



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การกำจัดไขมันและน้ำมันจากน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตบางเขน)
ด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย

The Removal of Fat and Oil from Kasetsart University (Bang Khen Campus) Canteen
Wastewater by Chitin and Chitosan from Pen of Splendid Squid (*Loligo duvauceli*)

นามผู้วิจัย นางสาวกรณัฏฐา พงศ์ประสิทธิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์คณิดา ดังคนานุรักษ์, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ดังคนานุรักษ์, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน พ.ศ.

สิงสิงวี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การกำจัดไขมันและน้ำมันจากน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตบางเขน) ด้วย
ไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย

The Removal of Fat and Oil from Kasetsart University (Bang Khen Campus) Canteen
Wastewater by Chitin and Chitosan from Pen of Splendid Squid (*Loligo duvauceli*)

โดย

นางสาวกรณัฏฐา พงศ์ประสิทธิ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

ภรณ์ภิตา พงศ์ประสิทธิ์ 2555: การกำจัดไขมันและน้ำมันจากน้ำทิ้งโรงอาหาร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตบางเขน) ด้วยไคดินและไคโตซานจากแกนหมึก
กล้วย ปริญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์
สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์
คณิตา ดังคนานุรักษ์, วท.ม. 81 หน้า

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการกำจัดไขมันและน้ำมันจากน้ำทิ้งโรงอาหาร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตบางเขน) ด้วยไคดินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย ได้แก่
พีเอช (5-8) ความเร็วรอบการเขย่า (50-200 รอบ/นาที) ระยะเวลาเขย่า (10-90 นาที) ระยะเวลาเข้าสู่
สมดุล (0-90 นาที) ปริมาณน้ำมัน (0.25-3.0 กรัม/น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร) และปริมาณของตัวดูดซับ
(0.5-3.0 กรัม) จากการศึกษาการดูดซับแบบแบตช์ พบว่า ที่พีเอช 6 ความเร็วรอบการเขย่า 150
รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 10 นาที ระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 30 นาที และปริมาณน้ำมัน 0.25 กรัม/น้ำ
กลั่น 50 มิลลิลิตร ไคดินสามารถดูดซับน้ำมันได้ร้อยละ 50.07 ส่วนที่พีเอช 6 ความเร็วรอบการ
เขย่า 50 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่าและระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 10 นาที ปริมาณน้ำมัน 0.25 กรัม/น้ำ
กลั่น 50 มิลลิลิตร ไคโตซานสามารถดูดซับน้ำมันได้ร้อยละ 40.85 การประยุกต์ใช้งานจริง พบว่า
ไคดินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยปริมาณ 200 กรัม น้ำทิ้งโรงอาหาร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนปริมาตร 20 ลิตร ปั่นกวนด้วยใบพัดนาน 10 นาที
ระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 30 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ พบว่า มีประสิทธิภาพการดูดซับ เท่ากับ
48.51 และ 45.48 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งไคดินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยสามารถ
บำบัดมลสารอื่นๆ ได้ ได้แก่ ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย บีโอดี และซีโอดี เป็นต้น
สำหรับผลการฟื้นฟูสภาพของไคดินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยหลังจากผ่านการใช้งานแล้ว
พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันลดลงครึ่งหนึ่งจากประสิทธิภาพการดูดซับไขมัน
และน้ำมันครั้งแรก คือ สามารถดูดซับไขมันและน้ำมันได้ร้อยละ 17.22 และ 20.68 ตามลำดับ

Phonphitar Pongprasit 2012: The Removal of Fat and Oil from Kasetsart University (Bang Khen Campus) Canteen Wastewater by Chitin and Chitosan from Pen of Splendid Squid (*Loligo duvauceli*). Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Associate Professor Kanita Tungkananuruk, M.Sc. 81 pages.

The removal of fat and oil from Kasetsart University (Bang Khen Campus) canteen wastewater by chitin and chitosan from pen of splendid squid (*loligo duvauceli*) adsorption was investigated. The studied factors were pH (5-8), shaking rate (50-200 rpm.), shaking time (10-90 min.), contact time (10-90 min.), and oil concentration (0.25-3.0 g/water 50 mL) and amount of adsorbent (0.5-3.0 g). Batch adsorption studies demonstrated which were pH 6, 150 rpm of mixing speed, 10 min of shaking time, 30 min of contact time, and 0.25 g of oil / water 50 mL the chitin had a capacity for adsorption at 51.07% whereas pH 6, 50 rpm of mixing speed, 10 min of shaking time, 10 min of contact time, and 0.25 g of oil / water 50 mL the chitosan had a capacity for adsorption at 40.85%. Real work application was studied by using 200 g chitin and chitosan from pen of splendid squid (*loligo duvauceli*), 20 L of Kasetsart University (Bang Khen Campus) canteen wastewater, 10 min. of shaking time, 30 min. of contact time, chitin found that about 48.51 % was obtained. 10 min. of shaking time and contact time, chitosan found that about 45.48% was obtained. In addition, the total dissolved solids, suspended solid, BOD and COD, can be removed by chitin and chitosan. The recovery of used chitin and chitosan from pen of splendid squid was found to be less efficient in term of adsorption by half from the first adsorption is 17.22% and 20.68% of fat and oil respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์คณิตา ตังคณานุรักษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาหลักและรองศาสตราจารย์ดร. นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ ที่ได้สละเวลาในการให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยแก้ไขในข้อบกพร่องต่างๆ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์สถานที่ทำการศึกษาวิจัยทดลอง รวมทั้งอุปกรณ์ในการวิจัย ขอขอบคุณบริษัทไอซี ไกลคอล จำกัด ที่ได้สนับสนุนทุนในการวิจัยในครั้งนี้ผ่านทางโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ และขอขอบคุณ คุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อบุญชาติ และคุณแม่จรรยาวรรณ พงศ์ประสิทธิ์ ที่ได้อบรมสั่งสอน และให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา รวมถึงทุกท่านที่ไม่ได้ระบุนามที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่คอยให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจในการศึกษาวิจัย จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ภรณ์กิตา พงศ์ประสิทธิ์

ตุลาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	41
อุปกรณ์	41
วิธีการ	42
ผลและวิจารณ์	47
สรุปและข้อเสนอแนะ	66
สรุป	66
ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	69
ภาคผนวก	71
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	81

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมมูลประชากรสำหรับน้ำเสียจากอาคาร ในเขต กทม. และปริมณฑล	8
2	ลักษณะของน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชน	8
3	อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	48
4	อิทธิพลของพีเอชต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	49
5	อิทธิพลของความเร็วรอบการเขย่าต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	51
6	อิทธิพลของระยะเวลาแช่ต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	52
7	อิทธิพลของระยะเวลาเข้าสู่สมดุลต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	54
8	อิทธิพลของความเข้มข้นของไขมันและน้ำมันต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	55
9	อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	56
10	ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้งของ โรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	59
11	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน หลังผ่านการดูดซับด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วย	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย ทำการทดลองประยุกต์ใช้งานจริง	61
13	คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนหลังผ่านการประยุกต์ใช้งานจริง	62
14	ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยหลังผ่านการใช้งาน	63
15	ปริมาณไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยที่ใช้ในการดูดซับ	64
16	ต้นทุนของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยที่ใช้ในการดูดซับเปรียบเทียบกับไคตินและไคโตซานเชิงพาณิชย์	65
ตารางผนวกที่		
1	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินจากแกนหมึกกล้วยกับปริมาณไคติน	72
2	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและปริมาณไคโตซาน	72
3	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินจากแกนหมึกกล้วยและค่าพีเอช	73
4	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและค่าพีเอช	73
5	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและความเร็วรอบการเขย่า	74
6	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและความเร็วรอบการเขย่า	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินจากแกนหมึกกล้วยและระยะเวลาแช่	75
8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยและระยะเวลาแช่	75
9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาเข้าสู่สมดุล	76
10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาเข้าสู่สมดุล	76
11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณน้ำมัน	77
12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณน้ำมัน	77
13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณไคติน	78
14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณไคโตซาน	78
15 ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย ทำการทดลองแบบเบตซ์	79
16 ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยไคตินจากแกนหมึกกล้วย ทำการทดลองชุดประติษฐ์	80
17 ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย ทำการทดลองชุดประติษฐ์	80

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 สูตรทั่วไปของไขมันและน้ำมัน	13
2 โครงสร้างของไคติน	17
3 โครงสร้างของไคโตซาน	20
4 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกละลายไปยังตัวดูดซับ	27
5 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน	31
6 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเส้นตรง	32
7 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นตรงของฟรูนดิช	33
8 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรูนดิช	34
9 กลไกการดูดซับของตัวถูกละลายของตัวถูกละลายบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว เมื่อตัวถูกละลายถูกดูดซับไว้แล้ว จะไม่มีการคายออกจากพื้นผิวตัวดูดซับ	34
10 ตัวถูกละลายปกคลุมจนเต็มพื้นที่ผิวของตัวดูดซับแบบชั้นเดียว ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับสูงสุดบนพื้นผิวเท่ากับ q_m	35
11 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์	36
12 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของเบท	37
13 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเบท	38
14 ไคตินจากแกนหมึกกล้วยและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	47
15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขนกับปริมาณไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	50
16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนกับพีเอช	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนกับความเร็วรอบการเขย่า	53
18	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนกับระยะเวลาเขย่า	53
19	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนกับระยะเวลาเข้าสู่สมดุล	54
20	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนกับระดับความเข้มข้นของสารละลายไขมันและน้ำมัน	56
21	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนกับไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	57
22	ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายน้ำมันมาตรฐานของแลงเมียร์และฟรุนดลิชด้วยไคติน จากแกนหมึกกล้วย	58
23	ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายน้ำมันมาตรฐานของแลงเมียร์และฟรุนดลิชด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	58

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

DO	=	Dissolved oxygen
TDS	=	Total Dissolved Solution
TSS	=	Total Suspended Solids
COD	=	Chemical Oxygen Demand
BOD	=	Biochemical Oxygen Demand
EC	=	Electrical Conductivity

การกำจัดไขมันและน้ำมันจากน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
(วิทยาเขตบางเขน) ด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย

The Removal of Fat and Oil from Kasetsart University (Bang Khen
Campus) Canteen Wastewater by Chitin and Chitosan from Pen of
Splendid Squid (*Loligo duvauceli*)

คำนำ

น้ำทิ้งจากโรงอาหารจะประกอบด้วยน้ำมัน (oil) และไขมัน (fat, grease) ที่มาจากการทิ้งเศษอาหาร การประกอบอาหาร และน้ำจากการชำระอุปกรณ์ใส่อาหารและอุปกรณ์การกินอาหาร ซึ่งเมื่อปล่อยน้ำเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะก่อให้เกิดการเน่าเสียซึ่งน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะประกอบด้วยสารอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และฮิวมิก เป็นส่วนใหญ่ โดยที่ไขมันและน้ำมันจะเป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง และกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้มีกลิ่นเหม็น ไม่น่าดู ค่าคุณภาพน้ำต่ำ และนอกจากนี้ทั้งยังส่งผลกระทบต่อพืช สัตว์ และมนุษย์ที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียง และอาจส่งผลกระทบต่อเกิดโรคภัยไข้เจ็บ และยังเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการบำบัดน้ำเสียซึ่งเนื่องจากอาจทำให้เกิดการอุดตันของท่อน้ำทิ้งได้

การบำบัดน้ำทิ้งที่มีน้ำมันและไขมันโดยทั่วไปจะใช้กระบวนการทางกายภาพ (Physical treatment) โดยการทำปอดักไขมัน แล้วตัดไขมันที่ลอยทิ้ง และอีกวิธีหนึ่งคือการใช้จุลินทรีย์ (Biological treatment) แต่วิธีนี้นิยมใช้ในการย่อยสลายน้ำมันจากปิโตรเลียมซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนเป็นต้น ถึงแม้ว่าการบำบัดน้ำมันและไขมันจะสามารถทำได้หลายวิธี แต่ก็ยังคงมีปัญหาในเรื่องค่าใช้จ่ายที่สูง ฉะนั้นวิธีบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับ (adsorption) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เพราะนอกจากเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งไปบำบัดน้ำเสียแล้ว ยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกครั้ง

ในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการใช้วัสดุชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายด้วยกระบวนการทางชีวภาพมาเป็นตัวดูดซับ ในที่นี้เลือกใช้ไคตินและไคโตซานจากแกนหมึก ซึ่งมีคุณสมบัติที่โดดเด่น

และหลากหลาย ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตกตะกอน (flocculant and coagulation agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแสดงสภาพขั้วเป็นประจุบวกได้และจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น ไขมันและน้ำมัน สีข้อม และพอลิเมอร์อื่นๆ และทั้งไคตินและไคโตซานสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradable) จึงเป็นสารที่มีความปลอดภัยสำหรับใช้กับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไคติน และไคโตซานเป็นวัสดุที่สามารถสกัดได้จากแกนหมึกกล้วยซึ่งมีราคาถูก หาง่าย และเป็นวัสดุธรรมชาติ และมีคุณสมบัติในบำบัดน้ำเสีย



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยวิธีแบบเบตซ์
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในการดูดซับน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
3. เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับแกนหมึกกล้วยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง

การตรวจเอกสาร

1. แหล่งที่มาและคุณลักษณะของน้ำเสีย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้ให้คำนิยามว่าน้ำเสีย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2535)

ในส่วนของน้ำเสียชุมชน (domestic wastewater) หมายถึง น้ำเสียจากบ้านพักอาศัย อาคารร้านค้า โรงมหรสพ โรงแรม ฯลฯ เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ในการดำรงชีวิต อาทิ การชำระร่างกาย การซักเสื้อผ้า การประกอบอาหาร การขับถ่าย ฯลฯ สิ่งสกปรกต่างๆ ในน้ำทิ้งประเภทนี้ส่วนมากเป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร สบู่ ผงซักฟอก อุจจาระและปัสสาวะ เป็นต้น (เสริมผลและ ไชยยุทธ, 2524) ส่วน กรมควบคุมมลพิษ (2537) ได้กล่าวไว้ว่า น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยขนาดต่างๆ โรงแรม ตลาด รวมทั้งสำนักงานและสถานที่ทำงานนานาชนิด น้ำเสียประเภทนี้เกิดจากกิจกรรมในการดำรงชีวิตของมนุษย์

1.1 น้ำเสียชุมชน (domestic wastewater)

น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ น้ำส้วม (toilet waste) ซึ่งมีสิ่งขับถ่ายจากร่างกายปนอยู่ และน้ำทิ้งจากกิจกรรมอื่นๆ (sewage) เช่น การประกอบอาหาร การชำระร่างกาย เป็นต้น

เปี่ยมศักดิ์ (2539) กล่าวว่าน้ำโสโครกของแหล่งชุมชน สามารถแยกออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. Sanitary wastewater คือ น้ำโสโครกที่ถูกปล่อยออกจากบ้านเรือน เป็นน้ำโสโครก ซึ่งรวมทั้งน้ำจากห้องน้ำ ห้องครัว และน้ำซักเสื้อผ้า

2. Domestic wastewater คือ น้ำโสโครกที่ถูกปล่อยออกมาจากชุมชนซึ่งรวมถึงน้ำทิ้งของบ้านเรือน ตลาด และโรงพยาบาล

3. Municipal wastewater คือ น้ำโสโครกที่อยู่ในท่อน้ำโสโครกเทศบาลเมือง ตามปกติแล้วจะมีแต่น้ำโสโครกที่ถูกปล่อยมาจากชุมชน แต่บางแหล่งเทศบาลอนุญาตให้โรงงาน อุตสาหกรรมย่อยถ่ายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำรวมกับน้ำเสียชุมชนได้ น้ำโสโครกในท่อระบายจึงมีความสกปรกมากขึ้น โดยปกติแล้วในต่างประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา น้ำเสียประเภท municipal wastewater จะมีน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กปนอยู่ประมาณ 20%

4. Combined wastewater คือ น้ำโสโครกที่ประกอบด้วย domestic wastewater น้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และน้ำล้นผิวถนน (storm water runoff) ตัวอย่างน้ำโสโครกชนิดนี้ ได้แก่ น้ำโสโครกที่อยู่ในท่อระบายน้ำโดยทั่วไปของกรุงเทพมหานคร

1.1.1 ลักษณะและปริมาณน้ำเสียชุมชน

ลักษณะน้ำเสียชุมชน เกรียงศักดิ์ (2536) กล่าวว่า ปริมาณน้ำจริง (water content) ในน้ำเสียมีสูงมาก (ร้อยละ 99.9 หรือมากกว่า) ซึ่งหมายความว่า ค่าจำนวนของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียมีอยู่เพียงร้อยละ 0.1 หรือน้อยกว่า ของแข็งเหล่านี้ประกอบไปด้วย เชื้อโรค เศษอาหาร สบู่ ไขมันต่างๆ และสิ่งอื่นๆอีกหลายชนิด ซึ่งรวมไปถึงสารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ได้แก่ ทรา ย กรวด หิน ส่วนสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ลิ ก นิน (สารประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนซึ่งพบในไม้ต่างๆ) ไขมัน สบู่ ผงซักฟอก ส่วนสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียประกอบไปด้วยเกลือ และแร่ธาตุต่างๆ เช่น คลอไรด์ ซัลเฟต เกลือที่ละลายน้ำได้ กรวด ทรา ย และอื่นๆ

1) ลักษณะของน้ำเสีย

สิ่งสกปรกในน้ำเสียเป็นสิ่งที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำเสียให้มากที่สุด เพื่อให้ น้ำนั้นมีสภาพที่ดีขึ้นก่อนที่จะปล่อยออกไปสู่แหล่งน้ำอื่นๆ หรือสภาพแวดล้อมโดยทั่วไป ซึ่งธงชัย และวิบูลลักษณ์ (2540) ได้อธิบายว่าสิ่งที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียโดยทั่วไปมีดังนี้คือ

(1) สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เศษข้าว พืชผัก ฯลฯ

(2) สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็นแต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต หรือเป็นอุปสรรคในกระบวนการผลิตน้ำประปา ได้แก่ คลอไรด์

ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ เป็นต้น

(3) โลหะหนักและสารพิษอื่นๆ โดยอาจจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ปรอท แคดเมียม ทองแดง ปกติจะมาจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อนจากกับน้ำทั้งจากการเกษตร สำหรับเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษเหล่านี้จากอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล ฯลฯ

(4) น้ำมันและสารลอยน้ำต่างๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงและกีดขวางการละลายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่ น้ำ และทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู

(5) ความร้อน ทำให้อุณหภูมิของน้ำเสียสูงขึ้น มีผลทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์และลดระดับการละลายของออกซิเจนในน้ำ

(6) ของแข็ง ประกอบด้วยของแข็งแขวนลอย (suspended solids) ตะกอนหนัก (settleable solids) และของแข็งละลายน้ำ (dissolved solids) ซึ่งเมื่อจมตัวลงสู่ก้นลำน้ำทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูง มีผลกระทบต่อ การดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในน้ำและการนำน้ำไปใช้ประโยชน์

(7) สีและความขุ่น มักเกิดจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ กระดาษฟอกหนัง และโรงฆ่าสัตว์ สีและความขุ่นจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงในลำน้ำและทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู

(8) กรดและด่าง สามารถวัดโดยค่าพีเอช (pH) ค่าพีเอชมากกว่า 7 หมายถึงสภาพเป็นด่าง ค่าพีเอชน้อยกว่า 7 หมายถึงสภาพเป็นกรด น้ำสะอาดจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 ค่าพีเอชมีผลต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในน้ำและการนำน้ำไปใช้ประโยชน์

(9) สารก่อให้เกิดฟอง/สารชักฟอง ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดขวางการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่ น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อปลา

(10) จุลินทรีย์ (microorganism) น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์หรือ

โรงงานอาหารกระป๋องจะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้จะใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตทำให้สามารถลดระดับของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำได้ในระยะเวลานั้น ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

(11) สารกัมมันตรังสี อาจมาจากโรงพยาบาล หรือองค์กรของรัฐบาลเป็นสารอันตรายเมื่อสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิต และก่อให้เกิดมะเร็งได้

(12) ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ถ้ามีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตเกินขีดของสาหร่าย (algae boom) ซึ่งจะลดระดับออกซิเจนในน้ำในช่วงเวลากลางคืนและทำให้เกิดวัชพืชน้ำซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำและการนำน้ำไปใช้

(13) กลิ่น เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ หรือกลิ่นอื่นๆจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

2) ปริมาณน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

ปริมาณน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนต่างๆ ย่อมมีความแตกต่างออกไป ตามลักษณะของประเภทอาคาร และตามลักษณะของระบบประปา คนที่อาศัยในบ้านพักแบบทันสมัยที่มีมาตรฐานการครองชีพสูงจะใช้น้ำมากกว่าคนที่อาศัยในบ้านพักแบบเก่าที่มีมาตรฐานการครองชีพต่ำ

ปราณี (2537) รายงานว่า ปริมาณน้ำทิ้ง ที่ทิ้งจากอาคารมีค่าประมาณร้อยละ 70-80 ของปริมาณน้ำประปาที่ใช้ โดยประเมินจากประชากรหรือพื้นที่อาคาร เช่น 179 ลิตรต่อคนต่อวัน สำหรับที่อยู่อาศัย 25 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน สำหรับภัตตาคาร เป็นต้น ในเขตเทศบาลขนาดใหญ่ ปริมาณน้ำเสียรวมจากชุมชน 200 ลิตรต่อคนต่อวัน ในเขตเทศบาลขนาดเล็กปริมาณน้ำเสียรวมจากชุมชน 150 ลิตรต่อคนต่อวันและอัตรารั่วซึมของน้ำใต้ดินเข้าสู่ท่อน้ำเสียร้อยละ 20 ของปริมาณน้ำเสีย

ตารางที่ 1 สมมูลประชากรสำหรับน้ำเสียจากอาคาร ในเขต กทม. และปริมณฑล

ลักษณะอาคาร	ลิตร/วันหน่วย	บีโอดี กรัม/วัน-หน่วย	หน่วย
อาคารชุด/บ้านพัก	520	48	ยูนิต
โรงแรม	1061	123	ห้อง
หอพัก	78	76	ห้อง
สถานบริการ	410	26	ห้อง
หมู่บ้านจัดสรร	170	12.6	คน
โรงพยาบาล	800	94	เตียง
ภัตตาคาร	25	53	ตารางเมตร
ตลาด	69	21	ตารางเมตร
ห้างสรรพสินค้า	4.6	0.27	ตารางเมตร
สำนักงาน	2.54	0.09	ตารางเมตร

หมายเหตุ ค่า “สมมูลประชากร” คือค่าความสกปรกหรือมลสารในรูปสารอินทรีย์ที่วัดได้ โดยหน่วยวัดบีโอดี อันเกิดจากการดำเนินชีวิตของคนๆ หนึ่ง ในสภาพสังคมหนึ่ง

ที่มา: ปราณี (2537)

ตารางที่ 2 ลักษณะของน้ำเสียรวมจากแหล่งชุมชน

ลักษณะ	มิลลิกรัม/ลิตร
บีโอดี (BOD ₅)	520
สารแขวนลอย (SS)	1061
ไนโตรเจน (Total N)	78
ฟอสฟอรัส (P)	410
น้ำมันและไขมัน (Fat, oil and Grease)	170

ที่มา: ปราณี (2537)

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ามีอาการประเภทใดอยู่ในแหล่งชุมชนนั้นมากหรือน้อยต่างกัน ตามการสำรวจในปัจจุบันและการคาดคะเนตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจในอนาคตด้วย

สุรศักดิ์ (2540) กล่าวว่า จากการตรวจวัดปริมาณน้ำเสียพบว่า ในปี พ.ศ. 2540 น้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรีมีปริมาณเฉลี่ยวันละ 1,731.2 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อคำนวณอัตราการผลิตน้ำเสียของประชากรในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีโดยใช้ประชากรทั้งหมดที่มีอยู่ในเขตเทศบาลเมืองเพชรบุรีจำนวน 31,462 คน พบว่าอัตราการผลิตน้ำเสียของประชากรเท่ากับ 55 ลิตร/วัน/คน ซึ่งอัตราการผลิตน้ำเสียนี้มีค่าต่ำกว่าอัตราการผลิตน้ำเสียของประชาชนในชุมชนอื่นๆ ของประเทศไทยมากและต่ำกว่าการประมาณการของเทศบาลเมืองเพชรบุรี เนื่องจากระบบท่อระบายน้ำย่อยภายในเขตเทศบาลยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ย่อยส่วนต่างๆ ของเขตเทศบาลจึงมีน้ำเสียบางส่วนยังไม่ได้ไหลมารวมที่บ่อบำบัดน้ำเสียรวม และน้ำเสียบางส่วนไม่ได้ไหลลงสู่ระบบระบายน้ำของเทศบาล

2. สารอินทรีย์

2.1 การจำแนกสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ หมายถึง สารที่มีคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่และรวมถึงอนุพันธ์ของมัน มักมีออกซิเจน ไนโตรเจนและธาตุอื่นๆ ประกอบด้วย โดยทั่วไปมีธาตุองค์ประกอบโดยน้ำหนักที่สำคัญคือ คาร์บอนร้อยละ 58 ไฮโดรเจนร้อยละ 10 ออกซิเจนร้อยละ 20 ไนโตรเจนร้อยละ 5 ฟอสฟอรัสและกำมะถันอย่างละร้อยละ 1 นอกจากนั้นเป็นสารอื่นๆ อีกเล็กน้อย (Black *et al.*, 1965; Jackson, 1958)

นภวรรณ (2535) ได้จำแนกสารอินทรีย์ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. สารอินทรีย์จากสิ่งมีชีวิตซึ่งมี 2 แหล่งใหญ่ ดังนี้

1) ซากของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะถูกล่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ และจะได้ธาตุอาหารกลับไปเป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตต่อไป

2) สิ่งขับถ่ายจากสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะจากคนและสัตว์เลี้ยง ซึ่งจะเป็นสารอินทรีย์ที่มักก่อให้เกิดปัญหากับแหล่งน้ำ

2. สารอินทรีย์จากกิจกรรมอื่นๆ นอกเหนือจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต เช่น กากเชื้อเพลิง น้ำมัน สารกำจัดศัตรูพืช ของเสีย วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมหลายชนิด ซึ่งจุลินทรีย์ย่อยได้ยาก

2.2 สารอินทรีย์ในน้ำเสีย

สารอินทรีย์เป็นสารมลพิษทางน้ำ (water pollutant) ประเภทหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งสารอินทรีย์ที่มักพบในน้ำเสียมียหลายประเภท ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน สารลดแรงตึงผิว สารประกอบอินทรีย์ระเหย และสารเคมีทั้งใช้ในการเกษตรและสารปราบศัตรูพืชและสัตว์ เป็นต้น ซึ่งเมื่อสารเหล่านี้ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียมากก็ย่อมทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มากตามไปด้วย (พัฒนา, 2539) ซึ่งณรงค์ (2525) ได้แบ่งสารอินทรีย์ในน้ำเสียออกเป็นหลายประเภท ดังนี้

1. สารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย (biologically oxidizable organic substances or biodegradable organics) ได้แก่ สารอินทรีย์ที่เป็นสารอาหารของจุลินทรีย์ เช่น แป้ง น้ำตาล โปรตีน เป็นต้น สามารถกำจัดได้โดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในน้ำเสีย

2. สารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์ได้ยาก (nonbiodegradable organics or biologically predurant organic substance) เช่น พลาสติกฟอก ยากฆ่าแมลงบางชนิด และพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนซึ่งไม่ถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์

3. สารอินทรีย์บางชนิดที่มีปริมาณน้อย (trace organics) ได้แก่ สารอินทรีย์บางชนิดที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ถึงแม้มีปริมาณน้อยแต่ทำให้เกิดกลิ่นและรสในแหล่งน้ำได้ เช่น ฟีนอล

ในน้ำเสียมักจะมีสารอินทรีย์ปะปนเป็นจำนวนมาก ในบางครั้งอาจทำให้น้ำมีสีที่ผิดไปจากธรรมชาติ สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียนั้นมีทั้งที่ละลายน้ำได้ (soluble organic matter) และที่

ละลายน้ำไม่ได้ซึ่งอยู่ในรูปแวนลอย (particulate organic matter)

Hammer (1986) ได้จำแนกสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในน้ำเสียชุมชนออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. คาร์โบไฮเดรต ในน้ำเสียมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 25-50 ได้แก่ น้ำตาล แป้ง จะมีมากในข้าว ข้าวโพด มันฝรั่ง ส่วนเซลลูโลสจะพบในเยื่อไม้ ฝ้าย กระดาษ และเนื้อเยื่อของพืช เป็นต้น เซลลูโลสจะสลายตัวได้ช้ากว่าแป้ง น้ำตาลเมื่อละลายน้ำจะถูกย่อยโดยแบคทีเรียได้เป็นแกลกอสอล คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

2. โปรตีน ในน้ำเสียมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 40-60 เป็นอาหารจำเป็นของมนุษย์ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการสร้างเนื้อเยื่อ พบในพวกเนื้อสัตว์ นอกจากนี้มักจะพบยูเรีย ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนในน้ำเสมอ ทั้งโปรตีนและยูเรีย จะถูกย่อยสลายเป็นสารประกอบไนเตรท คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุด

3. ไขมัน เป็นสารที่ละลายน้ำได้น้อย จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายได้ในอัตราที่ช้า ไขมันเป็นสารประกอบเอสเทอร์ (ester) ของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน ในน้ำเสียมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 10

2.3 ผลกระทบของสารอินทรีย์ในน้ำต่อสิ่งแวดล้อม

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่เหมาะสมในแหล่งน้ำย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่นปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำน้อยเกินไป ทำให้แหล่งน้ำนั้นขาดความอุดมสมบูรณ์ย่อมส่งผลกระทบต่อ การดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตในน้ำบางชนิดใช้สารอินทรีย์ในการดำรงชีพ แต่ถ้าแหล่งน้ำมีปริมาณสารอินทรีย์มากเกินไป อันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง ทำให้การสะสมสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำเป็นปริมาณมากเกินไปกว่าที่น้ำจะสามารถปรับสภาพตัวเองได้ จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษในแหล่งน้ำ 3 ประการ คือ

2.3.1 การลดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจุลินทรีย์ชนิดแอโรบิก แบคทีเรีย (aerobic bacteria) และแฟคัลเตติฟ แบคทีเรีย (facultative bacteria) จะใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณการเติมออกซิเจนลงในแหล่งน้ำน้อย

กว่าปริมาณที่จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำ ในที่สุดจะไม่มีปริมาณออกซิเจนอยู่ในน้ำ ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำโดยเกิดอาการเครียดหรือตายได้ ทั้งนี้เพราะสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำทุกชนิดต้องการใช้ออกซิเจนในการหายใจ และในกระบวนการเมตาบอลิซึม

2.3.2 การเพิ่มปริมาณของเสียในน้ำ ที่สำคัญได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และแอมโมเนีย (NH_3) โดยไฮโดรเจนซัลไฟด์จะไปรวมตัวกับโลหะหนักในแหล่งน้ำ ทำให้น้ำมีกลิ่นเหม็น ส่วนแอมโมเนียที่ได้จะถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียไนโตรโซโมแนส กลายเป็นไนไตรต์และถูกออกซิไดซ์ต่อโดยแบคทีเรียไนโตรแบคเตอร์กลายเป็นไนเตรต แอมโมเนียที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำต่อเมื่ออยู่ในรูปไม่แตกตัว คือ NH_3 โดยความทนทานของสัตว์น้ำต่อปริมาณแอมโมเนียจะขึ้นกับชนิด สภาพทางสรีระวิทยาของสัตว์น้ำและปัจจัยทางสภาพแวดล้อม

2.3.3 เป็นแหล่งสะสมเชื้อโรคและสารพิษอื่น ๆ เช่น จุลินทรีย์หลายชนิดที่เป็นพิษ (เชื้อโรคต่าง ๆ) และอาจเกิดแพลงก์ตอนพวกไดโนแฟลกเจลเลตขึ้นอย่างมากมาย อันจะมีผลเสียต่อสัตว์น้ำเป็นจำนวนมาก ส่วนในพื้นที่ป่าไม้ทุกชนิดต่างก็มีส่วนเกี่ยวข้องโดยเฉพาะจากธาตุอาหารส่วนเกินและสารอินทรีย์ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายซากพืชและสัตว์ในป่าที่ไหลปนไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดินและเกษตรกรรมประเภทกิจกรรมการเกษตรที่ก่อให้เกิดความสกปรกในรูปปิไอดี เช่น นาข้าว พืชไร่การเลี้ยงสัตว์ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำผลกระทบของการทำการเกษตรต่อคุณภาพน้ำสำหรับการปลูกพืชที่ก่อให้เกิดการกักตุนของดิน ได้แก่ การเพาะปลูกพืชไร่ต่าง ๆ เช่น ข้าวไร่ มันสำปะหลัง ข้าวโพด ฯลฯ การเพาะปลูกพืชไร่เหล่านี้ หากไม่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำแล้วจะทำให้เกิดการพังทลายของดินนอกจากความชุ่มชื้นจากตะกอนซึ่งเกิดจากการพังทลายของดินแล้วพื้นที่การใช้ประโยชน์ในการเกษตร เช่น การทำนา การทำสวน และการทำไร่ น้ำทิ้งที่ระบายจากพื้นที่ดังกล่าวประกอบด้วย สารอินทรีย์จากการใช้ปุ๋ยชนิดต่างๆ และสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์

3. ไขมันและน้ำมัน (Fat and Oil)

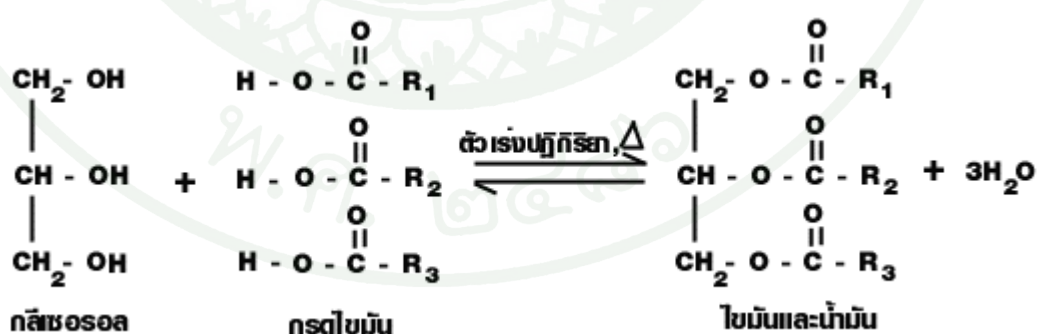
ไขมันและน้ำมันเป็นสารกลุ่มเดียวกันที่เรียกว่า ลิพิด (Lipid) โดยทั้งไขมันและน้ำมันเป็นสารที่มีสมบัติใกล้เคียงกัน คือ เป็นสารที่มีองค์ประกอบหลักเป็นธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ไม่ละลายน้ำ เมื่ออยู่ในน้ำจะแยกออกจากน้ำเป็นชั้น แต่สามารถละลายได้ดีในสารที่เป็นน้ำมัน หรือในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด เช่น แอลกอฮอล์ เป็นต้น ซึ่งไขมันจะมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ส่วนน้ำมันจะมีสถานะเป็นของเหลว โดยทั้งไขมันและน้ำมันเป็นสาร

ที่มีบทบาทต่อชีวิตของเราเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นสารที่นิยมใช้ในการประกอบอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติของอาหาร ทำให้อาหารมีกลิ่นหอมน่ารับประทาน

ไขมันและน้ำมันสามารถพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ โดยในพืชมักจะพบในส่วนของเมล็ด เช่น มะพร้าว มะกอก ปาล์ม ถั่วเหลือง งา เมล็ดฝ้าย เป็นต้น ส่วนในสัตว์จะมีการสะสมไขมันไว้ตามเนื้อเยื่อใต้ผิวหนังบริเวณช่องท้องและส่วนอื่น ๆ เช่น ไขมันโค ไขมันหมู ไข่แดง เป็นต้น

