



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การใช้ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ใน
สารละลาย

The Utilization of Chitosan from Shrimp Shell and Commercial Chitosan to Remove
Formaldehyde from Aqueous Solution

นามผู้วิจัย นางสาวสิริพร เกษมโชติพัฒน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์คณิดา ตังคณานุรักษ์, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ในสารละลาย

The Utilization of Chitosan from Shrimp Shell and Commercial Chitosan to Remove Formaldehyde
from Aqueous Solution

โดย

นางสาวสิริพร เกษมโชติพัฒน์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิตสิ่งแวดล้อม)

สิงห์สิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. ๒๕๕๔

สิริพร เกษมโชคพัฒน์ 2554: การใช้ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในการ
กำจัดฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลาย ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์คณิดา ตั้งคนานุรักษ์, วท.ม. 101 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ไคโตซานในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ การศึกษานี้ใช้
ไคโตซาน 2 ชนิด คือ ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ
ฟอर्मัลดีไฮด์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอช (3-9) ความเร็วรอบการเขย่า (50-200 รอบต่อนาที) ระยะเวลาเขย่า
(10-120 นาที) ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล (10-120 นาที) และปริมาณตัวดูดซับ (10-50 กรัมต่อลิตร)
พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง 5 กรัม คือ ที่พีเอชในช่วง 3-9 ความเร็วรอบการเขย่า
50 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 10 นาที ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 10 นาที สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์
ในสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ได้ร้อยละ 48.34 และไคโตซานเชิงพาณิชย์ 3 กรัม พบว่า ที่พีเอช
ในช่วง 3-8 ความเร็วรอบการเขย่า 150 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 60 นาที ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะ
สมดุล 30 นาที สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ได้ร้อยละ 53.10 วิธีการ
ดูดซับแบบแบดจ์ของไคโตซานทั้งสองชนิดสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ จากการทดลองการ
ดูดซับด้วยวิธีแบบการไหลต่อเนื่องโดยใช้อัตราการไหลที่ 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า ทั้ง
ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด ที่อัตราการไหล 80
มิลลิลิตรต่อนาที ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์เริ่มหมดประสิทธิภาพการดูดซับที่
ปริมาตรของสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์เท่ากับ 2.40 และ 3.20 ลิตรตามลำดับ และหมดประสิทธิภาพการดูด
ซับที่ปริมาตรน้ำทิ้งเท่ากับ 8.80 และ 9.60 ลิตรตามลำดับ นอกจากนี้ไคโตซานจากเปลือกกุ้งสามารถ
กำจัดฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งของบริษัท ทีไอซี ไกลคคอล จำกัด ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ร้อยละการดูดซับ
เท่ากับ 97.80)

Siriporn Kasemchotipat 2011: The Utilization of Chitosan from Shrimp Shell and Commercial Chitosan to Remove Formaldehyde from Aqueous Solution. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment.
Thesis Advisor: Associate Professor Kanita Tungkananurak, M.Sc. 101 pages.

The objective of this research is to study the use of chitosan to adsorb formaldehyde. In this study, chitosan from shrimp shell and commercial chitosan have been investigated. Factors influencing formaldehyde adsorption were optimized including pH (3-9), mixing speed (50-200 rpm), shaking time (10-120 min), contact time (10-120 min) and amount of adsorbent (10-50 g/L). Under the optimal condition by 5 g. of chitosan from shrimp shell, pH 3-9, 50 rpm of mixing speed, 10 min of shaking time, 10 min of contact time, 48.34% of the formaldehyde was absorbed and 3 g. of commercial chitosan pH 3-8, 150 rpm of mixing speed, 60 min of shaking time, 30 min of contact time, 53.10% of the formaldehyde was adsorbed. The adsorption of formaldehyde in batch process by both types of chitosan followed Langmuir isotherm. Continuous flow experiment of both chitosan were conducted having wastewater flow rate of 80, 120 and 160 ml/min, respectively on both chitosan. It was found that at flow rate of 80 ml/min. was the best condition to remove formaldehyde by both chitosan. The break through point and exhaustion point of chitosan from shrimp shell and commercial chitosan were found at 2.4 and 3.2 L respectively and 8.80 and 9.60 L respectively. In addition, chitosan from shrimp shell can remove formaldehyde in TOC Glycol Co.,Ltd wastewater effectively (97.80 % adsorption).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____/____/____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ณัฏฐา ตังคนานุรักษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ ตังคนานุรักษ์ กรรมการร่วมที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ห้องปฏิบัติการเคมี พร้อมทั้งอุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบคุณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ และบริษัท ทีโอซี ไกลคอลล จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านทุนในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณวัชรพงษ์ วาระรัมย์ ผู้ช่วยนักวิจัยที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย รวมถึงขอบคุณเพื่อนๆ สิ่งแวดล้อมรุ่น 32 ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ความดีและประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่คุณพ่อวรวิทย์ คุณแม่ฉมวย เกษมโชติพัฒน์ ซึ่งเป็นผู้ที่มีพระคุณอย่างสูงสุดและเป็นบุคคลสำคัญที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในครั้งนี้ ตลอดจนญาติพี่น้องที่คอยเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา และครูอาจารย์ทุกท่านผู้ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้มาโดยตลอด

สิริพร เกษมโชติพัฒน์

มีนาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	86
สรุป	86
ข้อเสนอแนะ	87
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	88
ภาคผนวก	90
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	101

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟอร์มัลดีไฮด์	3
2	อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับต่อร้อยละการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์	52
3	อิทธิพลของพีเอชต่อร้อยละการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์	53
4	อิทธิพลของความเร็วรอบการเขย่าต่อร้อยละการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์	55
5	อิทธิพลของระยะเวลาเขย่าต่อร้อยละการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์	56
6	อิทธิพลของระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลต่อร้อยละการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์	58
7	อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีต่อร้อยละการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์	59
8	อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อร้อยละการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์	61
9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไหลแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือหลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งที่อัตราการไหล 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาที	68
10	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไหลแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นที่เหลือของฟอร์มัลดีไฮด์หลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ที่อัตราการไหล 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาที	71
11	ประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์หลังผ่านการใช้งาน	73
12	ประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์หลังผ่านการใช้งาน	74
13	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคคอล จำกัด	76
14	การดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากท่อจุด 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง โดยการทดลองแบบแบตช์	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	คุณภาพน้ำเสียจากการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากท่อจุด 1 (G970)และ จุด 2 (F1801A) หลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งโดยทำการทดลองแบบแบตช์	77
16	การดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากท่อจุด 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) จังหวัดระยอง ด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดลองแบบแบตช์	78
17	คุณภาพน้ำเสียจากการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากท่อจุด 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) หลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดลองแบบแบตช์	79
18	คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคคอล จำกัด หลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่องที่อัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาที	84
19	คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคคอล จำกัด หลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่องที่อัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาที	85
ตารางผนวกที่		
1	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและค่าพีเอช	91
2	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานเชิงพาณิชย์และค่าพีเอช	91
3	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและ ความเร็วรอบการเขย่า	92
4	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานเชิงพาณิชย์และความเร็วรอบการเขย่า	92
5	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง และระยะเวลาเขย่า	93
6	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานเชิงพาณิชย์และระยะเวลาเขย่า	93
7	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล	94
8	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานเชิงพาณิชย์และระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและความเข้มข้นของฟอर्मัลดีไฮด์	95
10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานเชิงพาณิชย์และความเข้มข้นของฟอर्मัลดีไฮด์	95
11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง และปริมาณไคโตซาน	96
12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ของไคโตซานเชิงพาณิชย์และปริมาณไคโตซาน	96
13 ไอโซเทอร์มการดูดซับของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง	97
14 ไอโซเทอร์มการดูดซับของไคโตซานเชิงพาณิชย์	97
15 การดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด จังหวัดระยองด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง	98
16 การดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด จังหวัดระยองด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์	98
17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความเข้มข้นฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ณ จุดเก็บน้ำที่ 1 (G 970) และจุดเก็บน้ำที่ 2 (F 1801A) กับปริมาตรน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง และไคโตซานเชิงพาณิชย์แบบคอลัมน์ต่อเนื่อง	100

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ปฏิบัติการเตรียมสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์จากเมทานอล	5
2 กลไกการเปลี่ยนรูปของฟอร์มัลดีไฮด์	7
3 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	12
4 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว	13
5 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว	14
6 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว	14
7 การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น	16
8 การยึดเหนี่ยวด้วยแรงกายภาพ	16
9 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	19
10 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน	21
11 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเส้นตรง	22
12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q$ และ $\log C$	23
13 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรอนดิช	24
14 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์	25
15 การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว	25
16 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์	26
17 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของเบท	27
18 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเบท	28
19 ลักษณะของ break through point	29
20 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และไคโตซาน	31
21 ไคโตซานเชิงพาณิชย์	41
22 ปฏิปักษ์ระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับกรดโครโมโทรปิก	42
23 สารละลายสีม่วงที่ได้จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์	43
24 ศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์	44
25 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบการเขย่า	45
26 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณของไคโตซานที่เหมาะสม	46
27 การเก็บตัวอย่างน้ำปัสสาวะ ที่ไอซี ไกลคอล จำกัด จังหวัดระยอง	48
28 ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
29	กราฟมาตรฐานของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์	51
30	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์กับร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์	54
31	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์	54
32	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการเขย่ากับร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์	56
33	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลกับร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์	57
34	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุลกับร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์	58
35	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์กับร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์	60
36	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโคโคซานกับร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์	62
37	ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของแลงเมียร์ด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้ง	63
38	ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของฟรุนดลิชด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้ง	63
39	ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของแลงเมียร์ด้วยโคโคซานเชิงพาณิชย์	66
40	ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของฟรุนดลิชด้วยโคโคซานเชิงพาณิชย์	66
41	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่ไหลผ่านแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นที่เหลือของฟอร์มาลดีไฮด์หลังการดูดซับด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้งที่อัตราการไหล 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาที	70
42	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่ไหลผ่านแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นที่เหลือของฟอร์มาลดีไฮด์หลังการดูดซับด้วยโคโคซานเชิงพาณิชย์ที่อัตราการไหล 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาที	73
43	ประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์หลังการใช้งาน	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
44	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ที่จุดเก็บที่ 1 ในท่อ (G970) กับปริมาณน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง	80
45	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ที่จุดเก็บที่ 2 ในท่อ (F1801A) กับปริมาณน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง	81
46	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ที่จุดเก็บที่ 1 ในท่อ (G970) กับปริมาณน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์แบบคอลัมน์ต่อเนื่อง	82
47	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ที่จุดเก็บที่ 2 ในท่อ (F1801A) กับปริมาณน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์แบบคอลัมน์ต่อเนื่อง	83
ภาพผนวกที่		
1	กราฟมาตรฐานของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	99

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

DO	=	Dissolve Oxygen
TDS	=	Total Dissolve Solution
TSS	=	Total Suspended Solids
COD	=	Chemical Oxygen Demand
BOD	=	Biological Oxygen Demand
EC	=	Electrical Conductivity

การใช้ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ ในการกำจัดฟอรั่มัลดีไฮด์ในสารละลาย

The Utilization of Chitosan from Shrimp Shell and Commercial Chitosan to Remove Formaldehyde from Aqueous Solution

คำนำ

น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตของบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด เป็นน้ำทิ้งที่มีฟอรั่มัลดีไฮด์ปนเปื้อนอยู่ ซึ่งเกิดจากการผลิตเอทิลีนออกไซด์ และสารพวกเอทิลีน ไกลคอล เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ และพอลิเอสเตอร์ในอุตสาหกรรมขั้นอื่นๆ ต่อไป ซึ่งในกระบวนการผลิตจะได้ฟอรั่มัลดีไฮด์เป็นผลพลอยได้ ดังนั้นในการที่จะปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำทิ้งให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อน เพราะเนื่องจากฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ปนเปื้อนนี้นั้นจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตหลายชนิด ดังนั้นถ้าหากมีการปล่อยน้ำทิ้งที่มีฟอรั่มัลดีไฮด์ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติก็จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ พืชน้ำ และยังเป็นอันตรายต่อมนุษย์ โดยเมื่อสูดดมจะแสบจมูก และหากสัมผัสผิวหนังเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้ หากเข้าตาจะทำให้แสบตา และปวดศีรษะ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

กระบวนการดูดซับเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจมาประยุกต์ในการบำบัดน้ำทิ้ง เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและไม่ต้องมีเทคโนโลยีที่ซับซ้อนมาใช้ในการควบคุมระบบ ทำให้ช่วยลดต้นทุนในกระบวนการบำบัดอีกด้วย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษากำบัดน้ำทิ้งที่มีสารฟอรั่มัลดีไฮด์ปนเปื้อนด้วยวิธีการดูดซับ โดยเลือกใช้วัสดุดูดซับชีวภาพ ได้แก่ ไคโตซาน เพราะเนื่องจากไคโตซาน เป็นวัสดุชีวภาพที่มีสมบัติในการดูดซับ และสามารถนำมาบำบัดน้ำทิ้งได้ โดยไคโตซานที่นำมาใช้ในการศึกษานี้คือไคโตซานที่เตรียมได้จากเปลือกกุ้ง ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากการผลิตและบริโภคกุ้ง โดยในภาพรวมของประเทศไทยถือว่าประเทศไทยมีความพร้อมและความได้เปรียบด้านวัตถุดิบเปลือกกุ้ง เพราะเนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพในการส่งออกกุ้งแช่แข็งเป็นสินค้าส่งออกอันดับต้นๆ ของโลก ซึ่งถือว่าเป็นการนำทรัพยากรที่มีอย่างสิ้นเหลือของประเทศมาใช้ประโยชน์ โดยที่การศึกษานี้มุ่งเน้นศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีฟอรั่มัลดีไฮด์ปนเปื้อนโดยใช้ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับ โดยวิธีการแบบเบดซ์ในระดับห้องปฏิบัติการ และเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับน้ำทิ้งที่มีฟอรั่มัลดีไฮด์ปนเปื้อนในระบบบำบัดต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์มาตรฐาน
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์
3. เพื่อนำสถานะที่เหมาะสม ในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ที่ได้ มาประยุกต์ใช้ในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด
4. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์มาตรฐาน น้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด โดยผ่านชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ที่บรรจุไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์พร้อมกับการฟื้นฟูไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์หลังการดูดซับผ่านชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

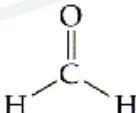
การตรวจเอกสาร

1. ฟอर्मัลดีไฮด์ (formaldehyde)

1.1 สมบัติทางกายภาพและเคมี (physical and chemical properties)

ฟอर्मัลดีไฮด์เป็นอัลดีไฮด์ตัวหนึ่ง อยู่ในกลุ่มของสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย (volatile organic compounds; VOCs) ที่อุณหภูมิและความดันปกติจะมีสถานะเป็นแก๊ส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ซึ่งในทางการค้าส่วนใหญ่ฟอर्मัลดีไฮด์จะอยู่ในรูปของสารละลายน้ำที่เรียกว่า ฟอर्मาลิน ซึ่งมีฟอर्मัลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบร้อยละ 37-50 โดยน้ำหนัก สารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ไม่เสถียรเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน โดยจะเกิดการพอลิเมอไรเซชันขึ้นตลอดเวลา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แม้ว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จะลดความเป็นกรด แต่ทำให้เกิดพาราฟอर्मัลดีไฮด์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะตกตะกอนออกมา ดังนั้นจึงมีการเติมสารป้องกันการตกตะกอน โดยใช้เมทานอลในปริมาณร้อยละ 10-15 โดยน้ำหนักสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ ดังนั้นการเติมสารป้องกันการตกตะกอนจึงสามารถเก็บสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ได้ที่อุณหภูมิต่ำลง โดยที่สมบัติทางกายภาพและเคมีของฟอर्मัลดีไฮด์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟอर्मัลดีไฮด์

สมบัติ	กายภาพและทางเคมี
สูตรโมเลกุล (molecular form)	CH_2O
สูตรโครงสร้าง (structure formula)	
แบบจำลอง (model)	
น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)	30.03 กรัมต่อโมล

ตารางที่ 1 (ต่อ)

สมบัติ	กายภาพและทางเคมี
ลักษณะทั่วไป (characteristic)	แก๊ส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน
การระเบิด (explosion)	lower explosive limit 7.0 % upper explosive limit 73.0 %
ความหนาแน่น (density)	1.0 กรัมต่อลิตร
จุดเดือด (boiling point)	-19.1 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว (melting point)	-92 องศาเซลเซียส
จุดวาบไฟ (flash point)	62 องศาเซลเซียส
ชื่ออื่นๆ (synonyms)	Formalin, Formalith, Methaldehyde, Morbicid, Oxomethane, Paraform, Methanal, Methylene oxide, Oxymethylene

ที่มา: Office of Environmental Health Hazard Assessment (2007)

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าฟอร์มัลดีไฮด์มีจุดเดือดที่อุณหภูมิ -19.1 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ -92 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เห็นว่าที่อุณหภูมิห้องฟอร์มัลดีไฮด์จะมีสถานะเป็นแก๊ส

1.2 แหล่งกำเนิดฟอร์มาลดีไฮด์

แหล่งกำเนิดฟอร์มาลดีไฮด์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

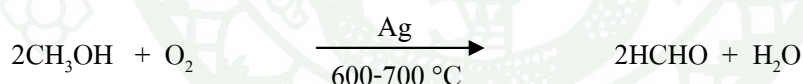
1.2.1 แหล่งกำเนิดฟอร์มาลดีไฮด์จากธรรมชาติ

ฟอร์มาลดีไฮด์เกิดกระบวนการทางธรรมชาติ โดยเกิดขึ้นชั้นบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ ระหว่างการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ปฏิกริยาเกิดขึ้นโดย OH เรดิคัล และโอโซน เกิดเป็นฟอร์มาลดีไฮด์ขึ้น และสุดท้ายจะกลายเป็น CO, CO₂, H₂ และ H₂O ส่วนในน้ำฟอร์มาลดีไฮด์เกิดจากการย่อยสลายของสารฮิวมิก (humic) จากการได้รับแสงอาทิตย์

1.2.2 แหล่งกำเนิดฟอร์มาลดีไฮด์จากกิจกรรมของมนุษย์

ฟอร์มาลดีไฮด์ถูกผลิตโดยการออกซิไดซ์เมทานอล ซึ่งเกิดขึ้น 2 วิธี ได้แก่

1) เกิดจากการออกซิไดซ์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ ได้แก่ เงิน (Ag) และทองแดง (Cu) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 600-700 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปฏิกริยาการเตรียมสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์จากเมทานอล

ที่มา: Salman *et al.* (2008)

2) เกิดจากการออกซิไดซ์โดยตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่ โลหะออกไซด์ผสมกับ โมลิบดีนัม(Mo) และวานาเดียม (V) ที่อุณหภูมิ 270-380 องศาเซลเซียส

1.3 การนำฟอร์มาลดีไฮด์ไปใช้ประโยชน์

ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายด้าน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ในกระบวนการผลิตมีมากมาย ดังต่อไปนี้

1.3.1 ใช้ในทางอุตสาหกรรม เช่น กาวสำหรับผลิตไม้อัด แผ่นผนังไม้อัด การผลิตยาง ฟิลา์ม ถ้วยรูป ผนัง วัตถุระเบิด สีย้อม เป็นต้น

1.3.2 ใช้ในทางการแพทย์ เช่น น้ำยาตรวจสอบ คอเนื่อเยื่อต่างๆ ใช้ในเวชภัณฑ์ ฆ่าเชื้อโรค เป็นต้น

1.3.3 ใช้ในด้านการเกษตร เช่น ฆ่าเชื้อโรคในดิน ป้องกันจุลินทรีย์และโรคในพืช เคลือบ ผลผลิตทางการเกษตรเพื่อป้องกันการเน่าเสีย

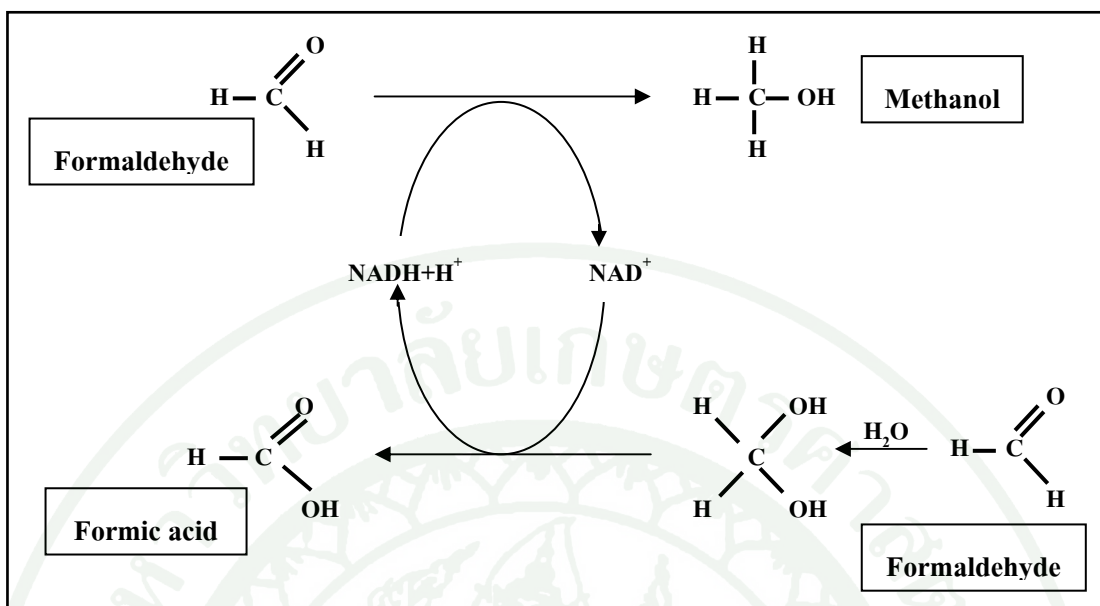
1.3.4 ใช้ผสมวัสดุก่อสร้าง และสิ่งตกแต่งภายใน เช่น ไม้อัดและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้อัด ผลิตภัณฑ์กระดาศไฟเบอร์กลาส โฟมที่ใช้ทำฉนวนกันความร้อน ฝ้าบานและพรมปูพื้น ใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวเฟอร์นิเจอร์ภายในบ้าน เป็นต้น

1.3.5 ใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอางค์ เช่น สารประทินผิว น้ำยาทาเล็บ เป็นต้น

1.3.6 ใช้ประโยชน์ภายในอาหาร โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของฟอร์มาลินที่ใส่ในอาหารสดเพื่อป้องกันและยับยั้งความสดของสัตว์น้ำลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอาหารทะเล เนื่องจากชาวประมงบางกลุ่มจะนิยมใช้แช่สัตว์ทะเลที่จับได้แทนการแช่แข็ง เพราะทำให้ประหยัดต้นทุนกว่า นอกจากนี้ยังพบในผักสดและผลไม้ชนิดต่างๆ

1.4 ปฏิกริยาการเปลี่ยนรูปของฟอร์มาลดีไฮด์

ฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำที่งอกจากที่เกิดขึ้นจากโรงงานพลาสติกเรซินถูกกำจัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนโดยแบคทีเรีย ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เมทานอล และกรดฟอร์มิก ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กลไกการเปลี่ยนรูปของฟอร์มาลดีไฮด์

ที่มา: Chen and Shieh (1985)

1.5 ผลของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อมนุษย์

ฟอร์มาลดีไฮด์จะถูกออกซิไดซ์เป็นกรดฟอร์มิกโดยสุดท้ายจะกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ฟอร์มาลดีไฮด์จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนและกรดนิวคลีอิกโดยปฏิกิริยาจับกับดีเอ็นเอสายเดี่ยว การออกซิไดซ์ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นกรดฟอร์มิกจะมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา

ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ได้แก่

1.5.1 ทางหายใจ

การได้รับทางหายใจโดยสูดดม ที่เข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ 2-3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเริ่มก่อให้เกิดอาการระคายเคืองของเยื่อทางเดินหายใจ มีผลให้เกิดหลอดลม และปอดอักเสบ เนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์มีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี จะเกิดการระคายเคืองจมูก และทางเดินหายใจของมนุษย์

1.5.2 ทางปาก

เมื่อได้รับฟอร์มาลดีไฮด์โดยการรับประทาน จะทำให้เกิดอาการปวดท้องอย่างรุนแรง คลื่นไส้ อาเจียน ปัสสาวะไม่ออกกดทับประสาทส่วนกลาง จนกระทั่งทำให้หมดสติและเสียชีวิตได้ ภายใน 24-48 ชั่วโมง เมื่อได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ขนาดปริมาณ 60-90 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงครั้งเดียวทำให้เสียชีวิตได้ในทันที

1.5.3 ทางผิวหนัง

การสัมผัสกับฟอร์มาลดีไฮด์ทางผิวหนัง จะมีผลทำให้เกิดอาการดังต่อไปนี้

- 1) อาการเย็บพลัน จะเกิดอาการผิวหนังอักเสบ เป็นผื่นแดง จนอาจเป็นพุพอง เมื่อสัมผัสจะรู้สึกแสบคันทันที
- 2) อาการเรื้อรัง ซึ่งจะเกิดหลังจากการที่สัมผัสนานเป็นปี

