm SD$)				อัตราการดูดซับ ($\mu\text{g/ml/hr}$) ($\bar{x} \pm SD$)			
	ระดับความเข้มข้นสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ ($\mu\text{g/ml}$)				ระดับความเข้มข้นสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ ($\mu\text{g/ml}$)			
	4	6	8	10	4	6	8	10
1 นาที	1.89±0.01 ⁱ	3.74±0.04 ^e	3.03±0.05 ^g	1.44±0.34 ⁱ	-	-	-	-
30 นาที	2.22±0.05 ^h	4.14±0.01 ^c	4.13±0.18 ^c	3.44±0.08 ^f	4.43±0.09 ^c	8.27±0.03 ^a	8.26±0.37 ^a	6.88±0.15 ^b
1 ชม.	2.24±0.01 ^h	4.18±0.03 ^c	4.22±0.01 ^b	3.71±0.09 ^e	2.24±0.01 ^f	4.18±0.03 ^d	4.22±0.01 ^d	3.71±0.09 ^e
2 ชม.	2.42±0.03 ^h	4.28±0.01 ^b	4.39±0.03 ^b	4.13±0.27 ^c	1.21±0.01 ^h	2.14±0.01 ^f	2.20±0.02 ^f	2.06±0.13 ^g
3 ชม.	2.24±0.02 ^h	4.06±0.04 ^d	3.88±0.01 ^d	3.74±0.23 ^c	0.75±0.01 ^k	1.35±0.01 ^h	1.29±0.00 ^h	1.25±0.08 ^h
4 ชม.	2.34±0.01 ^h	4.20±0.01 ^b	4.63±0.05 ^a	4.60±0.14 ^a	0.59±0.00 ^k	1.05±0.00 ^j	1.16±0.01 ⁱ	1.15±0.04 ⁱ

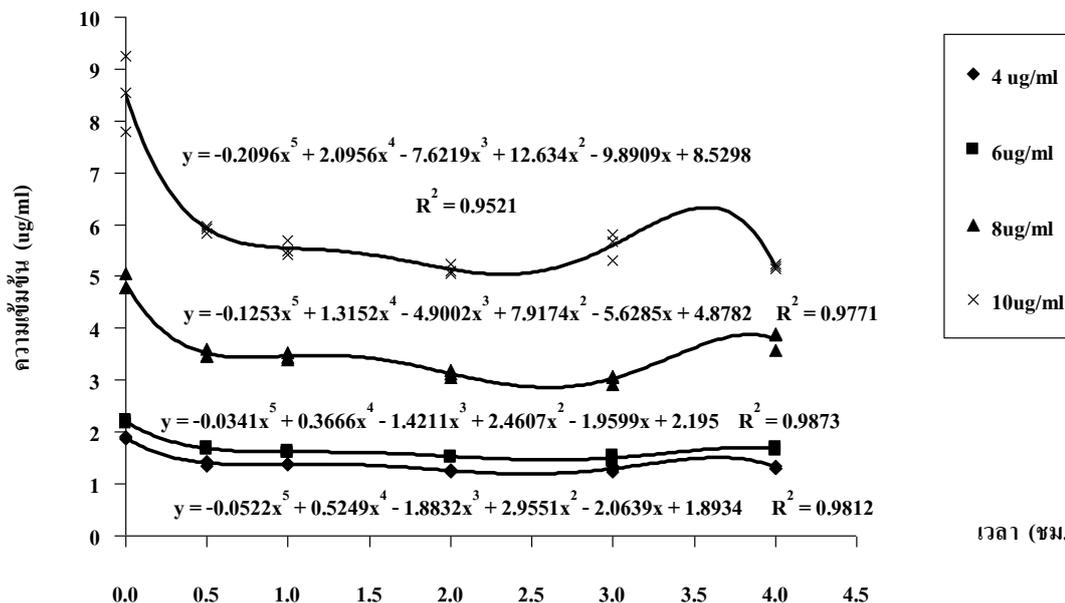
หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน (superscript) หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