3.1 สมบัติและปฏิกิริยาบางประการของไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมัน (Fat and Oil) เป็นเอสเทอร์ชนิดหนึ่งซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติ จัดว่าเป็นสารอินทรีย์ประเภทเดียวกับไข (Wax) รวมเรียกว่า ไลปิด (Lipid) ไลปิด เป็นเอสเทอร์ที่โมเลกุลมีขนาดใหญ่ไม่มีขั้วจึงไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายไม่มีขั้ว คือตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ โพรพานอน เบนซีน เป็นต้น ไลปิดซึ่งแบ่งเป็นไขมันและน้ำมันนั้นอาศัยสถานะเป็นเกณฑ์ ไขมันจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่น้ำมันจะเป็นของเหลว ทั้งไขมันและน้ำมันมีโครงสร้างอย่างเดียวกัน คือ เป็นเอสเทอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอล กับกรดไขมันกลีเซอรอล (glycerol) เป็นสารประเภทแอลกอฮอล์ กรดไขมัน (fatty acid) เป็นสารประเภทกรดอินทรีย์ เอสเทอร์ที่เป็นไขมัน และน้ำมัน เรียกกันทั่ว ๆ ไปว่ากลีเซอไรด์ (glyceride) หรือกลีเซอรอล เอสเทอร์ (glyceryl ester) ปฏิกิริยาการเตรียมไขมันและน้ำมันเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



ภาพที่ 1 สูตรทั่วไปของไขมันและน้ำมัน

หมู่อัลคิล (R) ทั้ง 3 หมู่ ในไขมันหรือน้ำมัน อาจจะเป็นชนิดเดียวกัน หรือต่างกันได้ อาจจะเป็นสารประเภทอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวก็ได้ ไขมันและน้ำมันพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ โดยในพืชส่วนใหญ่จะพบอยู่ในเมล็ดและในผล เช่น มะพร้าว ถั่วลิสง ถั่วเหลือง มะกอก ปาล์ม เมล็ดฝ้าย และเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น ในสัตว์จะพบในไขมันสัตว์ ซึ่งสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมัน เช่น ไขมันวัว หมู และ เป็นต้น

โมเลกุลของไขมันและน้ำมันมีส่วนที่มีขั้วกับส่วนที่ไม่มีขั้ว และมีหมู่แอลคิลที่มาจากกรดไขมันต่างชนิดกัน จึงทำให้ไขมันและน้ำมันมีสมบัติบางประการแตกต่างกัน ไขมันและน้ำมันละลายได้ดีในเฮกเซน ละลายได้น้อยในเอทานอล และไม่ละลายในน้ำ เนื่องจากไขมันและน้ำมันมีส่วนโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว จึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วหรือตัวทำละลายอินทรีย์ ลักษณะทั่วไปของน้ำมันและไขมันจะมีน้ำหนักเบาและลอยน้ำ

3.2 ลักษณะสมบัติของไขมันและน้ำมันในน้ำเสียชุมชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

น้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่พบในน้ำเสียชุมชน โดยมีปริมาณร้อยละ 10 ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) น้ำเสียชุมชนที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อนส่วนใหญ่มาจาก กิจกรรมการประกอบอาหารและจากสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีสารไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ก่อให้เกิดปัญหาน้ำมันและไขมันลอยออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก โดยอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำผิวดิน ทำให้เกิดสภาพไม่น่าดูและขวางกั้นการซึมผ่านของออกซิเจนจากอากาศลงสู่แหล่งน้ำ ส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียตามมาได้

3.2.1 ปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชน ปริมาณน้ำมันและไขมันที่ได้จากบ่อดักไขมันนั้นมีปริมาณแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษ และปริมาณน้ำที่ใช้ น้ำมันและไขมันมีปริมาณมากที่สุดในน้ำทิ้งจากกลุ่มภัตตาคารและมีปริมาณน้อยที่สุดในน้ำทิ้งจากกลุ่มหอพัก (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

3.2.1.1 บ้านเรือนและสำนักงาน มีปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำทิ้ง 500 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเกิดจากการประกอบอาหาร และปริมาณ ไขมันที่ได้จากถังดักไขมันอยู่ที่ 0.8 และ 0.2 กิโลกรัม/วัน/หลัง ซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการปรุงและไม่ได้ดัดแปลงเศษอาหาร

3.2.1.2 สถานประกอบการร้านอาหาร น้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย จากร้านอาหารมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) และค่าความเข้มข้นของน้ำมันและไขมันเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่ (ประสิทธิ์, 2545)

3.2.1.3 สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง มีปริมาณน้ำมันและไขมัน แตกต่างกัน มากระหว่างสถานีบริการแต่ละแห่ง โดยมีค่าเฉลี่ย 90 - 63,000 มิลลิกรัม/ลิตร

3.3 ผลกระทบจากการปนเปื้อนของน้ำมันที่อยู่ในแหล่งน้ำ

เมื่อน้ำมันและไขมันได้เกิดการไหลลงสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตที่เป็นพืชหรือสัตว์ในระบบนิเวศ ทำให้เกิดการย่อยสลาย การระเหย เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดผลกระทบต่าง ๆ ดังนี้

3.3.1 ทำลายสิ่งมีชีวิตในน้ำ ได้แก่ สัตว์น้ำทุกชนิด ปะการัง และพืชน้ำอื่น ๆ เช่น สัตว์จำพวกหอย ปู ปลา เป็นต้น ลักษณะความเป็นพิษอาจเกิดจากการสัมผัสคราบน้ำมันโดยตรง หรือเกิดจากการขาดออกซิเจนเนื่องจากน้ำมันไปขัดขวางการละลายของก๊าซออกซิเจนสู่แหล่งน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง ขณะเดียวกันน้ำมันบางประเภทก็จะปิดกั้นแสงสว่างที่ส่องลงมาสู่พื้นท้องน้ำ มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ และสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยเฉพาะพวกแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ ซึ่งทำให้ปริมาณอาหารของสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารหลายชนิดลดลง นอกจากนี้พืชน้ำบริเวณชายฝั่งเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของนกและสัตว์น้ำอื่น ๆ อาจได้รับพิษจากการดูดซึมน้ำมัน

3.3.2 ทำลายแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากน้ำมันเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ทำให้แหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ ปลา กุ้ง หอย ฯลฯ อาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ถ้าเกิดการปนเปื้อนของน้ำมันในปริมาณความเข้มข้นระหว่าง 1-3 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลานานกว่า 96 ชั่วโมง (Powell, E., 1997) นอกจากนี้ เมื่อคราบน้ำมันถูกพัดเข้าหาฝั่งบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่อการเพาะเลี้ยงหอย การเลี้ยงปลาในกระชังได้เนื่องจากสัตว์น้ำเหล่านี้ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

3.2.3 ทำลายระบบนิเวศน์ป่าชายเลน ป่าชายเลนเป็นแหล่งเศรษฐกิจที่สำคัญ เป็นที่อยู่ของสัตว์น้ำและสัตว์บก เป็นแหล่งอาหารที่สมบูรณ์ เป็นแหล่งวางไข่ และแหล่งอนุบาลสัตว์ในวัยอ่อน ถ้าคราบน้ำมันเคลื่อนตัวเข้าสู่ป่าชายเลน การกำจัดน้ำมันจะกระทำไม่ได้ยากมาก เนื่องจากการใช้เครื่องมือถูกจำกัด ทำให้คราบน้ำมันคงตัวอยู่นาน ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตแทบทุกชนิดรวมทั้งป่าชายเลน ป่าชายเลนมีความอ่อนไหวต่อน้ำมัน เพราะรากต้นไม้ในบริเวณป่าชายเลนไม่สามารถหายใจได้ ทำให้ต้นไม้ตายในเวลาอันรวดเร็ว หรือส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโต

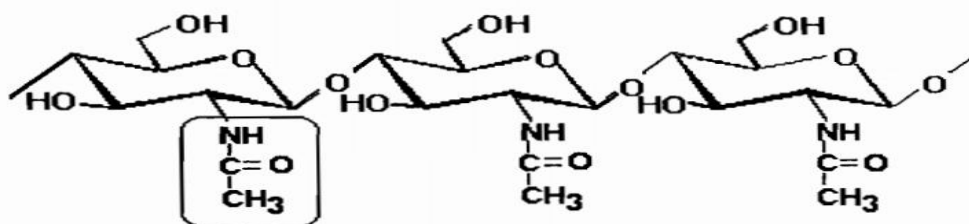
3.2.4 ด้านสุนทรียภาพและความงามของแหล่งท่องเที่ยว คราบน้ำมันที่ถูกพัดพาขึ้นสู่ฝั่งไปติดตามชายหาด จะทำให้เกิดสภาพสกปรกไม่น่าดู กระตุ้นเศรษฐกิจการท่องเที่ยวทำให้ไม่เหมาะสมต่อการพักผ่อน ก่อความรำคาญและทำลายทรัพย์สิน และรายได้ของชุมชน

3.2.5 ผลกระทบต่อสัตว์น้ำและสัตว์ที่อาศัยพื้นที่ท้องทะเล โดยคราบน้ำมันจะเคลือบปีก ขา ลำตัว ของสัตว์และถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกาย บางส่วนเข้าไปกับอาหาร นอกจากนี้ น้ำมันจะส่งผลกระทบต่อ การสืบพันธุ์ รวมทั้งการหยุดยั้งการเจริญเติบโต น้ำมันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในร่างกาย เช่น การเผาผลาญอาหารในร่างกายผิดปกติ พิษของน้ำมันทำให้การเจริญเติบโตลดลง การสืบพันธุ์สัตว์ผิดปกติ และพฤติกรรมการกินอาหารเปลี่ยนแปลงไป

4. ไคติน

4.1 ไคติน

ไคตินเป็นสารอินทรีย์ที่เกิดตามธรรมชาติมีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส ไคตินเป็นส่วนหนึ่งของผนังเซลล์สิ่งมีชีวิต มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fiber) ยืดสารต่างๆ ให้เป็นแผ่นและเป็นเส้น พบได้ทั่วไปในสิ่งมีชีวิตในเปลือกของสัตว์ เช่น กุ้ง ปู แคนหมึก แมลงทุกชนิด ตัวไหม หอยมุก และผนังเซลล์ของพวกรา ยีสต์ และจุลินทรีย์อีกหลายชนิด ไคตินเป็นพอลิเมอร์สายยาวที่ประกอบขึ้นจากน้ำตาลหน่วยย่อย คือ N-acetyl-D-glucosamine มาเรียงต่อกันเป็นสาย ซึ่งจะประกอบด้วยหมู่อะมิโน ($-NH-CO-CH_3$) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของไคติน

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2552)

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของไคติน

ไคติน มีชื่อทางเคมีว่า Poly [β - (1 $\rightarrow$ 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose] หรือ Poly (N-Acetylglucosamine) มีสูตรทั่วไปคือ $(C_8H_{13}NO_5)_n$ ประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 47.29 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.45 ไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และออกซิเจนร้อยละ 39.37 โครงสร้างของผลึกมีความแข็งแรงสามารถวัดได้จากค่าระดับของผลึก (Degree of crystallinity) และแต่ละลักษณะของผลึกจะแตกต่างกันที่การเกิดระบบผลึก (Crystal system) และปัจจัยการเกิดแลตทิซผลึก (Crystal lattice) ของหน่วยเซลล์ภายในโครงสร้างผลึก (Crystal structure) ความแตกต่างนั้นเป็นผลมาจากการเรียงตัวของโมเลกุล ซึ่งไคตินในแต่ละแหล่งจะมีโครงสร้างและสมบัติแตกต่างกันโดยแบ่งตามลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ

4.2.1 แบบอัลฟา (α -chitin) มีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะสวนทางกัน และพบว่ามีความคล้ายคลึงกับการจัดเรียงตัวภายในแลตทิซผลึกเซลล์ูโลส ไคตินชนิดนี้มีความแข็งแรงสูง มีเสถียรภาพทางเคมี มีการเกิดพันธะไฮโดรทั้งภายในสายโซ่และระหว่างสายโซ่ของโมเลกุล (Intramolecular and intermolecular chain) มากที่สุดในบรรดาไคตินทั้ง 3 ชนิด

4.2.2 แบบเบตา (β -chitin) มีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในทิศทางเดียวกัน จึงจับกันได้ไม่ค่อยแข็งแรง มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากกว่าแบบ (α -chitin) แต่ในทางกลับกันการสลายของสายโซ่โมเลกุลก็สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายเช่นกัน ลักษณะของความมีเสถียรภาพทางเคมีรอง

มาจาก (α -chitin) เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่า การที่ (β -chitin) มีเสถียรภาพน้อยกว่าทำให้มันสามารถเปลี่ยนรูปร่างจาก (β -chitin) ไปเป็น (α -chitin) ได้ในสารละลายกรดแก่ เช่น กรดเกลือ นอกจากนี้ยังทำให้มีโอกาสในการที่จะจับกับโมเลกุลของน้ำได้อย่างถาวร ซึ่งนำไปสู่การเกิดเป็นไคตินที่มีน้ำอยู่หนึ่งโมเลกุลได้อีกทาง ไคตินชนิดนี้ได้แก่ ไคตินจากแกนหมึก

4.2.3 แบบแกมมา (γ -chitin) เป็นโครงสร้างผสมระหว่างเบตา-ไคติน และแกมมา-ไคตินมาเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะที่ไม่แน่นอน (สวนทางกันสลับกับทิศทางเดียวกัน) มีความแข็งแรงรองจากแบบอัลฟา ได้แก่ ไคตินจากเห็ด รา และพืชชั้นต่ำ

4.3 คุณสมบัติของไคติน

4.3.1 การละลาย (Solubility)

ไคตินเป็นของแข็งที่ไร้ประจุ (Non-electrolytic polymer) ไม่สามารถละลายในน้ำ กรดเจือจาง ด่างทั้งเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) เข้มข้น กรดซัลฟูริก (กรดกำมะถัน) กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 78-79 และกรดฟอร์มิกที่ปราศจากน้ำ (Anhydrous formic acid) ตัวทำละลายดังกล่าวข้างต้นมีผลทำให้โมเลกุลของไคตินเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวได้และการนำไปใช้ก็ค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นจึงนิยมใช้ไคตินในรูปของแข็งโดยตรง ระบบตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับไคตินคือ *N, N*-dimethylacetamide และ *N*-methylpyrrolidone หรือของผสมของตัวทำละลายทั้งสองร่วมกับ Lithium chloride (LiCl) ปริมาณเล็กน้อยประมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทำให้สามารถนำไคตินไปอัดรีด (extrude) ในแอลกอฮอล์หรืออะซิโตนได้เป็นเส้นใยที่ต่อเนื่องได้ และยังพบว่าระบบตัวทำละลายดังกล่าวสามารถปรับสภาพของไคตินที่สูญเสียสภาพธรรมชาติ (Denature) ไปแล้วให้กลับสู่สภาพเดิมได้ ส่วนสมบัติในการจับสีของไคตินจะขึ้นอยู่กับค่า pH โดยทั่วไปจะมีค่าคงที่ที่ pH 2.0-7.0 ซึ่งจะมีค่าจับสีเท่ากับ 0.8 มิลลิกรัมของสีต่อกรัมของไคติน

4.3.2 ความร้อนในการกระตุ้นให้เกิดการสลายพันธะแบบไฮโดรไลซิส (Hydrolytic heat of activation)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นปฏิกิริยาที่การสลายพันธะที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สายโซ่ของโพลิเมอร์ของไคตินมีลักษณะเช่นเดียวกันกับเซลลูโลสคือเป็นพันธะ Glycosidic linkage แบบ β -(1 $\rightarrow$ 4) ดังนั้น Hydrolytic heat of activation ของไคตินมีค่าประมาณ 29 kcal

4.3.3 น้ำหนักโมเลกุล

ไคตินในธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่า 1×10^6

4.3.4 ค่าระดับของการเกิดดีอะซีไทเลชัน (Degree of deacetylation, %DD)

เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคติน เนื่องจากไคตินเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ *N*-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์แรกมากกว่าคือมีค่า %DD ต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของไคติน

4.3.5 การเสื่อมสลาย (Degradation)

ไคตินเมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ (Oligomer) หรือ โอลิโกแซ็กคาไรด์ (Oligosaccharide) และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่าโมโนเมอร์ (Monomer) หรือ โมโนแซ็กคาไรด์ (Monosaccharide) โอลิโกเมอร์/โอลิโกแซ็กคาไรด์ของไคติน คือ *N*-acetyl-chitooligosaccharide ส่วนโมโนเมอร์/โมโนแซ็กคาไรด์ คือ *N*-acetyl-D-glucosamine

4.3.6 การเสื่อมสลายโดยกรด (Acid hydrolysis)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคติน จะสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายกรดได้ดีกว่าไคโตซาน

4.3.7 การเสื่อมสลายโดยด่าง (Alkaline degradation)

การเชื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ในต่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุลการเชื่อมสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างว่า Peeling reaction

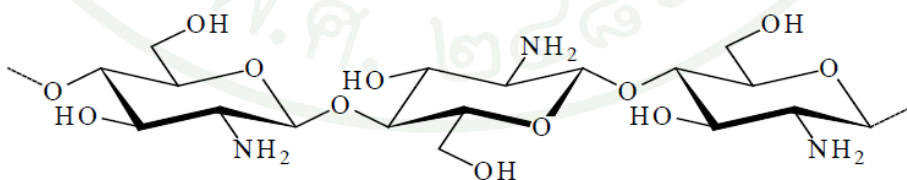
4.3.8 การเชื่อมสลายด้วยเอนไซม์ (Enzymic degradation)

การเชื่อมสลายด้วยเอนไซม์ในไคตินมีข้อดีมากกว่าการใช้สารเคมี เอนไซม์ที่ย่อยสลายในไคตินมี 2 ชนิด ได้แก่ Chitinase สามารถย่อยสลายโซ่โมเลกุลของไคตินแบบสุ่ม (Random) ตรงตำแหน่งพันธะ (-1,4-linkage) ได้เป็น *N*-acetyl-chitooligosaccharide และ Lysozyme เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่คล้ายกับ Chitinase *N*-acetyl-glucosaminidase และ *N*-acetyl-hexosaminidase ทำหน้าที่ย่อยสลาย *N*-acetyl-chitooligosaccharide เป็น *N*-acetyl-glucosaminidase โดยเริ่มจากปลายสายโซ่โมเลกุล (Non-reducing end)