1.6 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมของฟอร์มาลดีไฮด์

ฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งจะเกิดกระบวนการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ทำให้พืชมีการสังเคราะห์แสงได้ลดลง ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุดที่ยอมรับให้มีในอากาศมีค่าเท่ากับ 0.0016 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฟอร์มาลดีไฮด์มีผลต่อแบคทีเรียอย่างรุนแรง ทำให้ดินบริเวณโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ จะพบแบคทีเรียน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ

ฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำที่มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์มากกว่า 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของ microflor และถ้าฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำที่มีความเข้มข้นมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จะยับยั้งกระบวนการใช้ออกซิเจนของสิ่งมีชีวิตในน้ำ พบว่าความเข้มข้นที่มีผลทำให้ปลาคาร์พตายหมด (LC_{100}) เท่ากับ 0.2 กรัมต่อลิตร ตาข่ายยลละ 50 (LC_{50}) เท่ากับ 0.1 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสูงสุดที่ปลาทนได้ เท่ากับ 0.06 กรัมต่อลิตร

1.7 ความเป็นพิษของฟอร์มาลดีไฮด์

1.7.1 การก่อกลายพันธุ์

ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ หรือการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมตัวหนึ่งในปัจจุบัน การทดลองในแมลงวันทองแบคทีเรียและพืชแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์และการกลายพันธุ์

การที่ฟอร์มาลดีไฮด์มีผลต่อระบบพันธุกรรมของเซลล์ เกี่ยวข้องกับผลกระทบของสารที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์ และนิวคลีโอไทด์ และ depurination ของ DNA

1.7.2 การทำให้เกิดพิษ

จากการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของฟอร์มาลดีไฮด์ร่วมกับ dimethyl dioxane ต่อคนงานชาย-หญิง จำนวน 8 คน อายุระหว่าง 19-36 ปี ซึ่งได้รับสารทั้ง 2 ชนิดระหว่างการปฏิบัติงานพบว่ามีอาการอ่อนเพลีย ปวดหัว วิงเวียน อาเจียน ปวดท้อง และหลังจากนั้นเล็กน้อยจะเกิดอาการระคายเคืองและระบบทางเดินหายใจ

ในการทดลองในหนูหายใจ ฟีนอล และฟอร์มาลดีไฮด์แยกจากกัน โดยแต่ละชนิดมีความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมงทุกวัน และให้หายใจสารทั้ง 2 ชนิดร่วมกัน โดยแต่ละชนิดมีความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าหนูที่ได้รับสารแต่ละชนิดจะแสดงการได้รับพิษมากกว่าหนูที่ได้รับสาร 2 ชนิดรวมกัน

การทดลองให้สารฟอร์มาลดีไฮด์แก่หนูตัวผู้โดยทางน้ำและทางอากาศพร้อมกัน ที่ความเข้มข้น 2 ระดับ คือ ความเข้มข้นในน้ำ 0.1 และ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นในอากาศ 0.5 และ 0.025 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยให้น้ำแก่หนูสัปดาห์ละ 5 ครั้ง เป็นเวลา 6 เดือน และให้อาหารอย่างต่อเนื่องวันละ 4 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ปริมาณกรดนิวคลีอิกลดลง

1.8 มาตรการทางกฎหมาย

1.8.1 มาตรฐานน้ำ ประเทศไทยโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมีค่าไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

1.8.2 ประเทศสหภาพแห่งสาธารณรัฐสังคมนิยมโซเวียต กำหนดมาตรฐานน้ำคือ

1) ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มและน้ำใช้เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีในแหล่งน้ำที่ใช้ในการประมงเท่ากับ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2. กระบวนการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำทิ้ง การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) สมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับ คือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้สมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม ทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นถูกดูดซับจนอิ่มตัวแล้ว จากนั้นนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ออกโดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับจึงเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากตัวกลางหนึ่งไปสะสมที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นที่ระหว่างของแข็งกับแก๊ส พื้นที่ระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นที่ระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารอินทรีย์ หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับน้ำมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจากแหล่งฝังกลบ (landfill) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

การดูดซับมีบทบาทที่สำคัญต่อการเคลื่อนย้าย และการเปลี่ยนรูปของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม โดยที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกจำกัดความอิสระในการเคลื่อนย้าย(จะตกตะกอนไปพร้อมกับตัวดูดซับ) เทียบกับโมเลกุลอิสระส่วนที่ไม่ถูกดูดซับ และโมเลกุลที่ไม่ถูกดูดซับจะเกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปของสารเคมี การย่อยสลายด้วยแสง หรือการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าโมเลกุลชนิดเดียวกัน แต่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (นิพนธ์ และคณิตา, 2550)

2.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1.1 การแพร่ภายนอก (external diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

2.1.2 การแพร่ผ่านภายใน (internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวดูดซับแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างตัวดูดซับ เพื่อให้เกิดการดูดซับ

2.1.3 ปฏิกิริยาพื้นผิว (surface reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวดูดซับดูดติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นควรคำนึงถึงการต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวด้วย

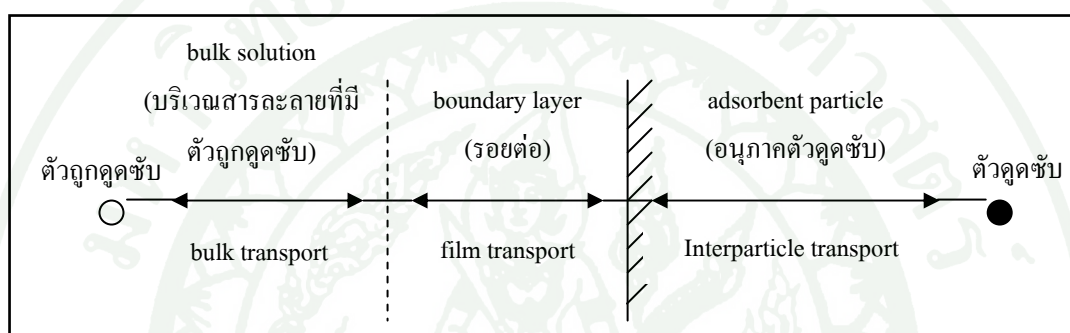
2.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวดูดซับ

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็ว อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีการต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อย ดังนี้ และดังภาพที่ 3

2.2.1 การขนส่งอนุภาค (bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวดูดซับในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของของเหลวบางๆ หรือผิวสัมผัสน้ำที่ห่อหุ้มตัวดูดซับ

2.2.2 การขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านฟิล์มน้ำไปยังผิวของตัวดูดซับ จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนนี้

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



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

การยึดติดของตัวดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะมีแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวทางกายภาพหรือทางเคมีหรือทั้งสองแบบ

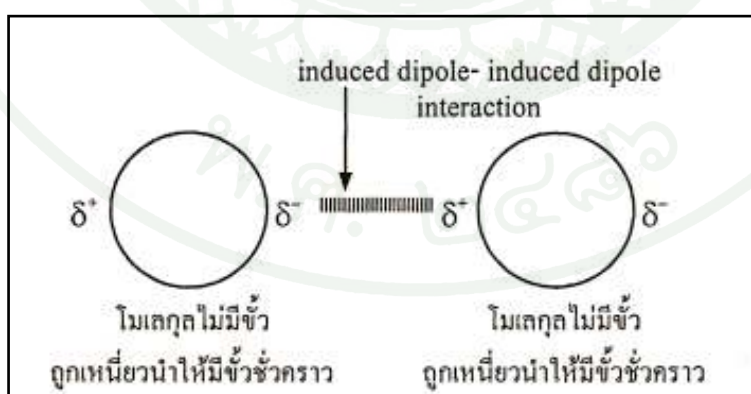
2.3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับนั้น อาจเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพ (physical force) หรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางเคมี (chemical force) หรือในบางกรณีอาจเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทั้งสองแบบ

2.3.1 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบทางกายภาพที่เกี่ยวกับตัวดูดซับ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waal force) คือ แรงที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุล (โควาเลนต์) ให้อยู่ด้วยกัน โดยโมเลกุล (โควาเลนต์) ทุกชนิดทั้งโมเลกุลมีขั้ว และโมเลกุลไม่มีขั้ว ต่างมีแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลกับโมเลกุล เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้นแรงแวนเดอร์วาลส์จะเพิ่มขึ้น แรงแวนเดอร์วาลส์มี 3 ประเภท ดังนี้

1) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ซึ่งเรียกว่าแรงลอนดอน (London force) หรือแรงแผ่กระจาย (dispersion force) เกิดขึ้นได้เนื่องจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ในขณะใดขณะหนึ่ง กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนในโมเลกุลไม่ได้กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอในลักษณะที่สมมาตร แต่จะเคลื่อนที่ไปหนาแน่นด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้ด้านนั้นมีขั้วไฟฟ้าลบมากขึ้นกว่าปกติ อีกด้านก็จะแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าบวก หรือกล่าวได้ว่า ทำให้โมเลกุลนั้นกลายเป็นโมเลกุลมีขั้วชั่วคราวขึ้นมา ขั้วของโมเลกุลที่เกิดขึ้นนี้จะไปเหนี่ยวนำโมเลกุลข้างเคียง ถ้าโมเลกุล มีขั้วหันขั้วบวกไปทางโมเลกุลใดก็จะเหนี่ยวนำให้โมเลกุลนั้นเกิดขั้วลบขึ้นทางด้านที่ติดกัน โดยวิธีนี้โมเลกุลจะเกิดการเหนี่ยวนำกันต่อไปจนเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (induced dipole-induced dipole attraction)

แรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าเพิ่มขึ้นตามมวลโมเลกุล เพราะเมื่อโมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้นจำนวนอิเล็กตรอนย่อมเพิ่มขึ้นด้วย เมื่ออิเล็กตรอนจำนวนมากไปอยู่หนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งจะแสดงอำนาจไฟฟ้าลบมาก และด้านตรงข้ามก็จะมีอำนาจขั้วไฟฟ้าบวกมากด้วย แรงดึงดูดระหว่างขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจึงมีความแข็งแรงมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากจำนวนอิเล็กตรอนในโมเลกุลแล้วรูปร่างของโมเลกุลก็มีส่วนที่จะทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์มีความแข็งแรงมากหรือน้อย เป็นต้นว่า ถ้าโมเลกุลไม่ซับซ้อน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปอยู่หนาแน่นทางด้านใดด้านหนึ่งได้ง่าย การเหนี่ยวนำให้เกิดขั้วของโมเลกุลจึงเป็นไปได้ง่าย แต่ถ้าโมเลกุลมีรูปร่างซับซ้อน อิเล็กตรอนที่ถูกเหนี่ยวนำจะเกิดการบดบังกัน สภาพขั้วจึงน้อย ทำให้แรงดึงดูดน้อยตามไปด้วย

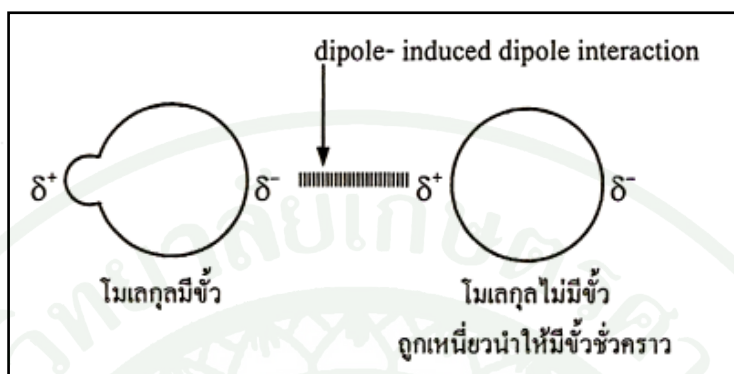


ภาพที่ 4 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

2) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว กรณีเช่นนี้เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้าไปใกล้โมเลกุลไม่มีขั้ว จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้โมเลกุลที่ถูกเหนี่ยวนำกลายเป็นโมเลกุล

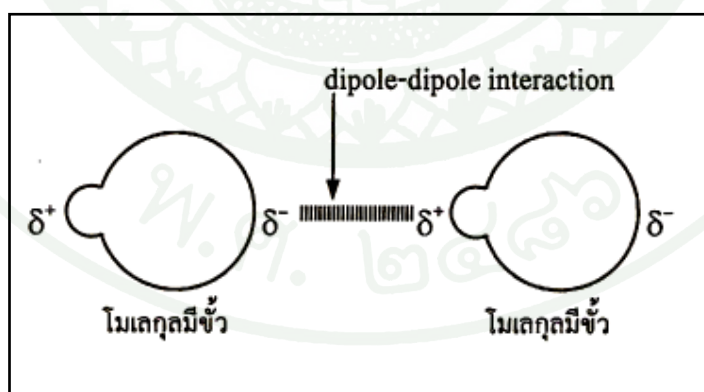
มีขั้วตามไปด้วย จึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วกับขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ (dipole-induced dipole attraction) ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้ว ที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีขั้วชั่วคราว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

3) แรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลมีขั้ว ด้านหนึ่งของโมเลกุลจะแสดงอำนาจของขั้วไฟฟ้าบวกและอีกด้านหนึ่งแสดงอำนาจขั้วไฟฟ้าลบ ขั้วไฟฟ้าบวกกับขั้วไฟฟ้าลบ จึงดึงดูดกัน เรียกว่าแรงไดโพล - ไดโพล (dipole-dipole attraction) ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

ในกรณีที่โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของธาตุอื่นที่มีค่า อิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ทำให้เกิดพันธะสภาพมีขั้วสูง โดยด้านไฮโดรเจนอะตอมมีสภาพขั้วบวกจึง

เกิดแรงดึงดูดกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงใน โมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)

แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงที่ไม่แข็งแรงนักเมื่อเทียบกับแรงยึดเหนี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น การทำลายแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างโมเลกุลของคลอรีน (Cl_2) 1 โมล ใช้พลังงาน 25 กิโลจูล แต่พลังงานที่ต้องใช้เพื่อทำลายพันธะ $\text{Cl}-\text{Cl}$ ในโมเลกุลคลอรีนมีค่าถึง 244 กิโลจูลต่อโมล ความแข็งแรงของแรงแวนเดอร์วาลส์มีค่าระหว่าง 0.01-0.1 ของพันธะโควาเลนต์ ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพสามารถผันกลับคือ เกิดการคายหรือเกิดการคายสารออก (desorption) อันเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยว (แรงแวนเดอร์วาลส์) ที่ไม่แข็งแรงระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ

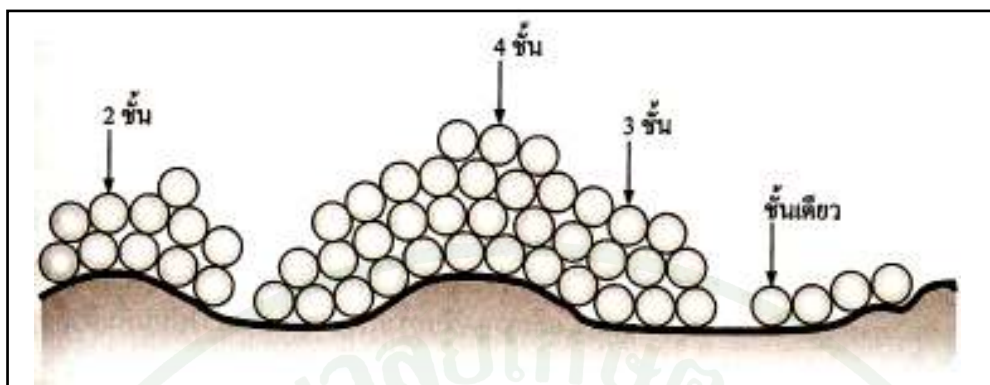
4) แรงยึดเหนี่ยวทางเคมี คือ การสร้างพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ซึ่งอาจเป็นพันธะไอออนิก (แรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ) หรือพันธะโควาเลนต์ การใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยเกิดสมดุลทั้งแรงดูด (อิเล็กตรอนกับโปรตอน) และแรงผลัก (อิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอน และโปรตอนกับโปรตอน)

การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ มีผลทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ขึ้น และการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayered) ทำให้ไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible process) จึงไม่เกิดการคาย

2.4 รูปแบบของการดูดซับ

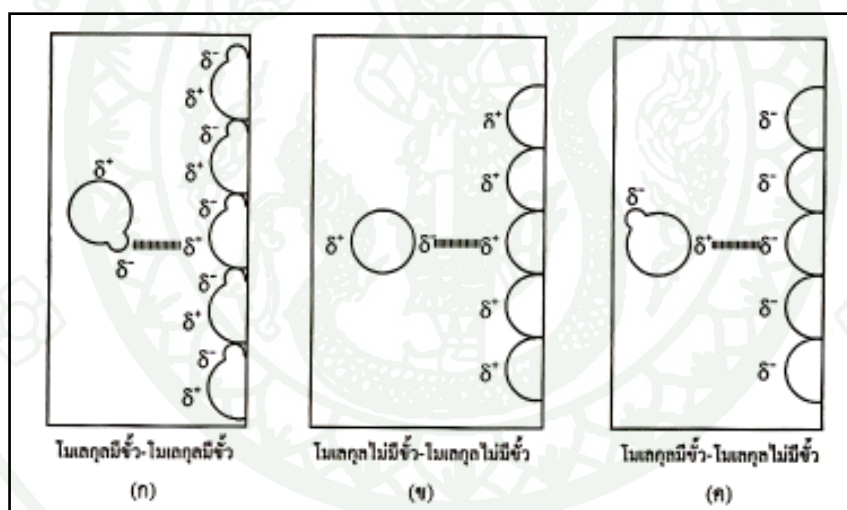
สำหรับรูปแบบของการดูดซับนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.4.1 การดูดซับทางกายภาพ (physisorption หรือ physical adsorption หรือ van der waals adsorption) เป็นแรงที่ทำให้เกิดการเกาะ หรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่พื้นผิวหน้าของตัวดูดซับ จัดเป็นแรงดูดค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพล – ไดโพล และ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีทั้งของตัวถูกดูดซับ และตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ เกาะอยู่ บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น (multilayered) โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนชั้นโมเลกุลที่ถูกซับก่อนหน้า และจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับ และระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวถูกดูดซับด้วยในระหว่างชั้น อาจเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ได้อย่างใดอย่างหนึ่ง การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้พลังงานของระบบลดลงเป็นการทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น



ภาพที่ 7 การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สองชั้น สามชั้น และสี่ชั้น

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)



ภาพที่ 8 การยึดเหนี่ยวด้วยแรงกายภาพ

หมายเหตุ ภาพ (ก) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลมีขั้วทั้งคู่

ภาพ (ข) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลไม่มีขั้วทั้งคู่

ภาพ (ค) ลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลตัวถูกดูดซับเป็น โมเลกุลมีขั้ว และโมเลกุลตัวดูดซับเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

2.4.2 การดูดซับทางเคมี (chemisorption) จะมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี กล่าวคือ จะต้องมีการสร้างพันธะเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (สร้างพันธะไอออนิก) หรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน (สร้างพันธะโควาเลนต์) ทำแรงยึดเหนี่ยวค่อนข้างสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในการดูดซับทางกายภาพ มีผลทำให้การดูดซับทางเคมีโดยส่วนใหญ่จะผันกลับไม่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางกายภาพที่สามารถจะเกิดการผันกลับได้ภายใต้สภาวะเดียวกัน การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นในบริเวณจำเพาะเจาะจงเท่านั้น และโมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บริเวณดังกล่าว จะเป็นแบบชั้นเดียว (monolayer) และเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่การดูดซับทางกายภาพเกิดได้ทั่วไปบนพื้นผิวตัวดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำ ประมาณ 10 หรือน้อยกว่า 10 กิโลแคลอรีต่อโมลของตัวถูกดูดซับ ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยประมาณ 20 - 100 กิโลแคลอรีต่อโมลของตัวถูกดูดซับ (นิพนธ์ และคณิตา (2550) อ้างโดย Maron and Prutton (1961))

2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

2.5.1 อัตราการปั่นกววน เพื่อให้มีการดูดซับผิวอาจขึ้นอยู่กับ การแพร่ผ่านฟิล์ม หรือการแพร่เข้าสู่โพรง ถ้าอัตราการปั่นกววนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับผิวจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารถูกดูดซับผิวเข้าไปหาสารดูดซับผิว ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับผิว ในตรงกันข้าม ถ้าอัตราการปั่นกววนสูง จะเกิดฟิล์มบาง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาสารดูดซับผิวได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในกรณีการแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับผิว

2.5.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับผิว ความสามารถในการดูดซับผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ สารดูดซับผิวที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลของสารถูกดูดซับผิวได้มากกว่าสารดูดซับผิวที่มีพื้นที่ผิวน้อย และอัตราการดูดซับผิวเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดสารดูดซับผิว เช่น คาร์บอนผง (powder activated carbon, PAC) มีอัตราเร็วในการดูดซับผิวสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด (granular activated carbon, GAC)

2.5.3 ขนาดและลักษณะของสารถูกดูดซับผิว ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับผิว ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของสารดูดซับผิว เช่น คาร์บอน การดูดซับผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอลิ (พอลิเข้าไปในช่องว่างได้) ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารถูกดูดซับผิวและสารดูดซับผิวจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อน จากนั้น โมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดซับ

ผิวจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดติดผิว นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง

2.5.4 ความสามารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดติดผิว ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดติดผิว การดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดติดผิวตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ในที่นี้ คือ น้ำ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถถูกดูดติดผิวได้ดี

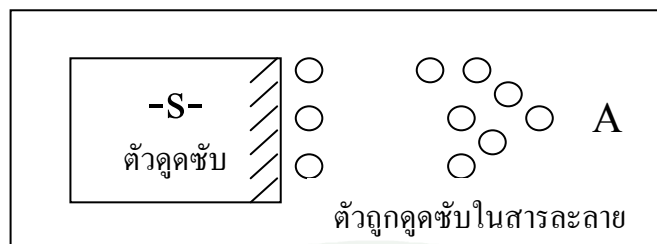
2.5.5 พิเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดติดผิวด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของสารดูดติดผิวได้ดี

2.5.6 อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิว กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลงที่อุณหภูมิสูงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาแบบกระบวนการคายความร้อน

2.5.7 เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดติดผิว และอายุการใช้งานของถังดูดติดผิว โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดติดผิวเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้ว ก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิวเลย

2.6 สมดุลการดูดซับ (adsorption equilibrium)

เมื่อเติมตัวดูดซับปริมาณหนึ่งลงไปในตัวละลายที่มีโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้มข้น ตอนต้นโมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับ เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกัน โมเลกุลตัวถูกดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวจะคายซับออกมา พบว่าอัตราการคายซับจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับ เมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายซับ ณ สถานะสมดุลของการดูดซับ จะได้ว่าจำนวนโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและจำนวนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่คายซับออกมามีปริมาณคงที่



ภาพที่ 9 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ

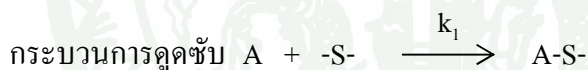
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

ให้ A เป็นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ มีความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น C_0 โมลต่อลิตรในสารละลาย

-S- เป็นโมเลกุลของตัวดูดซับ

q เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

(1-q) เป็นสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับ



r_1 แทนอัตราการดูดซับ ซึ่งจะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย หรือความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายให้เท่ากับ C และยังแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ไม่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

k_1 แทนค่าคงที่อัตราการดูดซับ

$$r_1 = k_1[C](1-q)$$



r_2 แทนอัตราการคาย ซึ่งจะแปรตามสัดส่วนโมเลกุลตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเท่านั้น

k_2 แทนค่าคงที่อัตราการคาย

$$\text{ลิขสิทธิ์} \quad r_2 = k_2(q)$$

ณ สภาวะสมดุล $r_1 = r_2$

$$k_1[C](1-q) = k_2(q)$$

$$\frac{q}{(1-q)} = \frac{k_1}{k_2}[C] = K[C]$$

$$q = \frac{K[C]}{1+K[C]} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่สมดุลการดูดซับ



ณ สภาวะสมดุล $K = \frac{q}{C} \dots\dots\dots(2)$

ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิว = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่หลุดออกมา
ของตัวดูดซับ จากตัวดูดซับ

$$qW = V(C_i - C_e)$$

เมื่อ q เป็นปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ
หน่วยเป็นปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับเป็น โมลต่อกิโลกรัม (mol/kg) หรือโมลต่อกรัม (mol/g)

W เป็นมวลของตัวดูดซับที่ใช้ หน่วยเป็นน้ำหนัก เช่น มิลลิกรัม (mg) กรัม (g) หรือ
กิโลกรัม (kg)

V เป็นปริมาตรของสารละลายที่มีตัวถูกดูดซับละลายอยู่ หน่วยเป็นลูกบาศก์
เซนติเมตรหรือลิตร

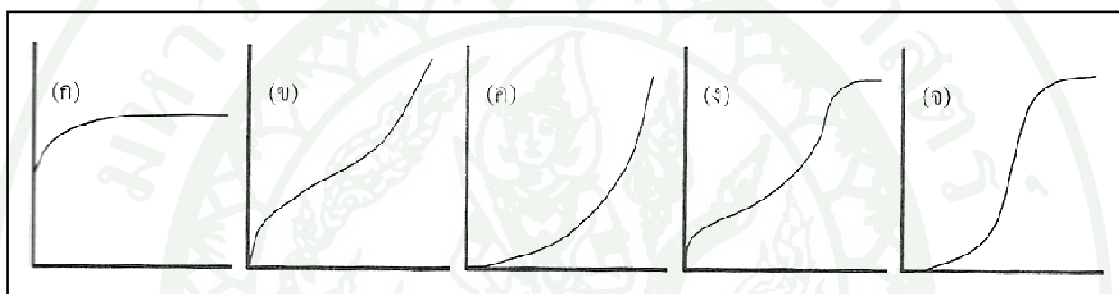
C_i เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับก่อนการดูดซับที่อยู่ในสารละลาย
หน่วยเป็นความเข้มข้นเป็น โมลต่อลิตร (mol/l)