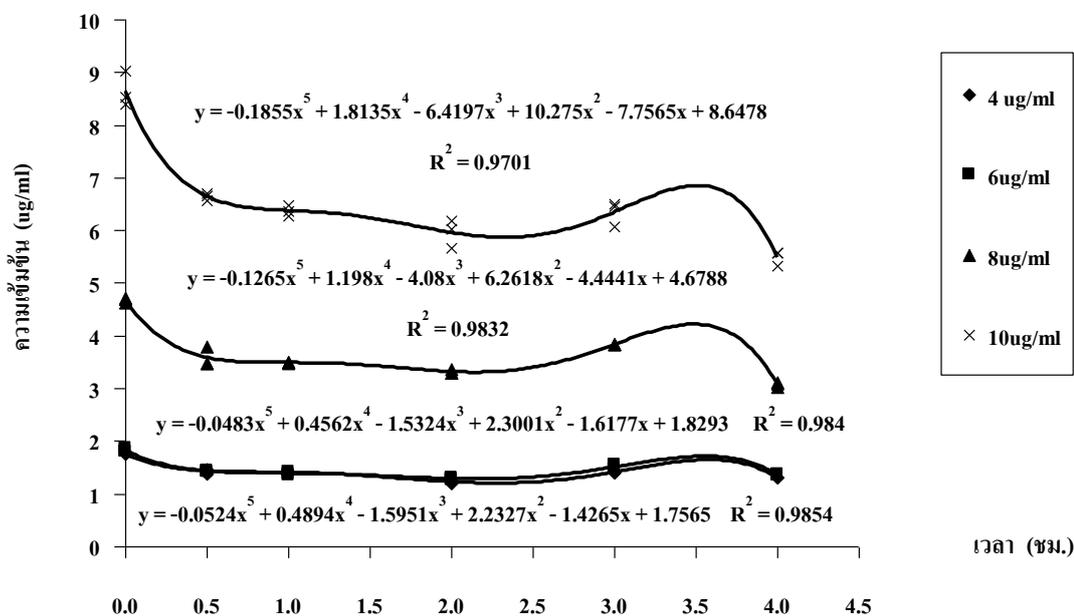
ภาพผนวกที่ ก2 กราฟโพลีโนเมียลแสดงการดูดซับสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 ug/ml ของไคโตซานบีดกึ่งขาว



ภาพผนวกที่ ก3 กราฟโพลีโนเมียลแสดงการดูดซับสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 ug/ml ของไคโตซานบีดปูทะเล



ภาพผนวกที่ ก4 กราฟโพลีโนเมียลแสดงการดูดซับสารละลายฟอรัมดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 µg/ml ของโคโตซานบีดหมักกระดอง



ภาพผนวกที่ ก5 กราฟโพลีโนเมียลแสดงการดูดซับสารละลายฟอรัมดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 18, 20, 22 และ 24 µg/ml ของโคโตซานบีดแมงดาทะเล

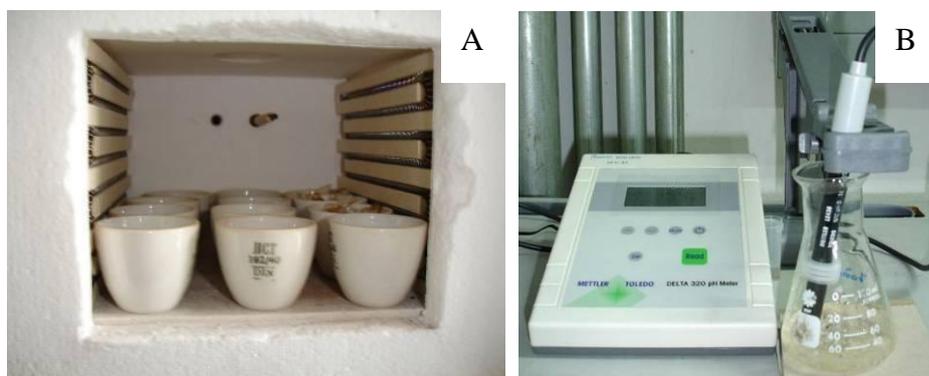
ภาคผนวก ข
ภาพการทดลอง



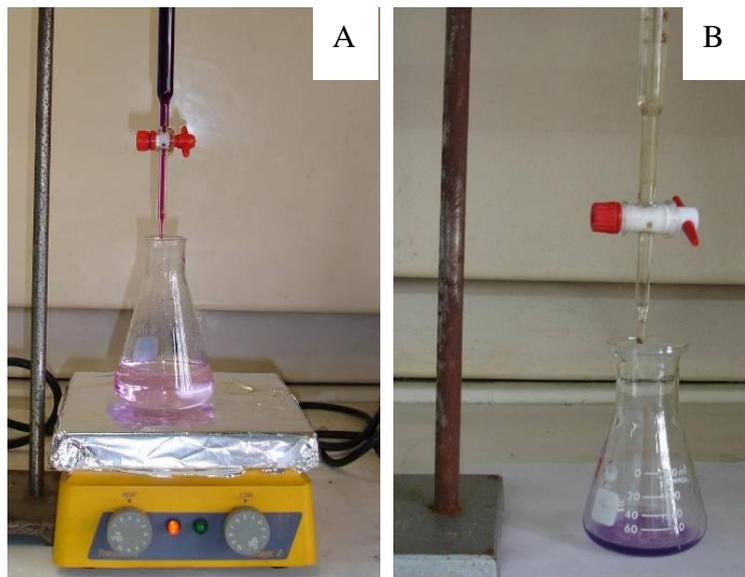
ภาพผนวกที่ ข1 การผลิตโคตินจากเปลือกสัตว์ทะเล