5. ไคโตซาน

5.1 ไคโตซาน

ไคโตซาน คือ สารโพลิเมอร์ชีวภาพที่สกัดจากไคติน ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างที่สำคัญของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังได้แก่ สัตว์ในกลุ่มอาร์โทพอด เช่น กุ้ง ปู หอย รวมทั้งในผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เห็ด รา คือการนำเอาน้ำหนักของไคตินที่ตัดเอาหมู่ acetyl ของน้ำตาล *N*-acetyl-D-glucosamine ออกตั้งแต่ 50% ขึ้นไปและมีสมบัติละลายในกรดอ่อน มีชื่อทางเคมีว่า poly [β -(1 $\rightarrow$ 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างของไคโตซาน

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2552)

5.2 องค์ประกอบทางเคมีของไคโตซาน (พัฒน์, 2545)

ไคโตซานมีชื่อทางเคมีว่า Poly (2-Amino-2-deoxy-D-glucose] หรือ Poly (N-lucosamine) มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{12}NO_4)_n$ ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ มีความเสถียรสูง มีสี grayish-white สามารถเสถียรได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 260 °C จึงจะสลายตัว

5.2.1 Cationic properties

ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น Linear polyelectrolyte มีความหนาแน่นทางประจุสูง ใช้เป็น flocculant ที่มีประสิทธิภาพสูงได้เป็นอย่างดี สามารถยึดจับกับประจุลบที่ผิวได้ดีและยังสามารถจับโลหะเป็นพวง Chelates mutation ได้

5.2.2 Chemical properties

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สายตรงที่เป็นของแข็งที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (amorphous solid) มีหมู่เอมีโนที่พร้อมจะละลายในกรดอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อน เช่น กรดมะนาว (citric acid) เป็นต้น การละลายของไคโตซานมีคุณสมบัติสำคัญหลายอย่าง เช่น อยู่ในรูป Free amine จะไม่ละลายน้ำที่ pH เป็นกลาง และที่ pH เป็นกรด Free amine group ($-NH_2$) จะถูก protonate ได้เป็น cationic amine group ($-NH_3^+$) เป็นต้น

5.2.3 Chitosan solution properties

สารละลายไคโตซานในกรดอินทรีย์เกิดเป็นสายตรงของ polyamine ที่อยู่ในรูปของ protonated form ซึ่งมีความเข้มข้นของประจุบวกสูงและมีคุณสมบัติที่พร้อมจะทำปฏิกิริยากับชีวโมเลกุลที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี ไคโตซานไม่สามารถละลายได้ที่ pH มากกว่า 6.5 ความสามารถในการละลายของไคโตซานจะถูกจำกัดใน H_3PO_4 ไคโตซานไม่สามารถละลายในสารละลายอินทรีย์หลายๆ ชนิดได้

5.3 คุณสมบัติของไคโตซาน

5.3.1 การละลาย (Solubility)

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สายยาวที่มีประจุบวก (Cationic polymer) เนื่องจากมีหมู่อะมิโน (NH_2) และหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) สามารถทำปฏิกิริยาเคมีได้หลายชนิด ไคโตซานไม่ละลายในน้ำแต่จะละลายได้ดีในกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก กรดมาลิก กรดแลคติก กรดซิตริก เป็นต้น และสามารถละลายได้ในสารละลายที่มีพีเอชน้อยกว่า 5.5 สารละลายไคโตซานมีความเหนียว (Viscous) ความใส (Clear solution) มีพฤติกรรมแบบนอน-นิวโตเนียน สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นเยื่อบางได้ มีลักษณะของพลาสติกใสและยืดหยุ่นได้ ดังนั้นไคโตซานสามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น เป็นแผ่นเยื่อบาง (Membrane) เจล (Gel) เม็ด (Tablet) เส้นใย (Fibril) คอลลอยด์ (Colloid) และสารเคลือบ (Coating) เป็นต้น

5.3.2 น้ำหนักโมเลกุล

ไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^6 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิต

5.3.3 ค่าระดับของการเกิดดีอะซีทิลเลชัน (Degree of deacetylation, %DD)

เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคโตซาน เนื่องจากไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างสองโมโนเมอร์ของ *N*-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์ที่สองมากกว่าคือมีค่า %DD สูง ก็คือมีการกำจัดเอาหมู่อะซีทิล (Deacetylation) ของน้ำตาล *N*-acetyl-D-glucosamine ออกตั้งแต่ 50% ขึ้นไปจะแสดงสมบัติของไคโตซาน

5.3.4 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น %DD น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายพอลิเมอร์จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติก

จะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

5.3.5 การตกตะกอน (Coagulation ability)

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตกตะกอน (Flocculant and coagulation agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และพอลิเมอร์อื่นๆ นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถจับกับโลหะหนักได้ โดยไนโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้อิออนของโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อน (Coordinate) กับหมู่อะมิโนได้ ซึ่งความสามารถในการดูดซับอิออนของโลหะของไคโตซานยังขึ้นอีกหลายปัจจัย เช่น ความเป็นผลึก และความสามารถในการดูดซับน้ำของไคโตซาน

5.3.6 การเสื่อมสลาย (Degradation)

ไคโตซานเมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์ (Oligomer) หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide) เป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่าโมโนเมอร์ (Monomer) หรือ โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) โอลิโกเมอร์ /โอลิโกแซคคาไรด์ของไคโตซาน คือ Chitooligosaccharide ส่วนโมโนเมอร์/โมโนแซคคาไรด์ คือ D-glucosamine

5.3.7 การเสื่อมสลายโดยกรด (Acid hydrolysis)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานจากกรดเป็นแบบสุ่มผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ โอลิโกเมอร์ขนาดต่างๆ และโมโนเมอร์ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิดของกรด เวลา อุณหภูมิ

5.3.8 การเสื่อมสลายโดยด่าง (Alkaline degradation)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของพอลิแซคคาไรด์ในด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุลการเสื่อมสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างว่า Peeling reaction

5.3.9 การเสื่อมสลายด้วยความร้อน (Thermal degradation)

ความร้อนมีผลต่อคุณสมบัติของไคโตซาน ความร้อนแบบเตาอบซึ่งเป็นความร้อนแบบแห้ง (Dry heat) ที่อุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ส่วนความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ไคโตซานเกิดสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายของไคโตซานจะลดลงที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลานานกว่าหรือเท่ากับ 2 ชั่วโมง ไคโตซานจะไม่ละลายในกรดอะซิติก (0.2 M)/โซเดียมอะซิเตต (0.1M)

5.3.10 ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา (Reaction ability)

ไคโตซานประกอบด้วย 3 หมู่ฟังก์ชันที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา คือ หมู่อะมิโน ($-NH_2$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 (C-2) หมู่ Primary alcohol ($-CH_2OH$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 (C-6) และ Secondary alcohol ($-CHOH$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 (C-3) การปรับปรุงโครงสร้างทางเคมี (Chemical modification) ของทั้งสามหมู่ฟังก์ชันนี้สามารถก่อให้เกิดวัสดุต่างๆ ในการใช้งานที่แตกต่างกันมากมาย

5.4 คุณสมบัติของไคโตซานเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการบำบัดน้ำเสีย

ไคโตซานถูกพิจารณาในแง่ของสารที่เป็นเบสอ่อนที่มีคุณสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte สามารถเกิดประจุบวกจับกับสารที่มีประจุลบได้ เนื่องจากมีคู่อิเล็กตรอนอิสระบนหมู่อะมิโน ทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ให้สารละลาย และอนุพันธ์ต่างๆ ที่มีคุณสมบัติหลากหลายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง

ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น Linear polyelectrolyte มีความหนาแน่นทางประจุสูงจึงใช้ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอน และตกตะกอน (floculate and coaculating agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่อะมิโนที่สามารถจับสารที่เป็นประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และโพลิเมอร์อื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถจับกับโลหะหนักพวก Chelate metation ได้ เช่น ทองแดง เหล็ก และสังกะสีได้ โดยไนโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนโลหะ

สามารถสร้างพันธะเชิงซ้อน (coordinate) กับหมู่อะมิโน และมีงานวิจัยที่แสดงว่า ไอออนทองแดง (Cu^{2+}) สามารถสร้างพันธะเชิงซ้อนที่แข็งแรงที่สุด

6. กระบวนการดูดซับ

กระบวนการดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในก๊าซหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่น ๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอ ล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม ทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นถูกดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว จากนั้นนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ออกโดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

ดังนั้นกระบวนการดูดซับจึงเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปสะสมที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นที่ระหว่างของแข็งกับก๊าซ พื้นที่ระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นที่ระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับน้ำมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจากแหล่งฝังกลบ (landfill) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

6.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

6.1.1 การแพร่ภายนอก (external diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

6.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างตัวดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

6.1.3 ปฏิกริยาพื้นผิว (surface reaction) ปฏิกริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกดูดซับติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกริยาพื้นผิวด้วย

6.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล

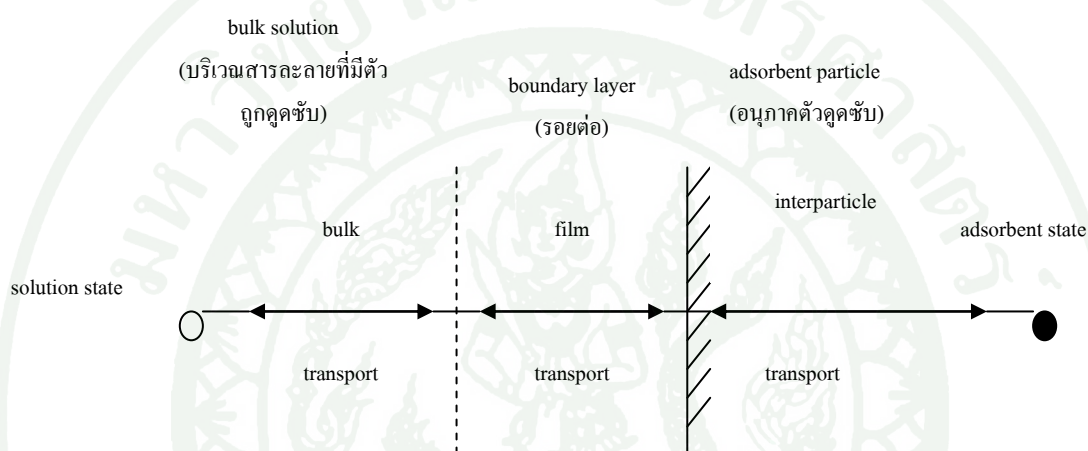
อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็ว อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีการต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

6.2.1 การขนส่งอนุภาค (bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของของเหลวบางๆ หรือผิวสัมผัสน้ำที่ห่อหุ้มตัวดูดซับ

6.2.2 การขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านฟิล์มน้ำไปยังผิวของตัวดูดซับ จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนนี้

6.2.3 การขนส่งภายในอนุภาค (interparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน

การยึดติดของตัวดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้งสองแบบ



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกละลายไปยังตัวดูดซับ

6.3 รูปแบบของการดูดซับ

6.3.1 การดูดซับทางกายภาพ (physisorption or physical adsorption or van der waals adsorption) เป็นผลมาจากปฏิกิริยาของแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (london dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) โมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น (multilayered) โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกจับก่อนหน้านี้ และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกละลายจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกละลายกับตัวดูดซับและระหว่างตัวถูกละลายกับตัวถูกละลายด้วยในระหว่างชั้น อาจเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์อย่างใดอย่างหนึ่ง การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลง เป็นการทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น

6.3.2 การดูดซับทางเคมี (chemisorption) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบเคมีซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการนี้มีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ (irreversible) ส่วนการดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับเองได้ (reversible) เนื่องจากการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2-10 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยประมาณ 15-50 กิโลแคลอรีต่อโมล และยังพบว่าค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของกระบวนการดูดซับทางเคมีมีค่ามากกว่าทางกายภาพ ด้วยเหตุผลนี้กระบวนการดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าทางเคมี

6.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

6.4.1 ความดันป่วน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ film diffusion หรือ pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความดันป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความดันป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับผิวจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเข้าไปหาสารดูดซับผิว ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับผิว ในตรงกันข้าม ถ้าความดันป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบาง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาสารดูดซับผิวได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับผิว

6.4.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับผิว ความสามารถในการดูดซับผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ สารดูดซับผิวที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับได้มากกว่าสารดูดซับผิวที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับผิวเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดสารดูดซับผิว เช่น คาร์บอนผง (Powder Activated Carbon, PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับผิวสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด (Granular Activated Carbon, GAC)

6.4.3 ขนาดและลักษณะของสารที่ถูกดูดซับผิว ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับผิว ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของสารดูดซับผิว เช่น คาร์บอน การดูดซับผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอลิ (พอลิเข้าไปในช่องว่างได้) ทั้งนี้

เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารถูกดูดติดผิวและสารดูดติดผิวจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะ ถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดติดผิวจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดติดผิว นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง

6.4.4 ความสามารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดติดผิว ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดติดผิว การดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดติดผิวตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ในที่นี้คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถถูกดูดติดผิวได้ดี

6.4.5 pH มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดติดผิวด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของสารดูดติดผิวได้ดี

6.4.6 อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิว กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลงที่อุณหภูมิสูงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาแบบ exothermic

6.4.7 เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดติดผิว และอายุการใช้งานของถังดูดติดผิว โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดติดผิวเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิวเลย

6.5 สมดุลการดูดซับ

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในสารละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้มข้น ตอนต้นโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกัน โมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายซับออกมา พบว่าอัตราการคายซับจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับ

เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายซับ ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่าจำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลายและจำนวนโมเลกุลตัวถูกละลายที่คายซับออกมามีปริมาณคงที่

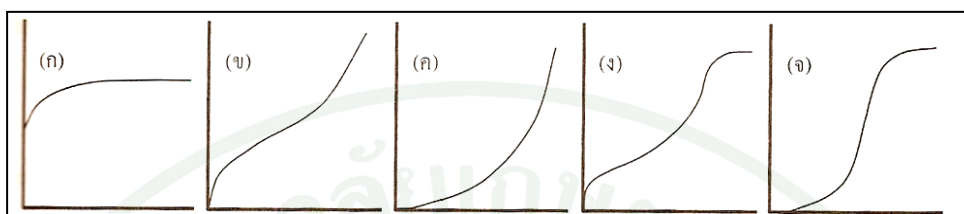
$$\begin{aligned} \text{ปริมาณตัวถูกละลายบนพื้นผิว} &= \text{ปริมาณตัวถูกละลายที่หลุดออกมา} \\ \text{ของตัวดูดซับ} &\quad \text{จากตัวดูดซับ} \\ qW &= V(C_i - C_e) \end{aligned}$$

เมื่อ	q	เป็นปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ หน่วยเป็นปริมาณตัวถูกละลายต่อมวลตัวดูดซับ เช่น mol/kg, mol/g และ mg/kg
	W	เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น kg
	V	เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกละลายละลายอยู่ หน่วยเป็น ลูกบาศก์ เซนติเมตร หรือลิตร
	C_i	เป็นความเข้มข้นของตัวถูกละลายก่อนการดูดซับที่อยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้น เช่น mol/l
	C_e	เป็นความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความ เข้มข้น เช่น mol/l

6.6 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกละลายบนพื้นผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (q) กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ในสารละลาย (C) ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่

ถ้าเขียนกราฟระหว่างค่า q ในแกนตั้ง และค่า C ในแกนนอนจะให้รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอร์มของการดูดซับ 5 แบบ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550) อ้างโดย Maron and Prutton (1961)

จากภาพที่ (ก) จัดเป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบชั้นเดียวส่วนรูป (ข) ถึง (จ) เป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบหลายชั้น

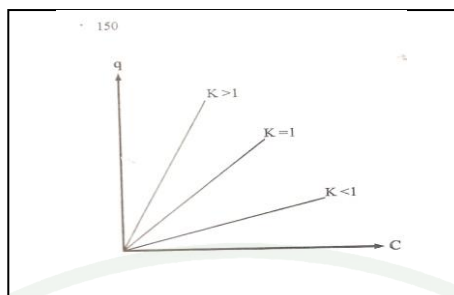
สมการไอโซเทอร์มของการดูดซับจะอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์ในที่นี่จะกล่าวถึง 2 สมการที่นิยมใช้กัน ดังนี้

6.6.1 สมการการดูดซับแบบเส้นตรง (Linear Equation) จัดเป็นสมการเชิงเส้นระหว่างค่า q และค่า C ตามสมการ

$$K = \frac{q}{C}$$

จะได้ $q = KC$

จะเห็นว่าปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ จะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่ละลายอยู่ในสารละลายในสภาวะสมดุล โดยกำหนดว่าพื้นผิวของตัวดูดซับมีบริเวณให้ถูกดูดซับแบบไม่จำกัด แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเป็นแรงแบบแวนเดอร์วาลส์ ใช้ได้ดีกับสารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับต่ำ



ภาพที่ 6 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเส้นตรง

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

$K > 1$ แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้มากกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K < 1$ แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้น้อยกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K = 1$ แสดงว่าการดูดซับอยู่ในสภาวะสมดุล

5.7.2 สมการการดูดซับของฟรอนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm) โดยนักเคมีฟิสิกส์ชาวเยอรมัน Herbert Max Finalay Freundlich (1880-1941) ใช้อธิบายไอโซเทอร์มของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Adsorption Surface) พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด) มีรูปแบบของสมการเป็นดังนี้

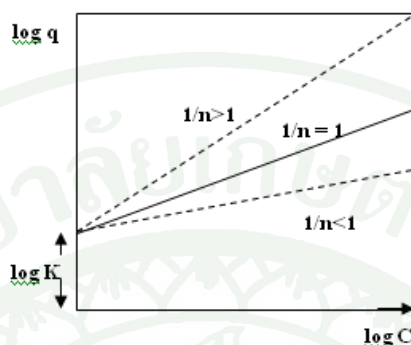
$$q = KC^{1/n} \dots\dots\dots(4)$$

สมการที่ (4) ไม่ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง K และ n เป็นค่าคงที่ของฟรอนด์ลิช (Freundlich Constant) ของแต่ละระบบที่กำลังศึกษาหรือทดลอง และ n ใช้อธิบายลักษณะไอโซเทอร์มของการดูดซับ โดยทั่วไป n จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง

เมื่อจัดรูปสมการที่ (4) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใส่ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{1}{n}$ และมีจุดตัดเท่ากับ $\log K$



ภาพที่ 7 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นตรงของฟรุนดลิช

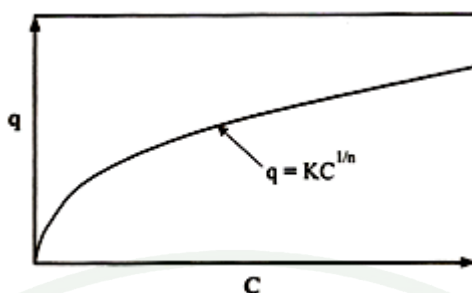
ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

ถ้า $\frac{1}{n} = 1$ ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง

ถ้า $\frac{1}{n} < 1$ บอกถึงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับจะต่ำในทุกค่าของความเข้มข้น C หรือกล่าวว่ามีปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับในปริมาณจำกัดในการดูดซับ

ถ้า $\frac{1}{n} > 1$ บอกถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะดูดซับได้มาก หรือกล่าวว่ามีบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ

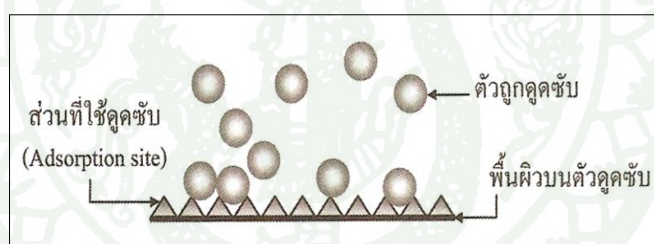
เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า q และ C จากสมการที่ (4) ดังภาพที่ 8 จะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับถูกดูดซับได้มากที่สุด เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถจะเกิดการซ้อนทับกันได้



ภาพที่ 8 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรอนดิช

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

5.7.3 สมการการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) ถูกพัฒนาขึ้นโดยนักเคมีชาวอเมริกา Irving Langmuir ในปี ค.ศ. 1916 ผู้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีในปี ค.ศ. 1932

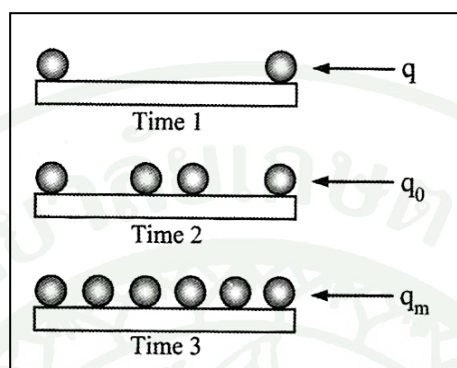


ภาพที่ 9 กลไกการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้ว จะไม่มีการคายออกจากพื้นผิวตัวดูดซับ

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

โดยมีข้อกำหนดว่า พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (Monogeneous Adsorption Surface) มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้ว จะไม่มีการเคลื่อนที่ (เคลื่อนย้าย) หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ

พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด) ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ตัวถูกดูดซับปกคลุมจนเต็มพื้นที่ผิวของตัวดูดซับแบบชั้นเดียว ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับสูงสุดบนพื้นผิวเท่ากับ q_m

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

จากความรู้เรื่องสมดุลการดูดซับ และจากสมการที่ (1) ถือว่าการดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับหนึ่งรูปแบบของสมการแลงเมียร์ จะใช้สมการที่ (1) เพียงต้องคูณปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับได้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับ แทนด้วย q_m ดังนั้น สมการที่ (1) จึงมีรูปแบบดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{1 + KC} \dots\dots\dots(6)$$

เมื่อจัดรูปสมการที่ (6) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K q_m C} \dots\dots\dots(7)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัมต่อกรัม)

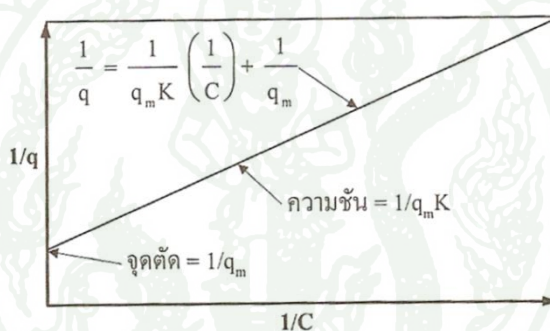
q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

เขียนกราฟระหว่าง $\frac{1}{q}$ และ $\frac{1}{C}$ จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ $\frac{1}{Kq_m}$

และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{q_m}$ ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

5.7.4 สมการการดูดซับแบบเบท (Brunauer Emmett Teller หรือ BET Adsorption Isotherm) ถูกพัฒนาขึ้นจากนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกา 3 ท่าน ในปี ค.ศ.1938 Stephen Brunauer, Paul Emmett และ Edward Teller โดยมีสมมติฐานดังนี้

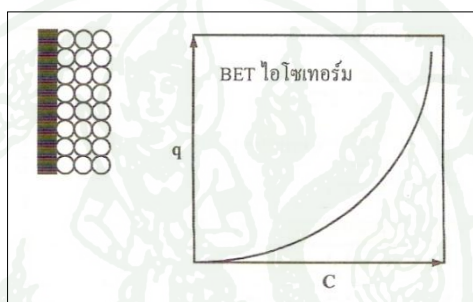
- 1) การดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบหลายชั้น (multi-layer adsorption)
- 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่เกิดการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ
- 3) ทุกโมเลกุลในชั้นมีพลังงานของการดูดซับเท่ากัน

4) แต่ละชั้นของการดูดซับไม่ต้องการการดูดซับที่สมบูรณ์ก่อนเกิดการดูดซับต่อไป

สมการการดูดซับแบบเบทถูกพัฒนามาจากสมการการดูดซับของแลงเมียร์ มีรูปแบบสมการดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{(C_0 - C)[1 + (K-1)C/C_0]} \quad \text{.....(8)}$$

กราฟที่เขียนระหว่าง q กับ C เป็นดังนี้



ภาพที่ 12 ไอโซเทอรัมการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของเบท

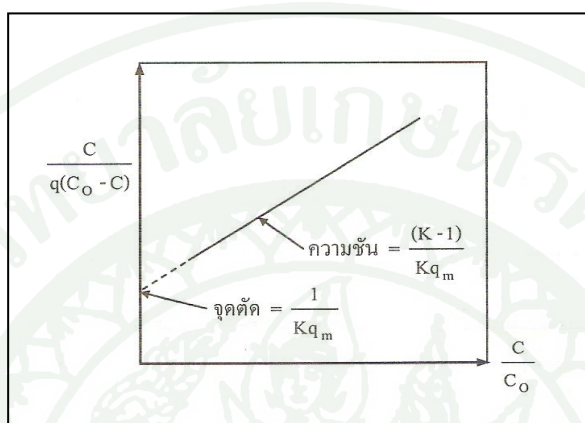
ที่มา: นิพนธ์ และ คณิดา (2550)

เมื่อจัดรูปสมการที่ (8) ใหม่จะได้สมการดังนี้

$$\frac{C}{q(C_0 - C)} = \frac{1}{q_m K} + \frac{(K-1)}{q_m K} \left(\frac{C}{C_0} \right) \quad \text{.....(9)}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า $\frac{C}{q(C_0 - C)}$ กับค่า $\frac{C}{C_0}$ จะได้กราฟเส้นตรง

$$\text{มีความชันเท่ากับ } \frac{(K-1)}{Kq_m} \text{ --- จุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ } \frac{1}{Kq_m}$$



ภาพที่ 13 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเบท

ที่มา: นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

จากที่กล่าวมาทั้งหมด พอสรุปได้ว่า สมดุลการดูดซับเป็นการศึกษาถึงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ ที่สภาวะสมดุลอิทธิพลตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับจะอธิบายด้วยไอโซเทอร์มของการดูดซับ ซึ่งจะบอกด้วยอัตราส่วนปริมาณของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล ที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง

6.7 สารที่มีความสามารถในการดูดซับ แบ่งได้ 5 ประเภท

6.7.1 ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และแอคติเวเตดซีลิกา (zeolite) สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตร/กรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ จับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

6.7.2 ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร/กรัม

6.7.3 ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน, resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

6.7.4 วัสดุชีวภาพ (biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ขี้เลื่อย ไคโตซาน (chitosan) กาแฟที่ใช้แล้ว ชา และชาเขียวที่ใช้แล้ว ฟางข้าว (rice straw) เปลือกไม้ (bark) เถ้าแกลบดำ เป็นต้น

6.7.5 สารดูดซับชีวภาพ (biosorbent) ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือราสายพันธุ์ต่างๆ และสาหร่าย

7.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จารุรัตน์ และ คณะ (2545) ศึกษาความสามารถในการตกตะกอนน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์ปีกโดยใช้ไคโตซานที่สกัดจากเปลือกปู เปลือกกุ้ง และเชื้อรา โดยเปรียบเทียบกับสารเคมีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสารส้ม (alum) โดยใช้ไคโตซานและสารส้มที่ 10 มิลลิกรัม/ลิตรจนที่ความเร็วเท่ากับ 100 รอบ/นาทิต เป็นเวลา 1 นาที และทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถลดค่าซีโอดี สารแขวนลอย บีโอดี ได้ดีในช่วงระหว่างร้อยละ 64-94, 73-77 และ 52-69 ตามลำดับ

Jun *et al.* (1994) ศึกษาการนำไคโตซานมาใช้ตกตะกอนโปรตีนจากน้ำเสียโรงงานผลิตถั่วเหลืองเพื่อนำมาใช้ใหม่ เมื่อบำบัดเป็นเวลา 7 วัน พบว่าไคโตซานเป็นตัวตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถลดค่าความขุ่นของน้ำเสียได้ถึงร้อยละ 97 ระดับไคโตซานที่เหมาะสมคือ 300 มิลลิกรัม/ลิตร ที่พีเอช 5.8 และเมื่อเปรียบเทียบกับ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการเป็นตัวตกตะกอนที่ดี พบว่าสามารถลดค่าความขุ่นของน้ำเสียได้ใกล้เคียงกับไคโตซานในปริมาณที่เท่ากันนั่นคือ 300 มิลลิกรัม/ลิตร แต่น้ำทิ้งที่ผ่านการตกตะกอนจาก $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ จะมีสีเหลือง ในขณะที่น้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนจากไคโตซานไม่มีสีและไม่มีพิษ

ปิยะบุตร และคณะ (2545) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนในน้ำเสียจากโรงงานฆ่าไก่ ด้วยไคโตซานบีดส์และสารละลายโปรตีนมาตรฐาน (BSA) ที่ความเข้มข้น 706 มิลลิกรัม/ลิตร และ 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ผสมกับน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร นำไปกวนที่ความเร็ว 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 75 นาทีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าไคโตซานบีดส์และสารละลายโปรตีนมาตรฐาน BSA มีประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนจากน้ำเสียของโรงงานฆ่าไก่ ได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 64.8 และ 27.0

จันทรา (2547) ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ไคโตซานบีดส์ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนใน 2 ระบบคือระบบการเขย่าและการใช้คอลัมน์ ซึ่งพารามิเตอร์ของน้ำเสียที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าบีโอดี ปริมาณสารแขวนลอย และความขุ่น พบว่าภายใต้สภาวะการเขย่าไคโตซานบีดส์มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีกว่าที่ใช้คอลัมน์ไคโตซานบีดส์ ทำให้ค่าบีโอดีลดลงร้อยละ 44.52 และไม่ตรวจพบปริมาณสารแขวนลอย และความขุ่นของน้ำเสีย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์

- 1.1 pH meter รุ่น 315
- 1.2 เครื่องเขย่า (shaker) Model VRN-480 GEMMY Orbit Shaker
- 1.3 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด อ่านค่าละเอียด 0.0001 g รุ่น AB 204-S
- 1.4 กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน ของ whatman
- 1.5 เครื่องบดละเอียด
- 1.6 ตะแกรงแยกขนาด
- 1.7 ตู้อบ (Oven) รุ่น OF-11E บริษัท JEIO TECH, KOREA
- 1.8 เครื่องแก้วที่ล้างด้วยกรดและน้ำกลั่นจนสะอาด
- 1.9 เดสซิเคเตอร์ (dessicator)
- 1.10 กรวยกรอง

2. สารเคมี

- 2.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
- 2.2 สารละลายไฮโดรคลอริก (Hydrochloric, HCl)

3. วัสดุดูดซับ

- 3.2 ไคตินจากแกนหมึกกล้วย
- 3.1 ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย

วิธีการ

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 50% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2. การเตรียมโคโคซานจากแกนหมึก

2.1 วิธีการเตรียมโคโคติน

นำแกนหมึกมาล้างให้สะอาด ตากให้แห้ง บั่นด้วยเครื่องปั่นจนละเอียด จากนั้นชั่งแกนหมึกที่ปั่นละเอียดแล้ว 125 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 750 มิลลิลิตร (สัดส่วน 1:6 น้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง โดยทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ โคโคติน นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาเก็บในภาชนะเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยต่อไป

2.2 วิธีการเตรียมโคโคซาน

นำโคโคตินที่สกัดได้จากข้อ 2.1 มาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 800 มิลลิลิตร (สัดส่วน 1:10 น้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจน

เป็นกลาง โดยทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ไคโตซาน นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาเก็บในภาชนะเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยต่อไป

3. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

ชั่งน้ำมันบริโภคเท่ากับ 0.25 กรัมต่อน้ำกลั่น 50.0 มิลลิลิตร คิดเป็นความเข้มข้นน้ำมัน 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร

4. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันด้วยไคตินและไคโตซานที่เตรียมจากแกนหมึกโดยการทดลองด้วยวิธีแบบแบตช์

4.1. ศึกษาปริมาณเบื้องต้นของไคตินและไคโตซานที่เตรียมจากแกนหมึกกล้วย

ชั่งไคตินปริมาณ 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, และ 4.0 กรัมลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที หลังจากนั้นนำน้ำเสียสังเคราะห์ไปกรองผ่านกรวยกรอง นำไคตินที่ผ่านการกรองใส่ในอะลูมิเนียมฟรอยด์นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมัน ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

นำไคโตซานมาทำการทดลองเช่นเดียวกับไคตินข้างต้น

4.2 ศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้น

ชั่งไคตินน้ำหนักเท่ากับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดจากการทดลองในข้อ 4.1 ลงในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปรับพีเอชให้มีค่าต่างกันคือ 5, 6, 7 และ 8 ลงในแต่ละขวดรูปชมพู่ นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที หลังจากนั้นนำน้ำเสียสังเคราะห์ไปกรองผ่านกรวยกรอง นำไคตินที่ผ่านการกรองใส่ในอะลูมิเนียมฟรอยด์นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

นำไคโตซานมาทำการทดลองเช่นเดียวกับไคตินข้างต้น

4.3 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบในการเขย่า

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.2 โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปรับพีเอชให้เท่ากับพีเอชที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ศึกษาได้จากข้อ 4.2 และแปรผันความเร็วรอบของการเขย่าเป็น 0, 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที

นำโคโคซานมาทำการทดลองเช่นเดียวกับโคตินข้างต้น

4.4 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการเขย่า

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.3 โดยแปรผันความเร็วรอบของการเขย่าที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ศึกษาได้จากข้อ 4.3 และแปรผันระยะเวลาการเขย่าเท่ากับ 0, 10, 30, 60 และ 90 นาที

นำโคโคซานมาทำการทดลองเช่นเดียวกับโคตินข้างต้น

4.5 ศึกษาอิทธิพลของภาวะเข้าสู่สมดุล

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.4 โดยศึกษาที่ระยะเวลาการเขย่าที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ศึกษาได้จากข้อ 4.4 และแปรผันระยะเวลาดังตั้งไว้เพื่อสู่ภาวะสมดุลเท่ากับ 0, 10, 30, 60 และ 90 นาที

นำโคโคซานมาทำการทดลองเช่นเดียวกับโคตินข้างต้น

4.6 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นน้ำมัน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.5 โดยศึกษาภาวะเข้าสู่สมดุลที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ศึกษาได้จากข้อ 4.5 และแปรผันความเข้มข้นของน้ำมันให้เท่ากับ 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร

นำโคโคซานมาทำการทดลองเช่นเดียวกับโคตินข้างต้น

4.7 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม

ชั่งโคตินปริมาณ 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, และ 4.0 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตรที่มีความเข้มข้นเท่ากับที่ศึกษาได้ในข้อ 4.6

นำโคโคซานมาทำการทดลองเช่นเดียวกับโคตินข้างต้น

4.8 ศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับน้ำมันของโคตินและโคโคซานที่เตรียมจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์

นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 4.7 มาเขียนไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

4.9 เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งและวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากโรงอาหารกลาง 1 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน บริเวณจุดรวบรวมน้ำทิ้งโรงอาหารก่อนเข้าสู่บ่อบำบัด

โดยทำความสะอาดภาชนะเก็บน้ำขนาด 20 ลิตร ด้วยตัวอย่างน้ำทิ้ง 1-2 ครั้ง ก่อนจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำใส่ภาชนะเก็บน้ำ นำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ, บีโอดี, ซีโอดี, ซี, น้ำมันและไขมัน

4.10 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยโคตินและโคโคซานจากแกนหมึกกล้วย โดยทำการทดลองแบบเบดซ์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.7 โดยชั่งโคตินจากแกนหมึกกล้วยในปริมาณเท่ากับที่ให้ร้อยละการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.7 ทำการทดลอง 7 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับด้วยโคตินจากแกนหมึกกล้วยมาวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช, ซี, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งละลายน้ำ, ซีโอดี, น้ำมันและไขมัน

นำโคโคซานมาทำการทดลองเช่นเดียวกับโคตินข้างต้น

4.11 ศึกษาประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้งานจริงในการดูดซับน้ำมันของไคดินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย

ทำการทดลองโดยใช้น้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน ปริมาตร 20 ลิตร ใช้ไคดินจากแกนหมึก 200 กรัม และปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับพีเอชที่ให้อยู่ระหว่างการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองข้อ 4.2 จากนั้นใช้ใบพัดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ปั่นกวนนานเท่ากับระยะเวลาเขย่าที่ให้ไว้ระหว่างการดูดซับที่ดีที่สุดจากการทดลองข้อ 4.4 ตั้งทิ้งไว้จนเท่ากับระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ให้ไว้ระหว่างการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองข้อ 4.5 ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับไขมันและน้ำมันและมลสารอื่นๆ ได้แก่ พีเอช, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งละลายน้ำ, ซีไอดี, น้ำมัน และไขมัน

นำไคโตซานมาทำการทดลองเช่นเดียวกับไคดินข้างต้น

4.12 ศึกษาการฟื้นฟูสภาพของไคดินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ทำการทดลองโดยนำไคดินจากแกนหมึกกล้วยที่ผ่านการใช้งานแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อฟื้นฟูสภาพ หลังจากนั้น ตากให้แห้งแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น แล้วทำการชั่งน้ำหนักแห้งของไคดิน ทำการทดลองใหม่จนกว่าน้ำหนักแห้งของไคดินคงที่ แล้วนำไคดินจากแกนหมึกกล้วยที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพกลับไปทดลองใหม่

นำไคโตซานมาทำการทดลองเช่นเดียวกับไคดินข้างต้น

5. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและดิน วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาทำการทดลองทั้งสิ้น 10 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554

ผลและวิจารณ์

การศึกษาภาวะการดูดซับน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขนด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วย โดยทำการทดลองแบบเบดซ์ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อภาวะการดูดซับ ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับเริ่มต้น พีเอช (pH) ความเร็วรอบการเขย่า (rate shaking) ระยะเวลาเขย่า (shaking time) ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล (contact time หรือ equilibrium time) ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมและความเข้มข้นน้ำมัน รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน โดยทำการทดลองประยุกต์ใช้งานจริงและฟื้นฟูตัวดูดซับหลังผ่านการดูดซับ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ลักษณะของไคตินและไคโตซานที่เตรียมได้จากแกนหมักกล้วย

จากการทดลองเตรียมไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยด้วยวิธีการสกัดไคตินทางเคมี (ปรียารรรณ และแว่นแก้ว, 2544) พบว่าไคตินจากแกนหมักกล้วยที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นเกร็ดสีขาวอมสีเหลืองจางเล็กน้อย และไคโตซานจากแกนหมักกล้วยที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ ละเอียดสีขาวอมสีเหลืองเล็กน้อย ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วย

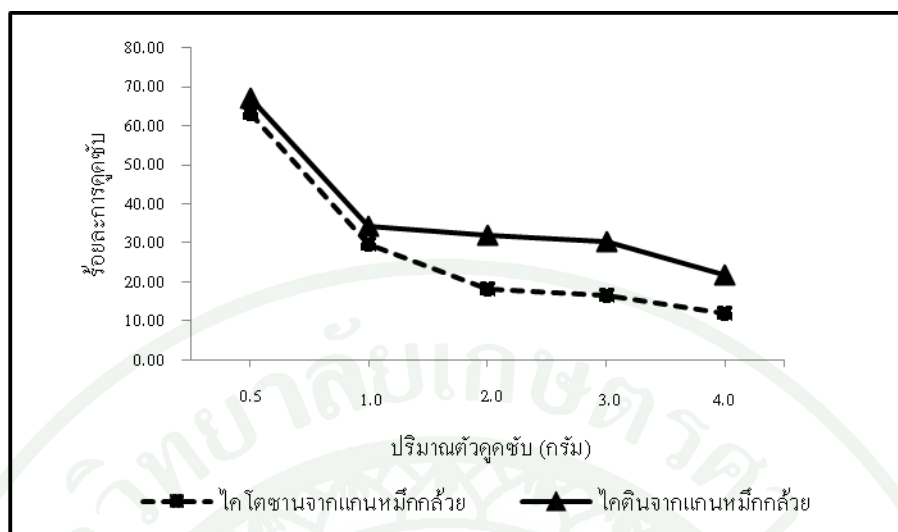
2. ผลของปริมาณไคตินและไคโตซานที่เตรียมได้ต่อการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการทดลองในข้อที่ 4.1 ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตรทำการแปรผันปริมาณไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย เท่ากับ 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, และ 4.0 กรัม ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคติน	ไคโตซาน
0.5	67.13	63.07
1.0	34.15	29.79
2.0	32.03	18.11
3.0	30.33	16.71
4.0	21.84	11.81

จากตารางที่ 3 พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ลดลง เมื่อปริมาณไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยเพิ่มขึ้น เนื่องจากไคตินและไคโตซานมีสมบัติในการพองตัวในน้ำสูง ดังนั้นเมื่อปริมาณไคตินและไคโตซานมากขึ้นจึงส่งผลทำให้ตัวดูดซับสัมผัสกับตัวถูกดูดซับน้อยลง โดยพบว่าทั้งไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยปริมาณ 0.50 กรัม สามารถดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีที่สุด ซึ่งดูดซับไขมันและน้ำมันได้ร้อยละ 67.13 และ 63.07 ตามลำดับ ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณไคตินและไคโตซาน

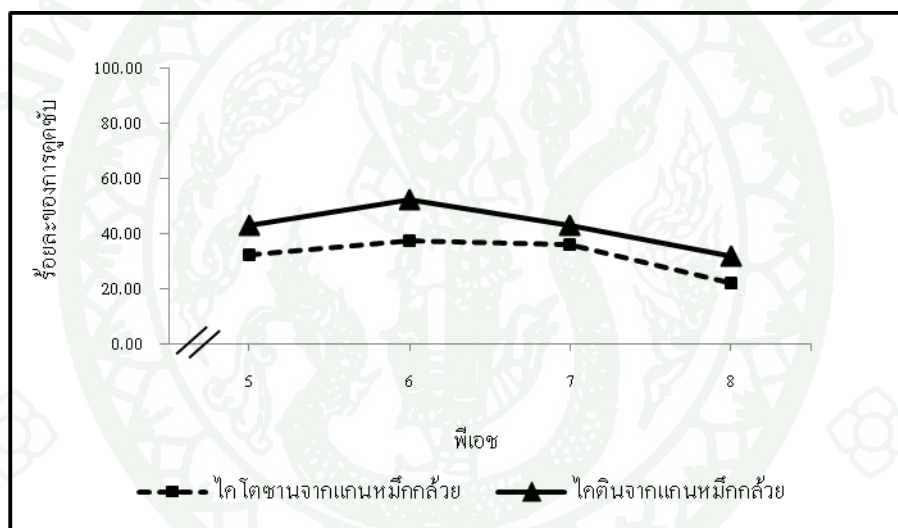
3. ผลของพีเอชในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการดูดซับไขมันและน้ำมัน

จากการทดลองในข้อที่ 4.1 ใช้ปริมาณไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยชนิดละ 0.50 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตรที่มีการแปรผันพีเอชให้เท่ากับ 5, 6, 7 และ 8 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อิทธิพลของพีเอชต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์

พีเอช	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคติน	ไคโตซาน
5	43.20	32.40
6	52.17	37.25
7	43.07	35.97
8	31.68	22.32

จากตารางที่ 4 พบว่าทั้งไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ดีที่พีเอชเท่ากับ 6 โดยมีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 52.17 และ 37.25 ตามลำดับ ทั้งนี้การดูดซับขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ในสถานะที่พีเอชเป็นกรด ไคโตซานซึ่งมีหมู่อะมิโน ($-NH_2$) จะถูกโปรโตนเตได้เป็น cationic amine group ($-NH_3^+$) [2] ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของน้ำมัน (ที่แสดงอำนาจไฟฟ้าลบ) ทำให้เกิดการยึดจับด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าที่เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals force) และในสถานะที่พีเอชสูง ในสารละลายจะมีไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เพิ่มขึ้น จะไปแย่งจับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับทำให้พื้นที่ผิวของตัวดูดซับแสดงอำนาจไฟฟ้าลบ ส่งผลให้เกิดแรงผลักระหว่างโมเลกุลของน้ำมันและตัวดูดซับทำให้การดูดซับลดลง ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับพีเอช

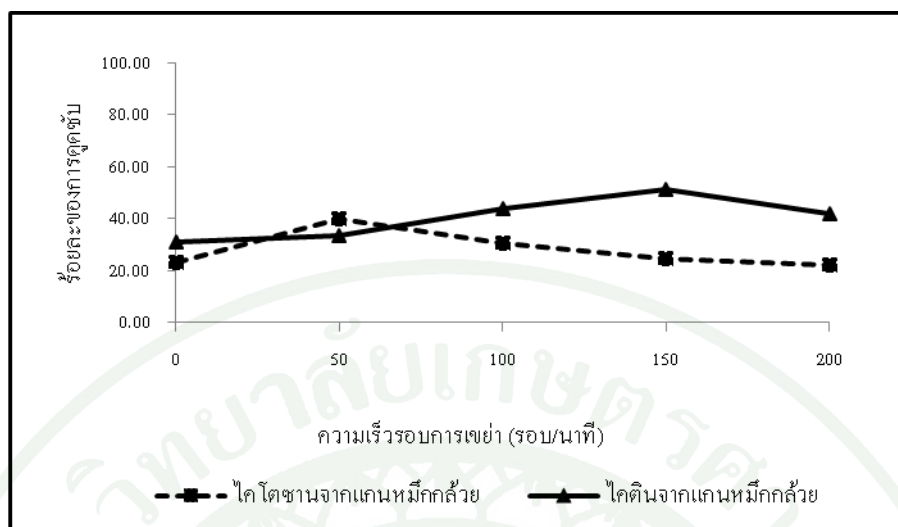
4. ผลของความเร็วรอบการเขย่าต่อการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการทดลองในข้อที่ 4.1 และ 4.2 ใช้ปริมาณไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยชนิดละ 0.50 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตรที่มีการปรับพีเอช เท่ากับ 6 ทำการแปรผันความเร็วรอบการเขย่าให้เท่ากับ 0, 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อิทธิพลของความเร็วรอบการเขย่าต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียดังเคราะห์

ความเร็วรอบการเขย่า (รอบต่อนาที)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคติน	ไคโตซาน
0	31.20	23.27
50	33.61	39.83
100	44.04	30.59
150	51.43	24.61
200	41.88	22.07

จากตารางที่ 5 พบว่า ไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียดังเคราะห์ได้ดีที่ความเร็วการเขย่าเท่ากับ 150 และ 50 รอบต่อนาทีตามลำดับ โดยมีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 51.43 และ 39.83 ตามลำดับ ทั้งนี้การดูดซับจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การผ่านตัวดูดซับ หรือการแพร่เข้าสู่รูพรุนของตัวดูดซับ ถ้าความเร็วรอบการเขย่าต่ำ น้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับเป็นชั้นฟิล์มที่หนาและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของไขมันและน้ำมันเข้าไปหาตัวดูดซับ ทำให้การดูดซับลดลง และถ้าความเร็วรอบการเขย่าสูง ทำให้ชั้นฟิล์มที่ล้อมรอบตัวดูดซับบางลง ทำให้โมเลกุลของไขมันและน้ำมันสามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวดูดซับเข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็วขึ้นและเมื่อพื้นผิวของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยดูดซับไขมันและน้ำมันเต็มพื้นผิวแล้วจะไม่สามารถดูดซับได้อีก ทำให้การดูดซับลดลงเมื่อความเร็วรอบการเขย่าเพิ่มขึ้นจากความเร็วรอบการเขย่าที่ดีที่สุด ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของโคโคตินและโคโคซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับความเร็วรอบการเขย่า

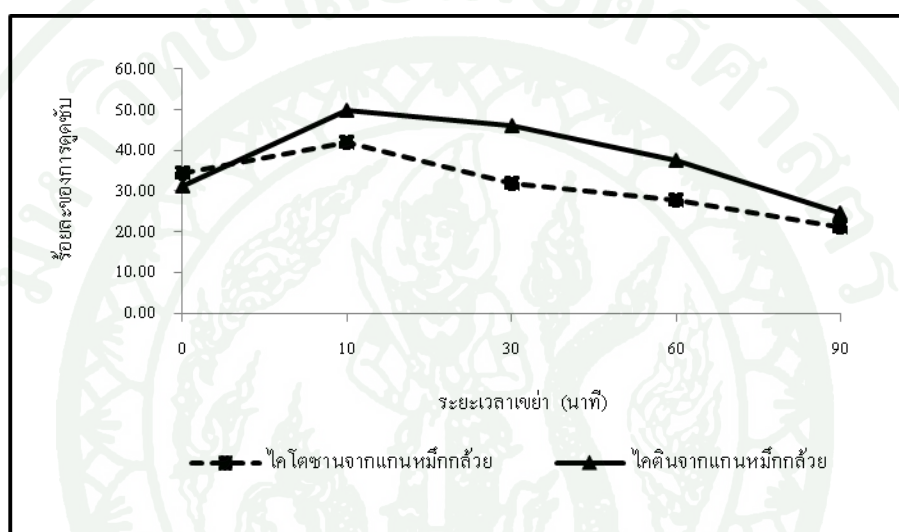
5. ผลของระยะเวลาเขย่าต่อการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการทดลองในข้อที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ใช้ปริมาณโคโคตินและโคโคซานจากแกนหมึกกล้วย ชนิดละ 0.50 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตรที่มีการปรับพีเอช เท่ากับ 6 ความเร็วรอบการเขย่า 150 รอบต่อนาที และ 50 รอบต่อนาทีตามลำดับ ทำการแปรผันระยะเวลาเขย่าให้เท่ากับ 0, 10, 30, 60 และ 90 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อิทธิพลของระยะเวลาเขย่าต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของโคโคตินและโคโคซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์

ระยะเวลาเขย่า (นาที)	ร้อยละการดูดซับ	
	โคโคติน	โคโคซาน
0	31.33	34.39
10	49.76	42.06
30	46.12	31.89
60	37.58	27.87
90	24.71	21.10

จากตารางที่ 6 พบว่า ทั้งไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีที่ระยะเวลาเขย่าเท่ากับ 10 นาที โดยมีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 49.76 และ 42.06 ตามลำดับ ทั้งนี้ในระยะเวลาเริ่มต้นพื้นผิวของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยมีพื้นที่มาก ทำให้อัตราการดูดซับมีมากขึ้น จนถึงระยะเวลาหนึ่งบริเวณพื้นผิวของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยดูดซับไขมันและน้ำมันเต็มพื้นผิวแล้วจะไม่สามารถดูดซับได้อีก ทำให้การดูดซับลดลง ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาเขย่า

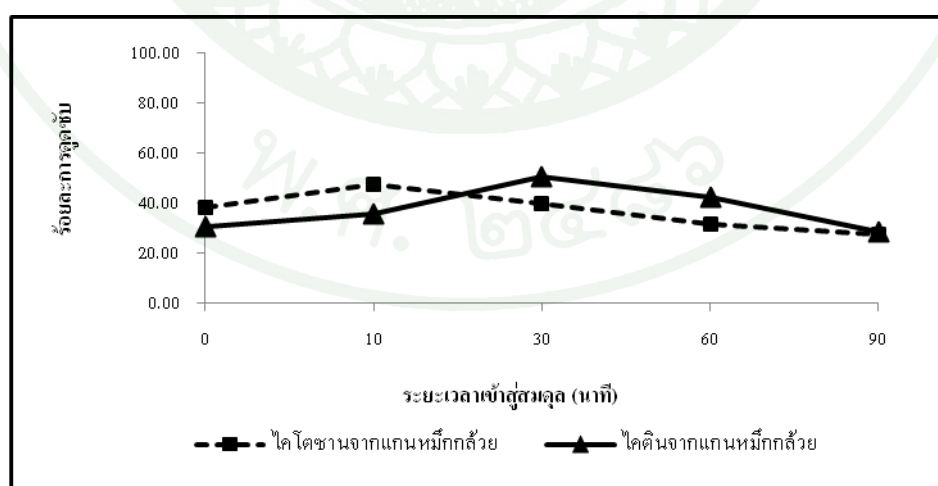
6. ผลของระยะเวลาเข้าสู่สมดุลต่อการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการทดลองในข้อที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ใช้ปริมาณไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย ชนิดละ 0.50 กรัม ค่อน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตรที่มีการปรับพีเอชเท่ากับ 6 ความเร็วรอบการเขย่า 150 และ 50 รอบต่อนาทีตามลำดับ ระยะเวลาเขย่า 10 นาที ทำการแปรผันระยะเวลาเข้าสู่สมดุลเท่ากับ 0, 10, 30, 60 และ 90 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 อิทธิพลของระยะเวลาเข้าสู่สมดุลต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์

ระยะเวลาเข้าสู่สมดุล (นาทีก)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคติน	ไคโตซาน
0	30.64	38.60
10	35.69	47.72
30	50.47	39.99
60	42.33	31.55
90	28.87	27.68

จากตารางที่ 7 พบว่า ทั้งไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีที่ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลเท่ากับ 10 นาที โดยมีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 50.47 และ 47.72 ตามลำดับ ทั้งนี้ในระยะเวลาเริ่มต้นพื้นผิวของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยมีพื้นที่มาก ทำให้อัตราการดูดซับมีมากขึ้น จนถึงระยะเวลานึ่งบริเวณพื้นผิวของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยดูดซับไขมันและน้ำมันจนเข้าสู่ภาวะสมดุลหรืออิ่มตัว และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการคายซับ (desorption) เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาเข้าสู่สมดุล