C_e เป็นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย หน่วยเป็นความเข้มข้น
เป็น โมลต่อลิตร (mol/l)

2.7 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (q) กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย (C) ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่

ถ้าเขียนกราฟระหว่างค่า q ในแกนตั้ง และค่า C ในแกนนอนจะให้รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอร์มของการดูดซับ 5 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน

ที่มา: นิพนธ์ และคณะ (2550) อ้างโดย Maron and Prutton (1961)

จากภาพที่ 10 รูป (ก) จัดเป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบชั้นเดียว ส่วนรูป (ข) ถึง (จ) เป็นไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบหลายชั้น

สมการไอโซเทอร์มของการดูดซับจะอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์ ในที่นี้จะกล่าวถึง 4 สมการที่นิยมใช้กัน ดังนี้

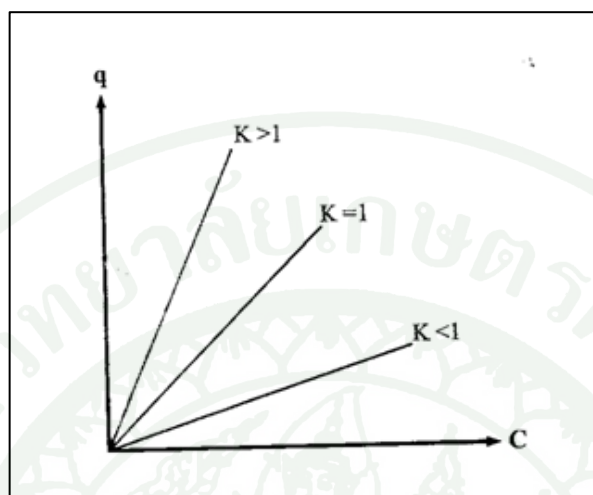
2.7.1 สมการดูดซับแบบเส้นตรง (Linear equation) จัดเป็นสมการเชิงเส้นระหว่างค่า q และ C ตามสมการที่ (2)

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

$$\text{จะได้ } q = KC$$

จะเห็นว่าปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ จะแปรตามความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายในสภาวะสมดุล โดยกำหนดว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีบริเวณ

ให้ถูกดูดซับแบบไม่จำกัดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเป็นแบบแรงแวนเดอร์วาลส์ ใช้ได้ดีกับสารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับต่ำ



ภาพที่ 11 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเส้นตรง

ที่มา: นิพนธ์ และคณะ (2550)

$K > 1$ แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้มากกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K < 1$ แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้น้อยกว่าบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

$K = 1$ แสดงว่าการดูดซับอยู่ในสภาวะสมดุล

2.7.2 สมการการดูดซับของฟรอนด์ลิช (Freundlich adsorption isotherm) สามารถใช้อธิบาย ไอโซเทอร์มของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous adsorption surface พื้นที่ผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด) มีรูปแบบของสมการเป็นดังนี้

$$q = KC^{1/n} \dots\dots\dots(3)$$

K และ n เป็นค่าคงที่ของฟรอนด์ลิช (freundlich constant) ของแต่ละระบบที่กำลังศึกษา หรือทดลอง และ n ซึ่งใช้อธิบายลักษณะเส้นกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับ โดยทั่วไป n จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง

เมื่อจัดรูปสมการที่ (3) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใส่ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \dots\dots\dots(4)$$

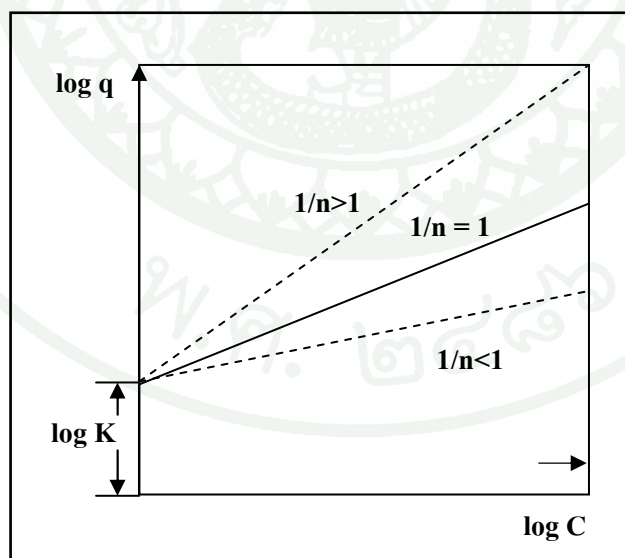
เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัมต่อกรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

$\frac{1}{n}$ คือ ความชันของกราฟ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

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



ภาพที่ 12 กราฟความชันระหว่าง $\log q$ และ $\log C$

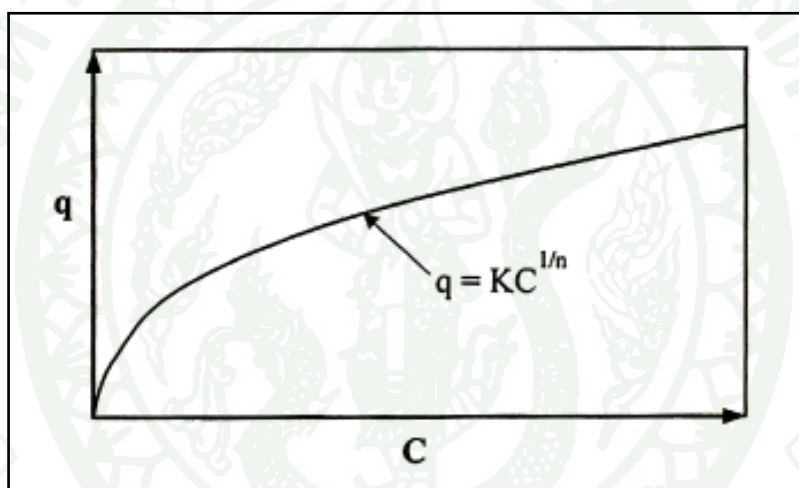
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

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

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

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

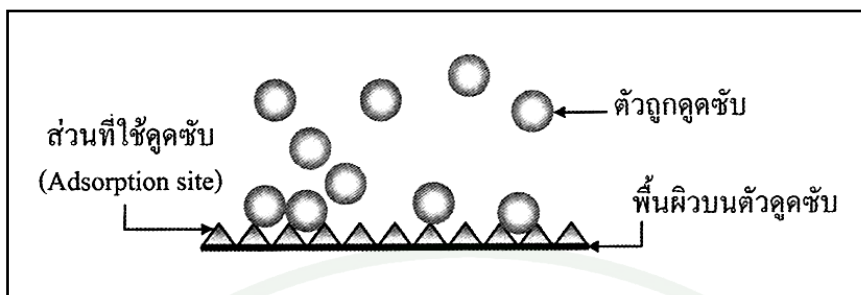
เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า q และ C จากสมการที่ (3) จะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับถูกดูดซับได้มากที่สุด เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถจะเกิดการซ้อนทับกันได้



ภาพที่ 13 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรอนดิช

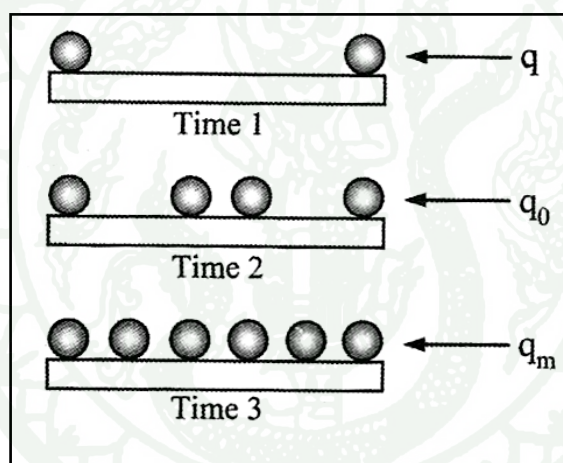
ที่มา: นิพนธ์ และคณะ (2550)

2.7.3 สมการการดูดซับของแลงเมียร์ (langmuir adsorption isotherm) มีข้อกำหนดว่าพื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (monogeneous adsorption surface) มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีโอกาสเคลื่อนที่ (เคลื่อนย้าย) หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด) ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 14 แบบจำลองพื้นผิวตัวดูดซับของสมการแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)



ภาพที่ 15 การดูดซับของแลงเมียร์เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

จากความรู้เรื่องสมดุลการดูดซับ และจากสมการที่ (1) ถือว่าการดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับหนึ่งรูปแบบของสมการแลงเมียร์ จะใช้สมการที่ (1) เพียงต้องคูณปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับได้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับ แทนด้วย q_m ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{1 + KC} \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อจัดรูปสมการที่ (5) ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K q_m C} \quad \dots\dots\dots(6)$$

เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัมต่อกรัม)

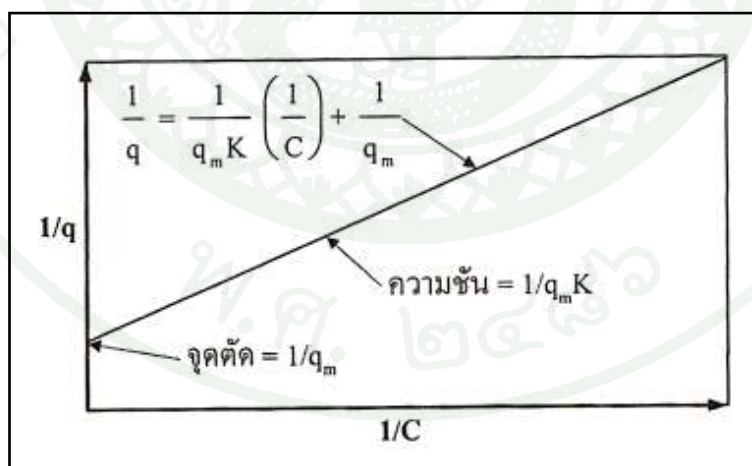
q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

K คือ ค่าคงที่การดูดซับ

C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

เขียนกราฟระหว่าง $\frac{1}{q}$ และ $\frac{1}{C}$ จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ $\frac{1}{K q_m}$ และ

จุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{q_m}$ ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 16 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2550)

2.7.4 สมการการดูดซับแบบเบท (Brunauer Emmett Teller หรือ BET adsorption isotherm)

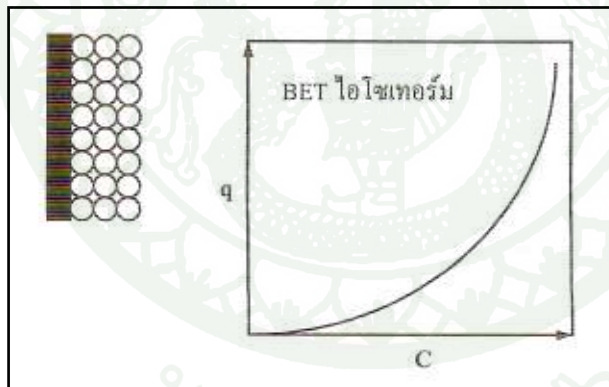
ถูกพัฒนาขึ้นจากนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกา 3 ท่าน ในปี ค.ศ.1938 Stephen Brunauer, Paul Emmett และ Edward Teller โดยมีสมมติฐานดังนี้

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

สมการการดูดซับแบบเบทถูกพัฒนามาจากสมการการดูดซับของแลงเมียร์ มีรูปแบบสมการดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{(C_0 - C)[1 + (K-1)C/C_0]} \dots\dots\dots (7)$$

กราฟที่เขียนระหว่าง q กับ C เป็นดังนี้



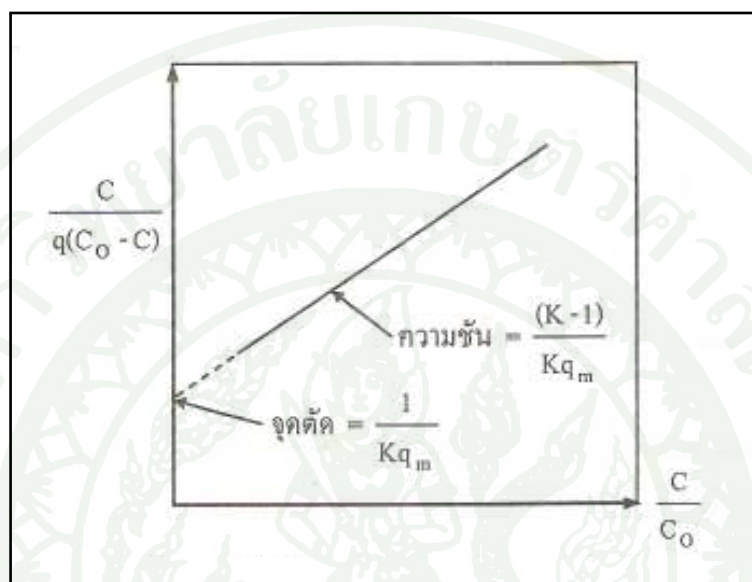
ภาพที่ 17 ไอโซเทอรัมการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของเบท

ที่มา: นิพนธ์ และคณิดา (2550)

เมื่อจัดรูปสมการที่ (7) ใหม่จะได้สมการดังนี้

$$\frac{C}{q(C_0 - C)} = \frac{1}{q_m K} + \frac{(K-1)}{q_m K} \left(\frac{C}{C_0} \right) \dots\dots\dots (8)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า $\frac{C}{q(C_0 - C)}$ ค่า $\frac{C}{C_0}$ จะได้กราฟเส้นตรง มีความชันเท่ากับ $\frac{(K-1)}{Kq_m}$ และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ $\frac{1}{Kq_m}$



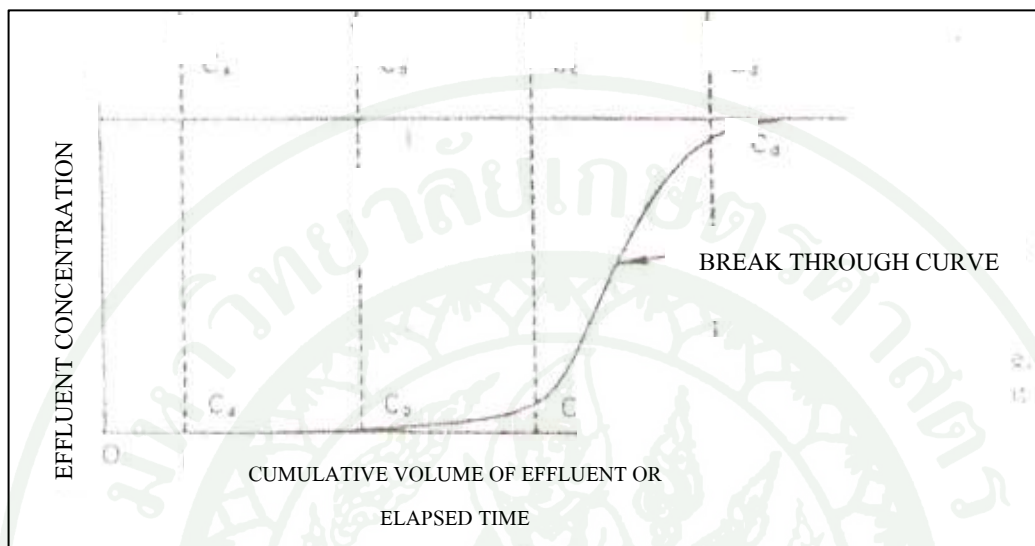
ภาพที่ 18 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของเบท

ที่มา: นิพนธ์ และกณิดา (2550)

จากที่กล่าวมาทั้งหมด พอสรุปได้ว่า สมดุลการดูดซับเป็นการศึกษาถึงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ ที่สภาวะสมดุลความสัมพันธ์ระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับจะอธิบายด้วย ไอโซเทอร์มของการดูดซับ ซึ่งจะบอกด้วยอัตราส่วนปริมาณของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล ที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง

การทดลองแบบไหลต่อเนื่อง เป็นการทดลองเพื่อหาอายุการใช้งานของตัวดูดซับ ที่มีความเป็นไปได้ในการดูดซับตัวถูกดูดซับก่อนจะหมดประสิทธิภาพ โดยที่การทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง เมื่อตัวถูกดูดซับไหลผ่านตัวดูดซับ ตัวดูดซับชั้นบนจะหมดประสิทธิภาพการดูดซับก่อน และชั้นของตัวดูดซับที่หมดประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเวลาการใช้งาน หลังจากนั้นความเข้มข้นจะถึงค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ เรียกจุดนี้ว่า จุดเบรคทรูจ (Break Through Point) และเส้นโค้งดังแสดงในภาพที่ 19 เรียกว่า เส้นโค้งเบรคทรูจ (Break Through Curve) โดยเวลาที่นับจากเริ่มต้นการดูดซับจนถึงจุดเบรคทรูจ เรียกว่า เวลาการใช้งาน โดยที่เวลาการใช้งานของตัวดูดซับจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวดูดซับ อัตราการไหลแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง และความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับและเมื่อ

ตัวดูดซับไม่สามารถที่จะดูดซับได้อีก เรียกจุดนี้ว่า จุดที่ตัวดูดซับหมดประสิทธิภาพ (Exhaustion Point) (Clark and Lykins, 1989)



ภาพที่ 19 ลักษณะของ break through point

ที่มา: Sunstorm and Klei (1979)

2.8 สารที่มีความสามารถในการดูดซับ อาจแบ่งได้ 5 ประเภท

2.8.1 ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และ แอคติเวเตดซิลิกา (zeolite) สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัมแต่สารสังเคราะห์ อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสีย คือ จับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

2.8.2 ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตรต่อกรัม

2.8.3 ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน, resin) ชนิดพิเศษ ที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

2.8.4 วัสดุชีวภาพ (biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางด้านการเกษตร เช่น ขี้เลื่อย (sawdust) ไคโตซาน (chitosan) เปลือกกาแฟ กากกาแฟที่ใช้แล้ว กากชาและกากชาเขียวที่ใช้แล้ว ฟางข้าว (rice straw) เปลือกไม้ (bark) ถั่วแกลบดำ ถ่านจะด้นกกกลม ฐปถาธิ พุทธรักษา กะลามะพร้าว เป็นต้น

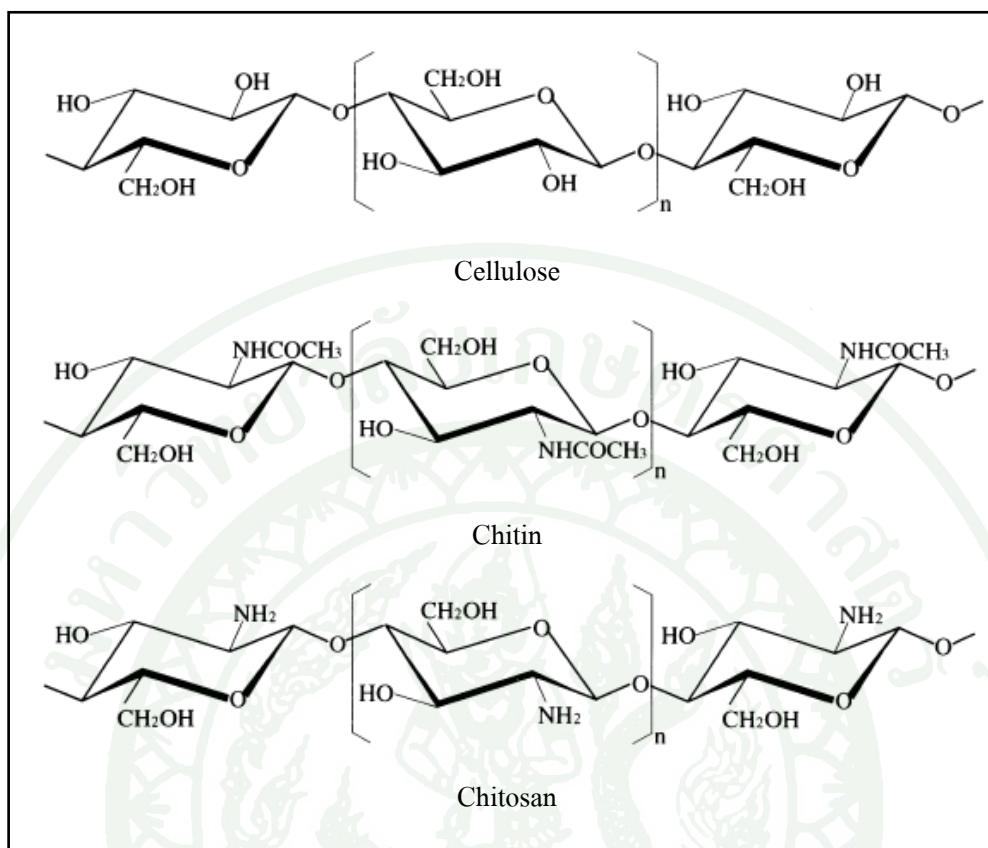
2.8.5 สารดูดซับชีวภาพ (biosorbent) ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือราสายพันธุ์ต่างๆ และสาหร่าย

3. ไคตินและไคโตซาน

3.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน (สุวลิ, 2542)

ไคตินและไคโตซานเป็นสารโคพอลิเมอร์ (copolymer) ธรรมชาติที่จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสม (heteropolysaccharide) ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีแร่ธาตุไนโตรเจนเกาะอยู่ภายในโมเลกุล ทำให้มีสมบัติเฉพาะตัวในการเกิดปฏิกิริยากับสารหลายชนิด ไคตินละลายยากจึงมักใช้ในรูปแบบของแข็งโดยตรง ส่วนไคโตซานเกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิล (deacetylation) ของสารไคตินด้วยด่าง ไคโตซานละลายได้ในกรดอินทรีย์ โดยเฉพาะกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งในด้านอุตสาหกรรม กระบวนการสร้างและตกตะกอน (coagulation and flocculation) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (waste recovery)

โครงสร้างทางเคมีของไคตินมีลักษณะคล้ายเซลลูโลส แต่ต่างกันตรงหน่วยย่อย (monomer) ของเซลลูโลสจะเป็น D-glucose ส่วนหน่วยย่อยของไคติน คือ N-acetyl-D-glucosamine (2-acetamido-2-deoxy-D-glucose) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกลูโคส ชื่อทางเคมีของไคตินคือ Poly [β -(1 $\rightarrow$ 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose] ไคโตซานคือ ไคตินในรูปที่มีปริมาณด่างเข้มข้นทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนไปโดยหมู่อะเซตามิโด (-NHCOCH₃) เปลี่ยนเป็นหมู่เอมิโน (-NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ดังนั้นไคโตซาน คือ พอลิเมอร์ของ D-glucosamine (2-amino-2-deoxy-D-glucose) ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 20 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และไคโตซาน

ที่มา: Okuyama *et al.* (2000)

3.2 สมบัติของไคโตซาน (พัฒน์นัท, 2545)

ไคโตซานมีสมบัติเป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ มีความเสถียรสูง มีสีขาวค่อนข้างเทา (grayish-white) สามารถเสถียรได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 260 °C จึงจะสลายตัว

3.2.1 สมบัติความเป็นแคทไอออน (cationic properties)

ไคโตซานมีสมบัติเป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์แบบเส้นตรง (Linear polyelectrolyte) มีความหนาแน่นของประจุสูง ใช้เป็นสารสร้างตะกอน (floculant) สามารถยึดจับกับประจุลบที่ผิวได้ดี และยังสามารถจับกับโลหะได้อีกด้วย

3.2.2 สมบัติทางเคมี (chemical properties)

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^6 และเป็นพอลิเมอร์สายตรงที่เป็นของแข็งที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (amorphous solid) มีหมู่อะมิโนที่พร้อมจะละลายในกรดอินทรีย์ที่เป็นกรดอ่อน เช่น กรดมะนาว (citric acid) เป็นต้น การละลายของไคโตซานมีสมบัติสำคัญหลายอย่าง เช่น อยู่ในรูปของเอมีนอิสระ (free amine; $-NH_2$) จะไม่ละลายน้ำที่พีเอชเป็นกลางและที่พีเอชเป็นกรด เอมีนอิสระจะรับอิเล็กตรอน (protonate) ได้เป็นเอมีนที่มีความเข้มของประจุบวกสูง (cationic amine group; $-NH_3^+$) เป็นต้น

3.2.3 สมบัติสารละลายไคโตซาน (chitosan solution properties)

สารละลายไคโตซานในกรดอินทรีย์เกิดเป็นสายตรงของพอลิเอมีน (polyamine) ที่อยู่ในรูปของโปรโทเนต (protonated form) ซึ่งมีความเข้มของประจุบวกสูงและมีสมบัติที่พร้อมจะทำปฏิกิริยากับชีวโมเลกุลที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี ไคโตซานไม่สามารถละลายได้ที่พีเอชมากกว่า 6.5 ความสามารถในการละลายของไคโตซานจะถูกจำกัดใน H_3PO_4 ไคโตซานไม่สามารถละลายในสารละลายอินทรีย์หลายๆ ชนิดได้