ภาพผนวกที่ ข2 การผลิตโคโตซาน



ภาพผนวกที่ ข3 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า(A), การวิเคราะห์ความเป็นกรด - ด่างของโคโตซาน(B)



ภาพผนวกที่ ข4 การไทเทรตทดสอบหาปริมาณแคลเซียมในเปลือกสัตว์ทะเล (A), การไทเทรตทดสอบหาระดับการกำจัดหมู่อะซีทิลในโคโคซานแต่ละชนิด (B)



ภาพผนวกที่ ข5 การวิเคราะห์หาความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer ชุด RV Spindle



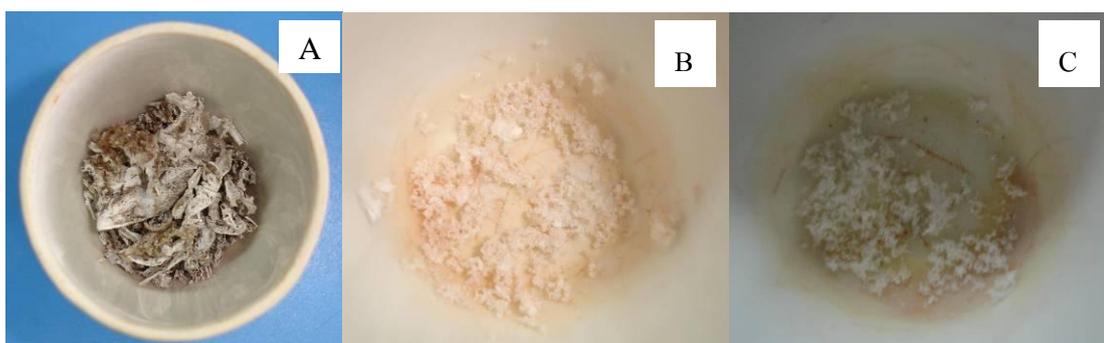
ภาพผนวกที่ ข6 การศึกษาลักษณะภายนอกของไคโตซานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ
ส่องกราด (SEM)



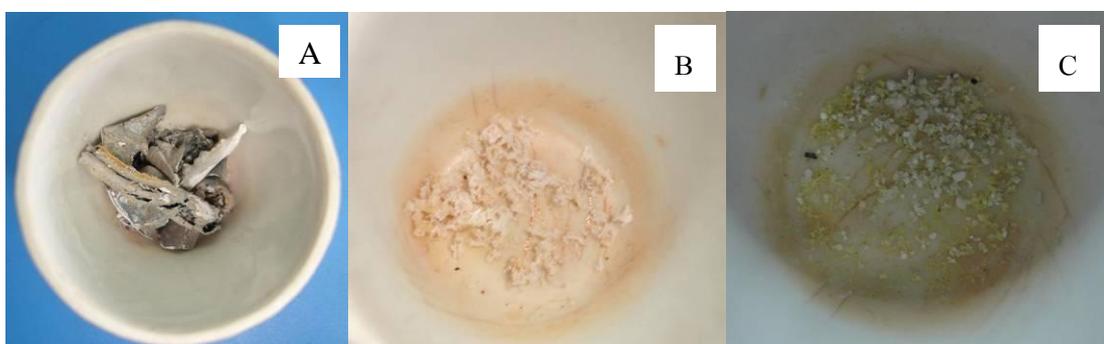
ภาพผนวกที่ ข7 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของไคโตซานด้วย BET Surface Area Analyzer



ภาพผนวกที่ ข8 การเตรียมไคโตซานบีด



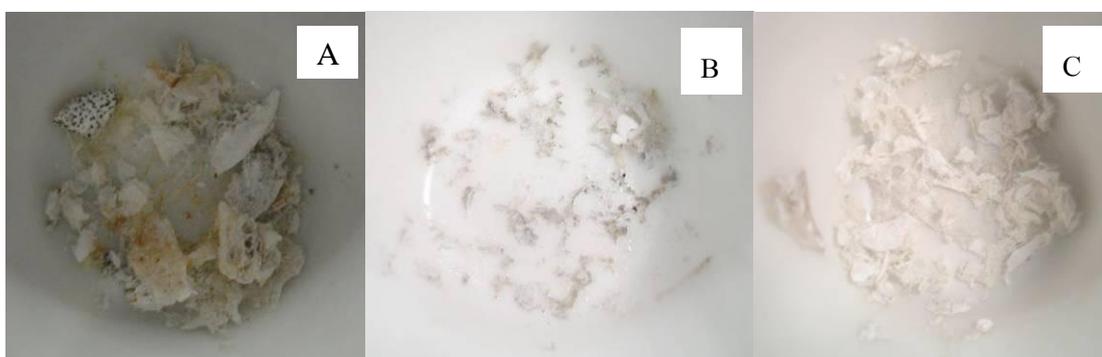
ภาพผนวกที่ ข9 ลักษณะเง้าของเปลือก (A), ไคติน (B) และไคโตซานกุ้งขาว (C)