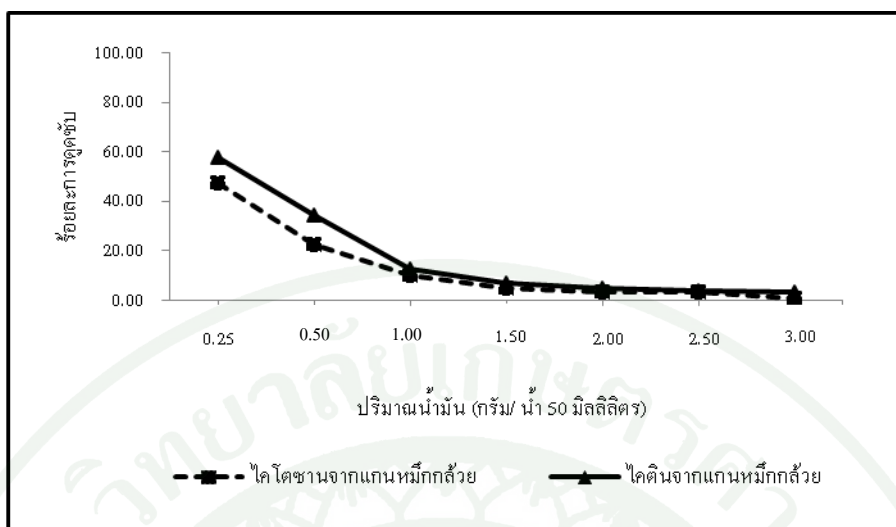
7. ผลของปริมาณไขมันและน้ำมันต่อการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการทดลองในข้อที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 ใช้ปริมาณไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย ชนิดละ 0.50 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตรที่มีการปรับพีเอช เท่ากับ 6 ความเร็วรอบการเขย่า 150 และ 50 รอบต่อนาทีตามลำดับ ระยะเวลาเขย่า 10 นาที ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 30 และ 10 นาที ตามลำดับ ทำการแปรผันปริมาณไขมันและน้ำมันเท่ากับ 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 กรัมต่อน้ำ 50 มิลลิลิตร ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 อิทธิพลของปริมาณไขมันและน้ำมันต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์

ปริมาณไขมันและน้ำมัน (กรัม/น้ำ 50 มิลลิลิตร)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคติน	ไคโตซาน
0.25	57.87	47.30
0.50	34.64	22.68
1.00	12.58	10.03
1.50	7.16	4.88
2.00	5.05	3.51
2.50	3.67	3.15
3.00	3.31	0.86

จากตารางที่ 8 พบว่า ไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ดีที่ปริมาณไขมันและน้ำมันเท่ากับ 0.25 กรัม โดยมีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 57.87 และ 47.30 ตามลำดับ เนื่องจากตัวดูดซับแต่ละชนิดมีพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับจำกัดและเป็นสมบัติเฉพาะของตัวดูดซับในแต่ละชนิด ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณไขมันและน้ำมัน

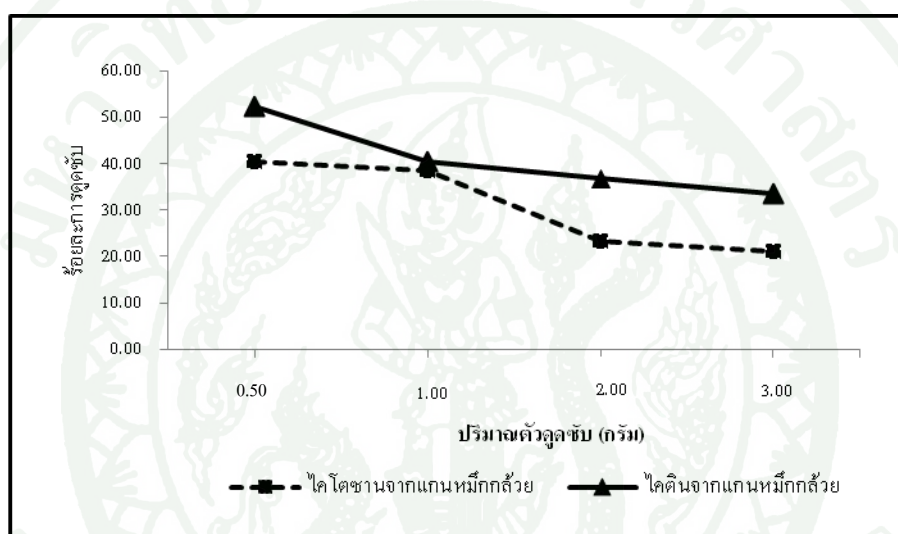
8. ผลของปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมต่อการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์

จากการทดลองในข้อที่ 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 และ 4.6 ปรับพีเอชให้เท่ากับ 6 ความเร็วรอบการเขย่า 150 และ 50 รอบต่อนาทีตามลำดับ ระยะเวลาเขย่า 10 นาที ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 30 และ 10 นาทีตามลำดับ ระดับความเข้มข้นของสารละลายไขมันและน้ำมันเท่ากับ 0.50 กรัมต่อน้ำ 50 มิลลิลิตร ทำการแปรผันปริมาณไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยให้เท่ากับ 0.50, 1.00, 2.00 และ 3.00 กรัม ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคติน	ไคโตซาน
0.50	52.40	40.35
1.00	40.40	38.35
2.00	36.76	23.36
3.00	33.64	21.33

จากตารางที่ 9 พบว่า ทั้งไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยดูดซับ ไขมันและน้ำมันใน น้ำเสียสังเคราะห์ ได้ดีที่ไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยปริมาณ 0.50 กรัม โดยมีร้อยละการ ดูดซับเท่ากับ 52.40 และ 40.35 ตามลำดับ และคิดเป็นประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมัน เท่ากับ 0.262 และ 0.202 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ ทั้งนี้ไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยมี สมบัติในการพองตัวในน้ำสูงดังนั้นเมื่อปริมาณไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยมากขึ้นจึง ส่งผลทำให้ตัวดูดซับสัมผัสกับตัวถูกดูดซับน้อยลง ดังภาพที่ 21

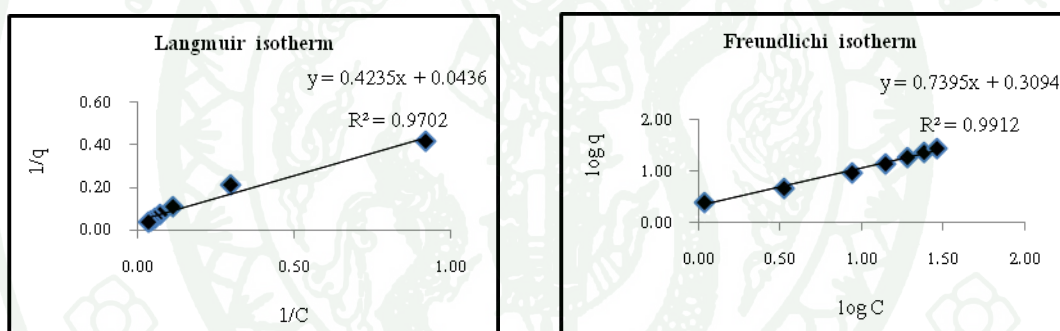


ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณไคตินและไคโตซาน

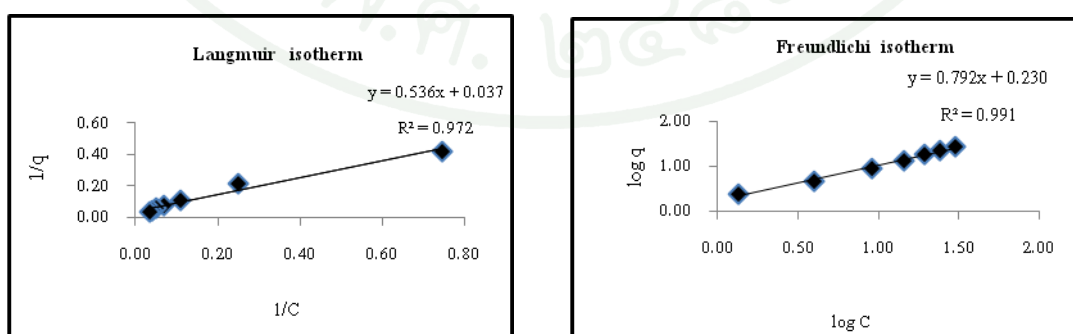
9. ไอโซเทอร์มในการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ ทำการทดลองแบบเบตซ์

จากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยใน น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ปริมาณน้ำมัน 0.25 กรัมต่อปริมาตรน้ำ 50 มิลลิลิตรหรือที่ระดับความเข้มข้น 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการดูดซับ ของไคตินจากแกนหมึกกล้วยได้แก่ ที่พีเอช 6 ความเร็วรอบการเขย่า 150 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 10 นาที และระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 30 นาที โดยใช้ไคตินจากแกนหมึกกล้วยปริมาณ 0.50 กรัม ขณะที่ภาวะของไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยได้แก่พีเอช 6 ความเร็วรอบการเขย่า 50 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 10 นาที และระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 10 นาที โดยใช้ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยปริมาณ 0.5 กรัม นำผลการศึกษาที่ได้เข้า

สมการการดูดซับ พบว่าทั้งไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยมีกลไกการดูดซับเป็นไปได้อย่างทั้งสมการการดูดซับของฟรุนดิช และแลงเมียร์ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่ใกล้เคียงกันคือ ไคติน มีค่าสมการการดูดซับของฟรุนดิช และแลงเมียร์ เท่ากับ 0.970 และ 0.991 (ดังภาพที่ 22) และไคโตซาน มีค่าสมการการดูดซับของฟรุนดิช และแลงเมียร์ เท่ากับ 0.972 และ 0.991 (ดังภาพที่ 23) ซึ่งกลไกการดูดซับของฟรุนดิช คือ พื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous adsorption surface) พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด)ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวได้หลายชั้นบนพื้นผิวตัวดูดซับ [1] และกลไกการดูดซับของแลงเมียร์ คือ พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (Monogeneous Adsorption Surface) การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะ ไม่มีการเคลื่อนที่ (เคลื่อนย้าย) หรือเปลี่ยนตำแหน่งกัน เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด) [1]



ภาพที่ 22 ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายน้ำมันมาตรฐานของแลงเมียร์และฟรุนดิชด้วยไคตินจากแกนหมึกกล้วย



ภาพที่ 23 ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายน้ำมันมาตรฐานของแลงเมียร์และฟรุนดิชด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย

10. ผลการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในวันที่ 25 สิงหาคม 2554 จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.9 พบว่าเมื่อนำน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน มาวิเคราะห์ค่าไขมันและน้ำมัน พบว่ามีปริมาณไขมันและน้ำมัน เท่ากับ 100.51 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพ ได้แก่ พีเอช ของแข็งละลายน้ำ (TDS) ของแข็งทั้งหมด (TSS) ค่าความนำไฟฟ้า (EC) บีโอดี ซีโอดี ไขมันและน้ำมัน รายละเอียดดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้งของโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ตัวอย่างน้ำทิ้ง	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง จากแหล่งชุมชน
pH	6.0	5.5-9.0
TDS (มิลลิกรัม/ลิตร)	676	ไม่เกิน 500
TSS (มิลลิกรัม/ลิตร)	920	50
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	1,009	ไม่ได้กำหนด
BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	12.7	ไม่เกิน 30
COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	32	ไม่เกิน 20
ไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)	100.51	20

ที่มา: ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง (2548)

เนื่องจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน พบว่าค่าคุณภาพน้ำในแต่ละดัชนีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าไขมันและน้ำมัน พบว่ามีปริมาณไขมันและน้ำมัน สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้มาก และจากการที่มีไขมันและน้ำมันในปริมาณที่สูงอาจส่งผลให้ค่าดัชนี TDS มีค่าสูงขึ้นตามเช่นกัน ฉะนั้นจึงต้องมีการบำบัดไขมันและน้ำมัน เนื่องจากปริมาณไขมันและน้ำมันนั้นจะเป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง และกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้มีกลิ่นเหม็น ไม่น่าดู ค่าคุณภาพน้ำต่ำ และนอกจากนี้ทั้งยังส่งผลต่อพืช สัตว์ และมนุษย์ที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียง

11. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ทำการทดลองแบบแบตช์

นำปริมาณไคตินที่ดีที่สุดได้จากการทดลองในข้อ 4.7 และทำการทดลองตามภาวะที่ดีที่สุดในแต่ละปัจจัยตามการทดลองข้อ 4.7 แล้วทำการทดลอง 7 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับด้วยไคตินมาวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช, สี, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งละลายน้ำ, ซีโอดี, น้ำมันและไขมัน ส่วนไคโตซานทำการทดลองเช่นเดียวกับไคตินข้างต้น พบว่า น้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนหลังผ่านการดูดซับด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยมีความเข้มข้นของไขมันและน้ำมัน ที่เหลือเฉลี่ย 48.93 ± 0.01 และ 59.15 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมัน เฉลี่ยร้อยละ 51.07 ± 0.01 และ 40.85 ± 0.01 ตามลำดับ และพบว่า ไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยสามารถบำบัดมลสารอื่นๆได้ด้วย เช่น ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ไขมันและน้ำมัน รายละเอียดดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน หลังผ่านการดูดซับด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ดูดซับด้วยไคติน			ดูดซับด้วยไคโตซาน		
	ก่อน	หลัง	ร้อยละการบำบัด	ก่อน	หลัง	ร้อยละการบำบัด
pH	6.0	5.9	-	6.0	5.9	-
TDS (มิลลิกรัม/ลิตร)	676	51	92.46	676	60	92.46
TSS (มิลลิกรัม/ลิตร)	920	900	2.17	920	820	2.17
BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	13	12	7.70	13	12.3	5.40
COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	32	30	6.25	32	31	6.25
ไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)	100.51	48.93	51.07	100.51	59.15	40.85

12. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหาร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยไคดินและ ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย
ทำการทดลองประยุกต์ใช้งานจริง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในวันที่ 30 สิงหาคม 2554 เมื่อนำมาน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน มาวิเคราะห์ค่าไขมันและน้ำมัน พบว่า มีปริมาณไขมันและน้ำมัน เท่ากับ 105.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพ ได้แก่ พีเอช ของแข็งละลายน้ำ (TDS) ของแข็งทั้งหมด (TSS) ค่าความนำไฟฟ้า (EC) บีโอดี ซีโอดี ไขมันและน้ำมัน รายละเอียดดังตารางที่ 13

ทำการทดลองโดยใช้น้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ปริมาตร 20 ลิตร ใช้ไคดิน 200 กรัม และปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับพีเอชที่ให้อยู่ระหว่างการดูดซับดีที่สุด จากการทดลองข้อ 4.2 จากนั้นใช้ใบพัดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ปั่นกวนนานเท่ากับระยะเวลาเขย่าที่ให้อยู่ระหว่างการดูดซับที่ดีที่สุดจากการทดลองข้อ 4.4 ตั้งทิ้งไว้นานเท่ากับระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลที่ให้อยู่ระหว่างการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองข้อ 4.5 ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับไขมันและน้ำมันและมลสารอื่นๆ ได้แก่ พีเอช, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งละลายน้ำ, และซีโอดี ส่วนไคโตซานทำการทดลองเช่นเดียวกับไคดินข้างต้น จากการทดลองพบว่า ไขมันและน้ำมันที่เหลือภายหลังการประยุกต์ใช้งานจริงด้วยไคดินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยมีค่าเท่ากับ 54.41 ± 0.46 มิลลิกรัม/ลิตร และ 40.15 ± 0.45 มิลลิกรัม/ลิตร จากความเข้มข้นของน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน 105.68 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมัน ในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนเท่ากับร้อยละ 48.51 และ 45.48 ตามลำดับ

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยไคดินและ ไคโตซานจากแกนหมักกล้วย ทำการทดลอง ประยุกต์ใช้งานจริง

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคดิน	ไคโตซาน
100	21.95	18.65
150	32.97	30.70
200	48.51	45.48

สำหรับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนภายหลังการประยุกต์ใช้งานจริงด้วยไคดินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วย พบว่าทั้งไคดินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยสามารถบำบัดมลสารอื่นๆได้ เช่น ไขมันและน้ำมันของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย และซีโอดี โดยการประยุกต์ใช้งานจริงด้วยไคดินจากแกนหมักกล้วยสามารถบำบัดได้ร้อยละ 48.51, 90.16, 3.23 และ 14.23 ตามลำดับ สำหรับการประยุกต์ใช้งานจริงด้วยไคโตซานจากแกนหมักกล้วยสามารถบำบัดได้ร้อยละ 45.48, 90.58, 4.09 และ 11.77 ตามลำดับ ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนด้วยไคดินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยแบบก่อนและหลังผ่านการดูดซับประยุกต์ใช้งานจริง

ดัชนีคุณภาพน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	ดูดซับด้วยไคดินจากแกนหมักกล้วย			ดูดซับด้วยและไคโตซานจากแกนหมักกล้วย		
	ก่อน	หลัง	ร้อยละการบำบัด	ก่อน	หลัง	ร้อยละการบำบัด
pH	6.1	6.0	-	6.1	6.0	-
TDS	681	67	90.16	679	64	90.58
TSS	928	898	3.23	928	890	4.09
COD	35	30	14.29	34	30	11.77
ไขมันและน้ำมัน	105.68	54.41	48.51	105.68	40.15	45.48

13. ศึกษาการฟื้นฟูสภาพของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยหลังผ่านการใช้งาน

จากการทดลองข้อที่ 4.11 พบว่า ไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยมีประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมัน ลดลงตามจำนวนครั้งของการฟื้นฟูสภาพเมื่อเทียบกับการใช้งานครั้งแรก โดยพบว่า การใช้งานครั้งแรก ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยสามารถดูดซับได้มากที่สุดที่ร้อยละ 48.51 และ 45.48 ตามลำดับ เมื่อฟื้นฟูสภาพแล้วทั้งไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยมีประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมัน ลดลงตามลำดับ ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยหลังผ่านการใช้งาน

ชนิดของตัวดูดซับ	ร้อยละการดูดซับ		
	ใช้งานครั้งแรก	ฟื้นฟูครั้งที่ 1	ฟื้นฟูครั้งที่ 2
ไคตินจากแกนหมึกกล้วย	48.51	17.22	11.21
ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย	45.48	20.68	12.82

สำหรับอายุการใช้งานของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยเมื่อพิจารณาจากจำนวนครั้งที่ใช้ในการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน จนกระทั่งประสิทธิภาพการดูดซับลดลงครึ่งหนึ่งจากประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมัน ครั้งแรก พบว่า อายุการใช้งานของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในการดูดซับลดลง เมื่อจำนวนครั้งการใช้งานมากขึ้น ซึ่งอาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานซ้ำ

13. ความคุ้มค่าของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในการบำบัดน้ำเชิงเศรษฐศาสตร์

จากกรรมวิธีการสกัดไคตินและไคโตซานได้ปริมาณตัวดูดซับดังนี้ (พัฒน์นัท, 2545)

แกนหมึกกล้วย 50 kg. (ล้างให้สะอาด/ ตากให้แห้ง/ บดให้ละเอียด)

↓
ต้มด้วย NaOH 1 โมลาร์ (1 ชม.)

↓
ล้างให้สะอาด/ ใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 1 ชม.

↓
ได้ผลิตภัณฑ์ไคติน (5 kg.)

↓
ต้มด้วย NaOH 50% (1 ชม.)

↓
ล้างให้สะอาด/ ใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 1 ชม.

↓
ได้ผลิตภัณฑ์ไคโตซาน (2.5 kg.)

จากกรรมวิธีการสกัดไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยสามารถนำมาคำนวณต้นทุนในการเตรียมตัวดูดซับได้ดังนี้

ตารางที่ 15 ปริมาณไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยที่ใช้ในการดูดซับ

แกนหมึกกล้วย	ปริมาณตัวดูดซับที่สกัดได้	ใช้ในการทดลอง (กรัม)				
		การทดลองแบบเบดซ์		ประยุกต์ใช้งานจริง	ฟื้นฟูหลังการใช้งาน	รวม
		น้ำเสียสังเคราะห์	น้ำทิ้งโรงอาหาร			
	ไคติน 2,500 กรัม	200	100	1000	-	1,300
5,000 กรัม	ไคโตซาน 1,300 กรัม	200	100	1000	-	1,300
	รวม					2,600

จากการทดลองได้มีการสั่งซื้อแกนหมึกกล้วยจากจังหวัดปัตตานีจำนวน 50 ก.ก. ราคา ก.ก.ละ 18 บาท เป็นจำนวนเงินทั้งหมด 900 บาทซึ่งสามารถนำมาคำนวณราคาต้นทุนตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลองได้ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ต้นทุนของไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยที่ใช้ในการดูดซับเปรียบเทียบกับ ไคตินและไคโตซานเชิงพาณิชย์

ตัวดูดซับที่สกัดได้	ใช้ในการทดลอง	ราคา (บาท)	ตัวดูดซับเชิงพาณิชย์	ราคา
กรัม	กรัม	(ใช้ทดลอง)	กรัม	
ไคติน 2,500	1,300	225	1,300	650
ไคโตซาน 1,300	1,300	225	1,300	650

ที่มา: ราคาไคตินและไคโตซานจากศูนย์ชีวภาพไคติน-ไคโตซาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลองแบบแบตช์ และในน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในการทดลองแบบแบตช์ และการประยุกต์ใช้งานจริง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย พบว่าที่ปริมาณไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย ปริมาณ 0.50 กรัมต่อปริมาณน้ำมัน 0.25 กรัมต่อน้ำ 50 มิลลิลิตรหรือที่ความเข้มข้น 5000 มิลลิลิตร ภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับของไคติน ได้แก่ พีเอช 6 ความเร็วรอบการเขย่า 150 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 10 นาที ระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 30 นาที สามารถดูดซับได้ร้อยละ 52.40 และคิดเป็นประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันเท่ากับ 0.26 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ ส่วนภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับของไคโตซาน ได้แก่ พีเอช 6 ความเร็วรอบการเขย่า 50 รอบ/นาที ระยะเวลาเขย่า 10 นาที ระยะเวลาเข้าสู่สมดุล 10 นาที สามารถดูดซับได้ร้อยละ 40.35 และคิดเป็นประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ

2. ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย โดยทำการทดลองแบบแบตช์ด้วยภาวะที่ได้จากการศึกษาเช่นเดียวกับการทดลองในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย สามารถดูดซับไขมันและน้ำมันได้ร้อยละ 51.07 และ 40.85 ตามลำดับ และคิดเป็นประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันเท่ากับ 0.26 และ 0.20 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ จากความเข้มข้นของน้ำมันในน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน เท่ากับ 100.51 มิลลิกรัม/ลิตร

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้งานจริง พบว่าทั้งไคตินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย สามารถดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ได้ร้อยละ 48.51 และ 45.48 ตามลำดับ และคิดเป็นประสิทธิภาพการดูดซับไขมัน

และน้ำมันเท่ากับ 97.02 และ 90.96 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ จากความเข้มข้นของน้ำมันในน้ำทิ้ง โรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน เท่ากับ 105.68 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อฟื้นฟูสภาพไคดินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วย หลังผ่านการใช้งาน พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันจะลดลงตามจำนวนครั้งของการฟื้นฟูสภาพ และอายุการใช้งานของไคดินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วย ในการดูดซับไขมันและน้ำมันจะมีอายุการใช้งานลดลง และพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันลดลงครั้งหนึ่งจากประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันครั้งแรก คือ สามารถดูดซับไขมันและน้ำมันได้ร้อยละ 20.68 และ 17.22 ตามลำดับเมื่อใช้งานครั้งที่ 2 สำหรับผลของประสิทธิภาพการดูดซับมลสารต่างๆ ได้แก่ ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ, ของแข็งแขวนลอย และซีโอดี ซึ่งไคดินจากแกนหมักกล้วยสามารถบำบัดได้ร้อยละ 90.16, 3.23 และ 14.23 ตามลำดับ สำหรับไคโตซานจากแกนหมักกล้วยสามารถบำบัดได้ร้อยละ 45.48, 90.58 และ 4.09 ตามลำดับ

4. ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์และจากในน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยไคดินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วย พบว่าไคดินมีประสิทธิภาพในการดูดซับดีกว่าไคโตซาน เนื่องจากโครงสร้างของไคดินมีสภาพขั้วน้อยกว่าไคโตซานจึงทำให้ไคดินสามารถยึดเหนี่ยวกับน้ำมันซึ่งมีสภาพขั้วน้อยได้ดีกว่าไคโตซาน

5. ความคุ้มค่าของไคดินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยในการบำบัดน้ำเสียเศรษฐกิจ พบว่าจากการทดลองดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์และจากในน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ด้วยไคดินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยพบว่าไคดินและไคโตซานจากแกนหมักกล้วยที่ทำการทดลองสกัดเองมีต้นทุนน้อยกว่าไคดินและไคโตซานเชิงพาณิชย์

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองในครั้งนี้ ทำให้ทราบข้อมูลบางอย่างเพื่อนำไปปรับปรุงงานทดลองครั้งต่อไป
จึงเสนอแนะไว้ดังนี้เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ ดังนี้

1. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไคตินและไคโตซานจากวัสดุคูดัชนีชีวภาพชนิดอื่น เช่น จากเปลือกกุ้ง เปลือกปู เพื่อลดขั้นตอนการเตรียมตัวคูดัชนีและลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมตัวคูดัชนี
2. ควรมีการศึกษาวิธีการฟื้นฟูตัวคูดัชนีที่ผ่านการใช้งานแล้ววิธีการอื่นๆ หลายวิธี เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคูดัชนีที่ดีที่สุดต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2536. **วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย**. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2534. **มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาประเทศไทย**. ฝ่ายคุณภาพน้ำ สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- ขวัญใจ สุชินพงศ์พันธ์. 2539. **การศึกษาวิธีการสกัดไคโตแซน**. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จารุรัตน์ เชาวเลิศ, สุกัญญา ไชยสุริยานันท์, สุทธิรักษ์ ศรีกุลชนากิจ และ วรพจน์ สุนทรสุข. 2545. “การตกตะกอนน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปสัตว์ปีกด้วยไบโอโพลิเมอร์”. **วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง** 11(1):50-56.
- จันทร์ นรินรัตน์. 2547. **การใช้ไคโตซานร่วมกับตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ฉัตรไชย รัตนไชย. 2539. **การจัดการคุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุมิศักดิ์. 2540. **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย**. สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิดา ตั้งคณานุรักษ์. 2550. **หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปราณี พันธุมสินชัย. 2537. **คู่มือการดำเนินงานควบคุมปัญหาน้ำเสียของภาครัฐบาลองค์การบริหารและสุขภาพ**. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- ปริยวรณ์ ใจคุ้มแก้ว และแว่นแก้ว พันธุโพธิ์. 2544. **ศึกษาและสกัดไคโตซานจากแกนหมึกเพื่อใช้ดูดซับโลหะหนัก Cu^{2+} , Fe^{2+}** . วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันราชภัฏมหาสารคาม.

ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์, ชีรพัชร อ่อนดี, ชูเกียรติ เลิศทรัพย์สุรีย์ และ รังสิยา พรประสาท. 2545. การศึกษาการกำจัดโปรตีนด้วยไลโดซานพอร์สปีด.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พัฒน์นัท วงศ์วิวัฒน์. 2545. การสกัดไคติน-ไลโดซานจากเปลือกหอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรศักดิ์ พรรณภัทรพงษ์. 2540. ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยบ่อบำบัดน้ำเสีย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

APHA, AWWA and WPCF. 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 19th (ed.). America Public Health Association, Washington, DC.

Hammer, M.J. 1975. **Water and Wastewater Technology**. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Jun, H.K., S.J, Kim No, H.K. and S.P. Meyers. 1994. Chitosan as a coagulant for recovery of proteinaceous solids from tofu wastewater. **Journal of Argiculture Food Chemistry** 8(42):1834 -1838.

Mann, H.T. 1986. **Watertreatment and Sanitation: A Handbook of Simple Methods. Intermediate Technology**. London.

Merck. 1996. **An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals**. 12th ed. Budavari S. editor. Merck Laboratories. Whitehouse Station, New Jersey.



ตารางผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณไคตินจากแกนหมึกกล้วย

ปริมาณไคติน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	0.84	0.80	0.82	0.82	0.02	67.13
1	1.65	1.66	1.64	1.65	0.01	34.15
2	1.72	1.66	1.72	1.70	0.03	32.03
3	1.71	1.77	1.75	6.44	0.07	30.33
4	1.96	1.97	1.93	7.76	0.07	21.84

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณไคตินจากแกนหมึกกล้วย

ปริมาณไคโต ซาน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	0.91	0.92	0.93	0.92	0.01	63.07
1	1.73	1.74	1.80	1.76	0.14	29.79
2	2.04	2.05	2.06	2.05	0.01	18.11
3	2.06	2.07	2.12	2.08	0.04	16.71
4	2.18	2.22	2.22	2.20	0.02	11.81

ตารางผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของโคตินจากแกนหมึกกล้วย
ในน้ำเสียสังเคราะห์กับพีเอช

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	1.43	1.38	1.45	1.42	0.04	43.20
6	1.19	1.21	1.19	1.20	0.01	52.17
7	1.42	1.43	1.42	1.42	0.01	43.07
8	1.71	1.74	1.68	1.71	0.03	31.68

ตารางผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของโคโตซานจากแกนหมึกกล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับพีเอช

พีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	1.69	1.70	1.68	1.69	0.01	32.40
6	1.58	1.57	1.55	1.57	0.01	37.25
7	1.62	1.58	1.60	1.60	0.02	35.97
8	1.99	1.93	1.91	1.94	0.04	22.32

ตารางผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินจากแกนหมึก
กล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับความเร็วยรอบการเขย่า

ความเร็วยรอบ การเขย่า (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	1.72	1.71	1.73	1.72	0.01	31.23
50	1.66	1.65	1.67	1.66	0.01	33.61
100	1.39	1.42	1.39	1.40	0.02	44.04
150	1.20	1.24	1.20	1.21	0.02	51.43
200	1.45	1.49	1.42	1.45	0.03	41.88

ตารางผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคโตซานจากแกนหมึก
กล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับความเร็วยรอบการเขย่า

ความเร็วยรอบ การเขย่า (รอบ/นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	1.90	1.91	1.94	1.92	0.02	23.27
50	1.52	1.46	1.54	1.50	0.04	39.83
100	1.72	1.75	1.74	1.74	0.02	30.59
150	1.90	1.87	1.89	1.88	0.02	24.61
200	1.93	1.97	1.94	1.95	0.02	22.07

ตารางผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของโคตินจากแกนหมึก
กล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาแช่

ระยะเวลาแช่ (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	1.74	1.73	1.73	1.73	0.01	31.33
10	1.27	1.28	1.27	1.27	0.01	49.76
30	1.37	1.37	1.36	1.36	0.01	46.12
60	1.57	1.61	1.58	1.59	0.02	37.58
90	1.89	1.90	1.91	1.90	0.01	24.71

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของโคโตซานจากแกนหมึก
กล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาแช่

ระยะเวลาแช่ (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	1.69	1.67	1.65	1.67	0.02	34.39
10	1.46	1.50	1.45	1.47	0.02	42.06
30	1.76	1.79	1.77	1.77	0.02	31.89
60	1.82	1.87	1.80	1.83	0.03	27.87
90	1.99	2.02	1.98	2.00	0.02	21.10

ตารางผนวกที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินจากแกนหมึก
กล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาเข้าสู่สมดุล

ระยะเวลาเข้าสู่ สมดุล(นาที่)	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	1.73	1.75	1.73	1.73	0.01	30.64
10	1.62	1.61	1.59	1.61	0.02	35.69
30	1.25	1.23	1.23	1.24	0.01	50.47
60	1.41	1.47	1.45	1.44	0.03	42.33
90	1.79	1.78	1.77	1.78	0.01	28.87

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคโตซานจากแกนหมึก
กล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาเข้าสู่สมดุล

ระยะเวลาเข้าสู่ สมดุล(นาที่)	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	1.54	1.54	1.52	1.54	0.02	38.60
10	1.32	1.28	1.32	1.31	0.02	47.72
30	1.51	1.50	1.49	1.50	0.01	39.99
60	1.70	1.71	1.73	1.71	0.01	31.55
90	1.78	1.83	1.82	1.81	0.02	27.68

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินจากแกนหมึก
กล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณน้ำมัน

ความเข้มข้น (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.25	1.09	1.11	1.09	1.10	0.01	57.87
0.5	3.34	3.29	3.48	3.37	0.10	34.68
1.0	8.78	8.76	8.98	8.84	0.12	12.58
1.5	13.99	14.12	13.96	14.02	0.08	7.16
2.0	19.15	19.04	19.05	19.08	0.06	5.05
2.5	24.17	24.31	24.10	24.19	0.11	3.67
3.0	29.08	29.06	29.39	29.18	0.19	3.31

ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคโตซานจากแกนหมึก
กล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณน้ำมัน

ความเข้มข้น (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.25	1.34	1.37	1.33	1.34	0.02	47.30
0.5	4.17	3.87	4.00	4.01	0.15	22.68
1.0	9.01	9.32	9.04	9.12	0.17	10.03
1.5	14.30	14.32	14.29	14.31	0.02	4.88
2.0	19.60	19.38	19.60	19.44	0.11	3.51
2.5	24.21	24.22	24.27	24.24	0.03	3.15
3.0	29.85	29.74	29.87	29.82	0.07	0.86

ตารางผนวกที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคตินจากแกนหมึก
กล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับและปริมาณไคติน

ปริมาณไคติน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	1.20	1.19	1.19	1.19	0.01	52.40
1.0	1.50	1.49	1.49	1.49	0.01	40.40
2.0	1.58	1.58	1.59	1.58	0.01	36.76
3.0	1.66	1.66	1.66	1.66	0.00	33.64

ตารางผนวกที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับไขมันและน้ำมันของไคโตซานจากแกนหมึก
กล้วยในน้ำเสียสังเคราะห์กับปริมาณไคโตซาน

ปริมาณไคโตซาน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (กรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	±S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.5	1.54	1.51	1.51	1.52	0.02	40.35
1.0	1.55	1.60	1.54	1.56	0.03	38.35
2.0	1.98	2.01	1.99	1.99	0.01	23.36
3.0	1.99	2.03	1.97	2.00	0.03	21.33

ตารางผนวกที่ 15 ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนด้วยไคไคดินและไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย
ทำการทดลองแบบเบตซ์

ครั้งที่	ไคดินจากแกนหมึกกล้วย			ไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย		
	ก่อน	หลัง	ร้อยละการดูดซับ	ก่อน	หลัง	ร้อยละการดูดซับ
	(มิลลิกรัม/ลิตร)			(มิลลิกรัม/ลิตร)		
1	100.50	48.92	51.08	100.50	59.15	40.85
2	100.51	48.93	51.07	100.51	59.16	40.84
3	100.54	48.94	51.06	100.53	59.14	40.86
4	100.50	48.91	51.09	100.51	59.15	40.85
5	100.52	48.93	51.07	100.52	59.16	40.84
6	100.52	48.92	51.08	100.51	59.14	40.86
7	100.50	48.93	51.07	100.51	59.14	40.86
ค่าเฉลี่ย	100.51	48.93	51.07	100.51	59.15	40.85
±S.D.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

ตารางผนวกที่ 16 ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนด้วยไคดินจากแกนหมึกกล้วย ทำ
การทดลองชุดประติษฐ์

ปริมาณไคดิน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	$\pm$ S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
100	82.24	82.29	82.91	82.48	0.37	21.95
150	70.43	70.95	71.13	70.83	0.37	32.97
200	54.94	54.21	54.08	54.41	0.46	48.51

ตารางผนวกที่ 17 ประสิทธิภาพการดูดซับไขมันและน้ำมันในน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนด้วยไคโตซานจากแกนหมึกกล้วย ทำการทดลอง
ชุดประติษฐ์

ปริมาณไคโต ซาน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	$\pm$ S.D.	ร้อยละการ ดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
100	60.05	60.35	59.30	59.90	0.54	18.65
150	51.43	51.17	50.50	51.03	0.47	30.70
200	39.88	39.89	40.66	40.15	0.45	45.48

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวภรณ์ภิดา พงศ์ประสิทธิ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 21 กันยายน 2529
สถานที่เกิด	อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรการประมง) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิชาการสิ่งแวดล้อม
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักบริหารโครงการ กรมชลประทาน
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	บริษัท ทีโอซี ไกลคอด จำกัด ผ่านโครงการศึกษาวิจัย และพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจาก พระราชดำริ