ภาพผนวกที่ ข10 ลักษณะเง้าของเปลือก (A), ไคติน (B) และไคโตซานปูทะเล (C)



ภาพผนวกที่ ข11 ลักษณะเง้าของแกนหมึก (A), ไคติน (B) และไคโตซานหมึกกระดอง(C)



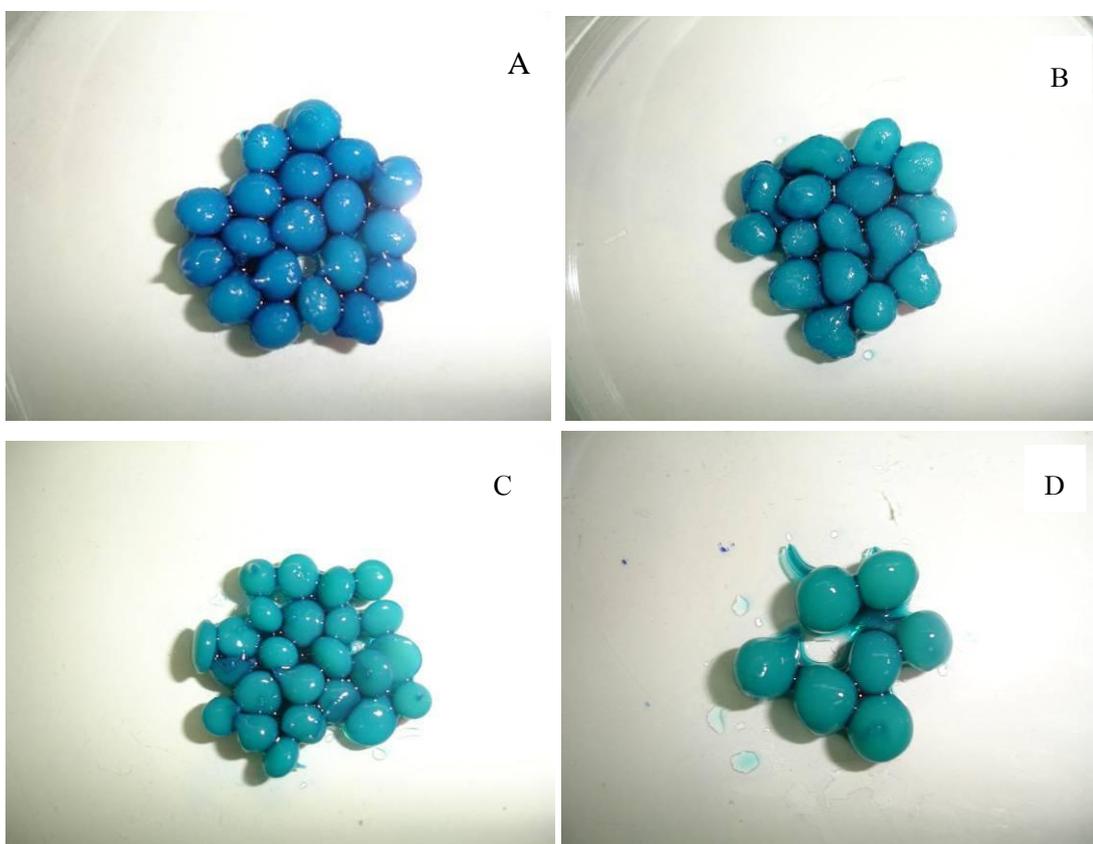
ภาพผนวกที่ ข12 ลักษณะเง้าของเปลือก (A), ไคติน (B) และไคโตซานแมงดาทะเล (C)



ภาพผนวกที่ ข13 การทดสอบดูดซับกัลลินฟอร์มัลดีไฮด์



ภาพผนวกที่ ข14 สีของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 1 -10 $\mu\text{g/ml}$ จากการสร้างกราฟมาตรฐาน



ภาพผนวกที่ ข15 ไคโตซานบีดกึ่งขาว (A), ไคโตซานบีดปุทะเล (B), ไคโตซานบีดหมึกกระดอง (C) และไคโตซานบีดแมงดาทะเล (D) ที่ผ่านการดูดซับสี

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นางสาวกวรรณ ปานช้อยงาม
เกิดวันที่	6 ธันวาคม พ.ศ. 2525
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร ฯ
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2548)
ตำแหน่งปัจจุบัน	ผู้ช่วยวิจัยโครงการวิจัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และทุนโครงการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการปี 2552