3.2.4 Degree of deacetylation (%DD)

เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคตินและไคโตซาน เนื่องจากไคตินและไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างมอโนเมอร์สองชนิด คือ *N*-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนของ D-glucosamine มากกว่า *N*-acetyl-D-glucosamine คือ มีค่า Degree of deacetylation สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน (สิรินภา, 2544)

3.3 การใช้ประโยชน์ของไคโตซาน

3.3.1 ด้านการบำบัดน้ำทิ้ง

ไคโตซานมีสมบัติเป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์แบบเส้นตรง (linear polyelectrolyte) โดยมีความหนาแน่นทางประจุสูงจึงใช้ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอน และตกตะกอน (floculate and coaculating agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่อะมิโนที่สามารถจับสารที่เป็นประจุลบได้ เช่น โปรตีน ลีซอม และพอลิเมอร์อื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถจับกับโลหะหนักได้ เช่น ทองแดง เหล็ก และสังกะสีได้ด้วย

ไนโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อน (coordinate) กับหมู่อะมิโน

จากการศึกษาพบว่าไคโตซานมีความโดดเด่นในสมบัติในการจับโลหะหนัก ทำให้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ และโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ปรอท และสังกะสี จึงมีประโยชน์ในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดี การปรับสภาพน้ำดื่ม น้ำในสระ และน้ำทิ้งต่างๆ และยังมีประสิทธิภาพในการทำให้น้ำผลไม้และเครื่องดื่มใสขึ้นในกระบวนการผลิตอีกด้วย และนอกจากนี้ยังพบว่าไคโตซานยังมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีธรรมชาติที่เกิดจากการเน่าเปื่อยย่อยสลายของพืชในแหล่งน้ำได้ดีด้วย (สุภาวดี และคณะ, 2550)

3.3.2 ด้านการเกษตร

นำไคโตซานและไคตินโปรตีนคอมเพล็กซ์มาทดแทนสารเคมีบางชนิดที่ใช้ในการกำจัดเชื้อรา *Sclerotium rolfii* ซึ่งทำให้เกิดโรคโคนเน่าในพืชตระกูลถั่ว โดยไคโตซานจะเป็นตัวชักนำยีนที่ต่อต้านเชื้อโรคพืช ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตให้เพิ่มมากขึ้น ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินทางด้านอินทรีย์วัตถุ

3.3.3 ด้านเภสัชกรรม

ไคโตซานสามารถใช้นำส่งด้วยยาได้อย่างมีระบบเข้าไปยังร่างกายหรือเฉพาะที่ได้ สามารถใช้ในรูปแบบประวิงเวลาเพื่อปล่อยตัวยาวอย่างช้าๆตามเวลา ใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์ เช่น ครีมและโลชั่นให้ความชุ่มชื้น (moisturizer) ผลิตภัณฑ์บำรุงรักษาผม ใช้ในการดูดซับโลหะหนักในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์

3.3.4 ด้านการแพทย์

นำไคโตซานมาทำเป็นเยื่อไคโตซานรูปผ้าพันแผล ช่วยในการรักษาและด้านการติดเชื้อของบาดแผล สามารถทำให้เนื้อเยื่อให้เป็นปกติ ทำให้เซลล์เม็ดเลือดขาวมารวมตัวอย่างรวดเร็วที่บริเวณแผล นำมาประยุกต์ใช้ในกรณีแผลไฟไหม้โดยแปรรูปไคโตซานให้อยู่ในรูปไคโตซานอะซิเตทเป็นสารละลายใส่แผลโดยตรง จะช่วยบรรเทาอาการปวดและลดการติดเชื้อ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ไคโตซานด้านการแพทย์อีกหลายอย่าง ได้แก่ การรักษากระดูกและฟัน การผ่าตัด การรักษาโรคตาและเหงือก

3.3.5 ด้านอาหาร

ใช้เป็นองค์ประกอบอาหารหลายรูปแบบ ได้แก่ อาหารบำรุงสุขภาพ (nutraceuticals) ใช้ในการช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือดที่เป็นปัจจัยเสี่ยงของโรคหัวใจ นำมาใช้ในการตกตะกอนไวน์ขาวและไวน์แดงได้ดี ใช้เป็นฟิล์มเคลือบอาหาร ช่วยในการลดแบคทีเรียและยืดอายุการเก็บได้นานขึ้น สามารถดัดแปลงไปใช้ได้กับเนื้อสัตว์และอาหารทะเลได้ โดยการแปรให้อยู่ในรูปของ SPH (shrimp protein hydrolysate) ใช้ผลิตซอสปรุงรสกุ้ง และใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นกุ้ง

3.3.6 ด้านอื่นๆ

นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์กระดาศและสิ่งทอ ได้แก่ การผลิตไส้กรอง สำหรับน้ำและอากาศ บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สำหรับอาหารหรือผลิตผลทางเกษตร นำไคโตซานกับไฮพอลิโซนิค (polysonic) เป็นใยที่ทำจากเชื้อไม้ นำมาทอกับใยฝ้ายเพื่อใช้ในการทำชุดชั้นใน มีสมบัติในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย ที่ทำให้เกิดกลิ่นและเชื้อราที่ทำให้เกิดอาการผื่นคัน

3.4 หลักการสกัดไคติน-ไคโตซาน

หลักการสกัดไคติน-ไคโตซาน แบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ กระบวนการสกัดทางเคมี และกระบวนการสกัดทางชีวภาพ ซึ่งอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.4.1 ทางเคมี แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1) การสกัดแยกโปรตีน (deproteination) ไคตินจะจับกับโปรตีนอย่างหลวมๆ เกิดเป็นสารประกอบที่เรียกว่า ไกลโคโปรตีน โดยในสัตว์แต่ละชนิดจะมีสัดส่วนของไคตินและโปรตีนที่แตกต่างกัน เพราะฉะนั้นความยากง่ายในการกำจัดโปรตีนออกจากไคตินจะขึ้นอยู่กับปริมาณของโปรตีนที่จับอยู่กับไคตินนั่นเอง

2) การสกัดแยกเกลือแร่ (demineralization) การกำจัดเกลือแร่และแร่ธาตุควรแช่ด้วยกรดที่มีความเข้มข้นต่ำ ในเวลาที่เหมาะสม และมีการคนอย่างสม่ำเสมอ

3) การกำจัดหมู่อะซิทิล (deacetylation) การกำจัดหมู่อะซิทิล ทำได้โดยใช้สารละลายด่าง ซึ่งสารละลายด่างที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40-60 (น้ำหนักต่อปริมาตร) การใช้สารละลายด่างเข้มข้นที่อุณหภูมิสูงในเวลาอันสั้น จะทำให้การกำจัด

หมู่อะซิทิลเกิดได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากไคตินมีโครงสร้างที่แข็งแรง ทำให้มีความต้านทานการดึงหมู่ อะซิทิลและมีความหนาแน่นของเซลล์ในโครงสร้างผลึกของไคตินและพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะตอม ไนโตรเจนและหมู่คาร์บอกซิล

3.4.2 ทางเทคโนโลยีชีวภาพ

เป็นวิธีที่สามารถควบคุมกระบวนการคุณภาพการผลิต และหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี ที่รุนแรงได้ โดยใช้จุลินทรีย์แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*) เพื่อแยกเอาโปรตีนออกแทนการใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ahmad *et al.* (2005) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดของแข็งแขวนลอยและน้ำมันที่ตกค้างในน้ำทิ้ง จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม โดยเปรียบเทียบตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ไคโตซาน ดินเบนโทไนต์ และถ่านกัมมันต์ ทำการทดลองโดยใช้วิธี jar-test พบว่า ไคโตซานมีศักยภาพในการดูดซับได้ดีกว่าตัวดูดซับ ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งสามารถดูดซับน้ำมันที่ตกค้างได้ร้อยละ 99 และสามารถดูดซับของแข็งแขวนลอยในน้ำได้ เล็กน้อย คือ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณไคโตซาน 0.5 กรัม ระยะเวลาปั่นกว 30 นาที อัตราเร็ว ในการปั่นกว 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาที่ตกตะกอน 30 นาที และ ฟิเอชอยู่ในช่วง 4.0-5.0 ส่วนในตัวดูดซับ ดินเบนโทไนต์ และถ่านกัมมันต์ สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้เพียงอย่างเดียว โดยสามารถลด ได้ถึง 35 และ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสภาวะที่เหมาะสม

Chih-Yu *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษากำจัด แพททาเลท เอสเทอร์ (phthalate esters; PAEs) โดยใช้ไคโตซานชนิดเม็ดที่เชื่อมด้วยแอลฟา-ไซโคลเด็กซ์ทริน (α -cyclodextrin-linked chitosan bead) ผลการศึกษาพบว่า ไคเฮปทิล แพททาเลท (DHpP) ถูกดูดซับได้สูงสุด คือ 3.21 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อ เปรียบเทียบกับ PAEs 6 ชนิด โดย DHpP สามารถหลุดออกไคโตซานชนิดนี้ได้ร้อยละ 94.6 ด้วยการปั่นกว เมธานอลกับน้ำ ด้วยอัตราส่วนปริมาตร 8:2 และไคโตซานชนิดเม็ดที่เชื่อมด้วย α -cyclodextrin สามารถนำกลับมาใช้เป็นตัวดูดซับใหม่ได้ 20 ครั้งภายใต้กระบวนการทดลองแบบเบตซ์ ประสิทธิภาพ การดูดซับ PAE ด้วยไคโตซานชนิดนี้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ฟิเอช, NaCl และ Ca^{2+} ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

Yanhua *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษากำจัดเปอร์คลอเรท (perchlorate) ในสารละลาย ด้วยไคโตซาน ที่ทำการเชื่อมขวางที่มีความเข้มข้นของประจุบวก (Protonated cross-linked chitosan) ในไอโซโทมของการดูดซับ กระบวนการดูดซับภายใต้อิทธิพลของ ฟิเอชและไอออนที่มีประจุลบ โดยการดูดซับผ่านคลอแลม

ด้วยเวลาที่เหมาะสมและนำตัวดูดซับมาวิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องไอโซเทอมของแลงเมียร์ และฟรุนดลิช และที่พื้นผิวของตัวดูดซับสามารถดูดซับได้สูงถึง 45.455 มิลลิกรัมต่อกรัม พีเอชที่เหมาะสมคือ พีเอช 4 ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เหมาะสมคือ 8.1 นาที

Qiangetal. (2008) ได้ทำการศึกษาเรื่องการกำจัดเปอร์คลอโรออกเทน ซัลโฟเนต (Perfluorooctane sulfonate; PFOS) โดยใช้ไคโตซานที่ฝังด้วยโมเลกุลของพอลิเมอร์ (molecularly imprinted polymer; MIP) เปรียบเทียบกับไคโตซานที่ไม่ได้ฝังด้วยโมเลกุลของพอลิเมอร์ (non- imprinted polymer; NIP) เป็นตัวดูดซับ โดยพบว่า MIP สามารถดูดซับ PFOS ได้ 560 ไมโครโมลต่อกรัม ส่วน NIP สามารถดูดซับได้เพียง 258 ไมโครโมลต่อกรัม ซึ่งสรุปได้ว่า MIP เป็นตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับ PFOS ได้อย่างดี

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์

- 1.1 เครื่องยูวีวิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) Spectrum รุ่น SP-1102
- 1.2 เครื่องวัดพีเอช รุ่น 410 บริษัท SCIENCE TECH Co., LTD.
- 1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก อ่านค่าทศนิยม 1 ตำแหน่ง 0.0 g รุ่น AB 204-S
- 1.4 เครื่องเขย่า (Shaker) Orbit Shaker รุ่น OM-S4050 บริษัท UMAC Scientific Co., Ltd.
- 1.5 ตู้อบ (Oven) รุ่น OF-11E บริษัท JEIO TECH KOREA
- 1.6 กระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน ของ whatman
- 1.8 เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
- 1.9 ชุดกรองประดิษฐ์ (Costomized filter) และภาชนะทรงกระบอกสำหรับบรรจุตัวดูดซับแบบต่อเนื่อง
- 1.10 ปั๊ม (Pump)
- 1.11 เครื่องแก้ว

2. สารเคมี

- 2.1 ฟอรั้มัลดีไฮด์ (Formaldehyde, CH_2O) 38% w/w ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท VWR International
- 2.2 กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid; H_2SO_4) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท J.T Baker

2.3 กรดโครโมโทรปิก (chromotropic acid; $C_{10}H_8O_8S_2$) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท Finechem

2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท AGC Chemical

2.5 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid; HCl) ชนิดเกรดวิเคราะห์ บริษัท UNI-CHEM

2.6 ไคโตซาน

1) ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

2) ไคโตซานเชิงพาณิชย์ชนิดเกล็ด บริษัท เอ็นเอ็นซี. โปรดักส์ จำกัด

วิธีการ

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 50% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.3 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 โมลาร์

นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมา 85 มิลลิลิตร เทใส่ในขวดปรับปริมาตรที่มีน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.4 เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์มาตรฐาน 38% w/w มา 1.21 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

1.5 เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 200 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.6 การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 40 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.7 การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. การเตรียมไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์

2.1 ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

ไคโตซานจากเปลือกกุ้งสามารถเตรียมได้โดยกระบวนการผลิตไคโตซานจากเปลือกและหัวกุ้งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ 3 ขั้นตอน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

นำเปลือกและหัวกุ้งมาล้างเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกแล้วอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปบดให้ละเอียด

2) ขั้นตอนการกำจัดโปรตีน (deproteinization)

การกำจัดโปรตีน ไคตินอยู่ร่วมกับโปรตีนโดยการจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนหรือพันธะโควาเลนต์ โดยกลูโคซามีนในไคตินจับกับหมู่เอสพาดิลและหมู่ซัลฟิเลตของโปรตีนเกิดเป็นสารประกอบไกลโคโปรตีน ซึ่งเปลือกกุ้งที่บดแล้ว 125 กรัม เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 750 มิลลิลิตร (สัดส่วน 1:6 น้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้งเพื่อกำจัดสารต่าง โดยทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส ที่ให้สีแดงน้ำแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3) ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ (demineralization)

การกำจัดแร่ธาตุ โดยทั่วไปแล้วเปลือกของสัตว์จำพวกกุ้งจะมีแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบร้อยละ 30 - 50 แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลักของสารอินทรีย์ในเปลือก แต่อาจมีแคลเซียมฟอสเฟตในปริมาณร้อยละ 8-10 ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดโดยการกำจัดแร่ธาตุส่วนใหญ่นิยมใช้กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล อัตราส่วน 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ไคติน มีลักษณะสีขาวไม่ละลายในน้ำกรดอ่อน ดังอ่อน ดังแก่ และตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ แต่จะละลายในกรดฟอสฟอริกบริสุทธิ์และสารละลายไฮโปคลอไรต์ ล้างน้ำหลายๆ ครั้ง ที่ให้สีแดงน้ำแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

4) ขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซีทิล (deacetylation)

การกำจัดหมู่อะซีทิล เนื่องจากคาร์บอนตำแหน่งที่สองของไคตินประกอบด้วยกลุ่มอะซีทิลเอมีน ($-NHCOCH_3$) โดยหมู่อะซีทิลจะจับกับเอมีน เพื่อให้ได้สารไคโตซาน จึงจำเป็นต้องกำจัดหมู่อะซีทิลออกโดยใช้สารละลายด่างที่เข้มข้นภายใต้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วล้างผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยน้ำหลายๆ ครั้ง จนมีสภาพเป็นกลาง ที่ให้สีแดงน้ำแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ไคโตซานมีลักษณะเป็นเกล็ดสีเหลืองจางมีความมันวาว สามารถละลายได้ในสารละลายหลายชนิด ได้แก่ สารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดฟอสฟอริก กรดซิตริก กรดโพโรนิโอนิก กรดแลคติก กรดมาริก และกรดทาร์ทาริก เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถละลายได้ในกรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริกเจือจางและกรดเปอร์คลอริก แต่ไม่ละลายในน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป

2.2 ไคโตซานเชิงพาณิชย์

โดยงานวิจัยนี้ใช้ไคโตซานสำเร็จรูปแบบเกล็ดจากบริษัท เอ็นเอ็นซี. โพรดักส์ จำกัด ซึ่งมีค่า %DD เท่ากับ 71.55 % ดังภาพที่ 19 ก่อนนำมาใช้ต้องนำไคโตซานเชิงพาณิชย์มาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 21 ไคโตซานเชิงพาณิชย์

2.3 การวิเคราะห์หาร้อยละการกำจัดหมู่อะซิทิล (Degree of Deacetylation)

ชั่งไคโตซาน 0.05 กรัม ละลายด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 10% (v/v) 25 มิลลิลิตร หยดสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้นและคนตลอดเวลาจนเกิดตะกอนขาวของไคโตซานไฮโดรคลอไรด์ หยดต่อไปเรื่อยๆ จนไม่มีตะกอนเพิ่มขึ้น กรองตะกอนแล้วล้างด้วยโพรพานอลจนเป็นกลาง จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ชั่งตะกอนที่ได้แล้วนำมาละลายด้วยน้ำ DI ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตมา 15 มิลลิลิตรไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ คำนวณหา %DD จากสมการ (ศุภยาลักษณ์, 2544)

$$\%DD = \frac{CV_1 \times \text{make volume} \times M_w \times 100}{1,000 \times V_2 \times W}$$

เมื่อ	C	=	ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (M)
	V	=	ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (ml)
	Make volume	=	ปริมาตรของสารละลายไคโตซานไฮดรอกไซด์ (ml)
	M _w	=	น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานไฮดรอกไซด์ (g/mol)

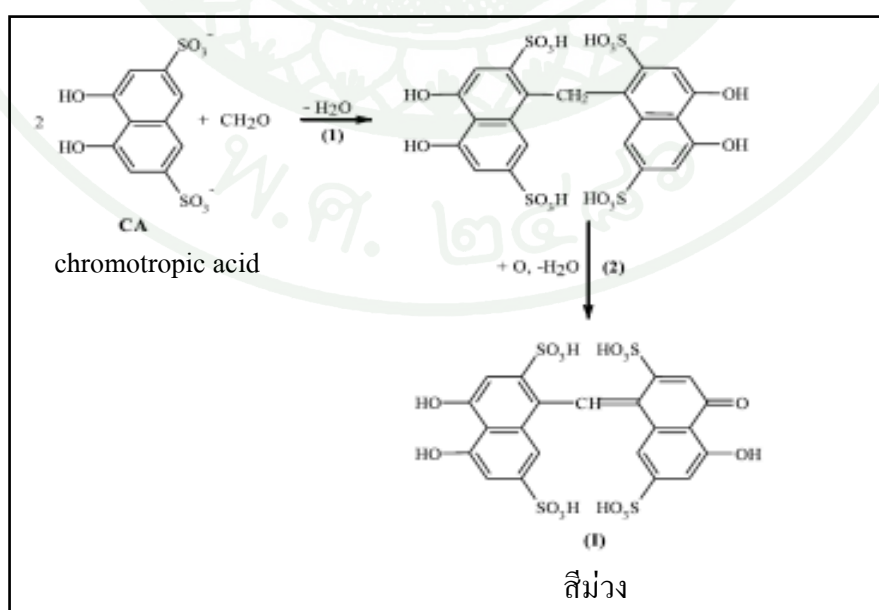
V_2 = ปริมาตรของสารละลายไคโตซานไฮโดรคลอไรด์ที่ใช้
ในการไทเทรต (ml)

W = น้ำหนักของสารละลายไคโตซานไฮโดรคลอไรด์ (g)

3. การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

3.1 เตรียมกราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้น 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 และ 15 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2 นำสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตรจากข้อ 3.1 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร มาทำปฏิกิริยากับกรดโครโมโทรปิกจำนวน 0.150 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 10 นาที จะได้สารละลายสีม่วง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 22 นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร แล้วนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร ในแกนตั้งและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ในแกนนอนจะได้กราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อใช้เทียบหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์



ภาพที่ 22 ปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มาลดีไฮด์กับกรดโครโมโทรปิก



ภาพที่ 23 สารละลายสีม่วงที่ได้จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

4. ศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดลองแบบแบตช์

ปัจจัยที่ทำการศึกษาเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ มีดังนี้

4.1 ศึกษาปริมาณไคโตซานเริ่มต้น

ชั่งไคโตซานจากเปลือกกุ้งปริมาณ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 และ 7.0 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองสารละลายผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน นำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยนำสารละลายที่กรองได้มา 3 มิลลิลิตร เติมกรดโครโมโทรปิก 1 ซ้อน และกรดซัลฟิวริก 4.5 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 นาโนเมตร แต่ละค่าพีเอชทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และนำไคโตซานเชิงพาณิชย์มาทำการทดลองเช่นเดียวกับไคโตซานจากเปลือกกุ้ง โดยใช้ไคโตซานเชิงพาณิชย์ปริมาณ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 ศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

ซั่งไคโตซานจากเปลือกกุ้งในปริมาณเท่ากับที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.1 นำมาปรับ พีเอชให้มีค่าเท่ากับ 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ดังภาพที่ 24 จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.1 และนำไคโตซานเชิงพาณิชย์มาทำการทดลองเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 24 ศึกษาอิทธิพลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

4.3 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบการเขย่า

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.2 โดยปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับพีเอชที่ให้ร้อยละการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองข้อ 4.2 และแปรผันความเร็วรอบของการเขย่าเป็น 0, 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบการเขย่า

4.4 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเขย่า

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.3 โดยเขย่าที่ความเร็วรอบเท่ากับความเร็วรอบที่ให้ร้อยละการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองข้อ 4.3 และแปรผันระยะเวลาเขย่าเป็น 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที

4.5 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.4 โดยระยะเวลาเขย่านานเท่ากับระยะเวลาเขย่าที่ให้ร้อยละการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองข้อ 4.4 และแปรผันระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลเป็น 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที

4.6 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณของโคโคซานที่เหมาะสม

ชั่งโคโคซานจากเปลือกกุ้งปริมาณ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 และ 7.0 กรัม และโคโคซานเชิงพาณิชย์ปริมาณ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 กรัม ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 4.5 โดยตั้งทิ้งไว้เวลานานเท่ากับระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลที่ให้ร้อยละการดูดซับดีที่สุดจากการทดลองข้อ 4.5 ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณของโคโคซานที่เหมาะสม

4.7 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.6 โดยใช้ระยะเวลาแปรผันเข้าสู่ภาวะสมดุลที่ศึกษาได้จากข้อ 4.6 และแปรผันความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์เป็น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.8 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณโคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมและไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์จากสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์

ทำการทดลองโดยชั่งโคโคซานจากเปลือกกุ้งปริมาณ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 กรัม และโคโคซานเชิงพาณิชย์ปริมาณ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 และ 7.0 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ปริมาตร 100 มิลลิตร ลงในขวดรูปกรวย ปรับพีเอช ความเร็วรอบ ระยะเวลาปั่นกวน และระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ไปกรองผ่านกระดาษกรองเมมเบรน ขนาด 0.45 ไมครอน และนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ นำข้อมูลที่ได้มาเขียนไอโซเทอร์มของແລงເມີຢ໌ແລະຟຼນດີຊ

5. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ ทำการทดลองแบบวิธีการไหลต่อเนื่อง โดยใช้ชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ที่บรรจุไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์

ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ ทำการทดลองแบบวิธีการไหลต่อเนื่อง

ทำการทดลองโดยใช้สารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ ปล่อยให้ไหลผ่านชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ที่ประกอบด้วยกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว บรรจุไคโตซานจากเปลือกกุ้งปริมาณ 60 กรัม ทำการทดลองที่อัตราการไหล 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาที โดยเก็บตัวอย่างสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ จากทางออกปลายชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ทุก 5 นาที และนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ และสำหรับไคโตซานเชิงพาณิชย์ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

6. ศึกษาการฟื้นฟูสภาพของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ทำการทดลองโดยนำไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ที่ผ่านการใช้งานแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อฟื้นฟูสภาพ หลังจากนั้นตากให้แห้งแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น แล้วนำไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพกลับไปทดลองใหม่

7. การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

7.1 การเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 4 จุดได้แก่ จุดที่ 1 (G970), จุดที่ 2 (F1801A), จุดที่ 3 (F1801B) และ จุดที่ 4 (F1801C) มาทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จากบริษัททีโอซี ไกลคอด จำกัด



ภาพที่ 27 การเก็บตัวอย่างน้ำบริษัท ทีโอซี ไกลคอลล จำกัด จังหวัดระยอง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอลล จำกัด หลังผ่านการบำบัดด้วยระบบ ก่อนปล่อยสู่ระบบบำบัดน้ำทิ้งรวม โดยทำความสะอาดภาชนะเก็บน้ำขนาด 20 ลิตร ล้างด้วยตัวอย่างน้ำทิ้ง 1-2 ครั้ง ก่อนจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำใส่ภาชนะเก็บน้ำ

7.2 ศึกษาคุณภาพน้ำตัวอย่างที่ได้จากน้ำทิ้งได้แก่ จุดที่ 1 (G970), จุดที่ 2 (F1801A), จุดที่ 3 (F1801B) และ จุดที่ 4 (F1801C) มาทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จากบริษัททีโอซี ไกลคอลล จำกัด

นำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ, บีโอดี, ซีโอดี, น้ำมันและไขมัน

7.3 ศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้ง จุดที่ 1 (G970), จุดที่ 2 (F1801A) บริษัททีโอซี ไกลคอลล จำกัด

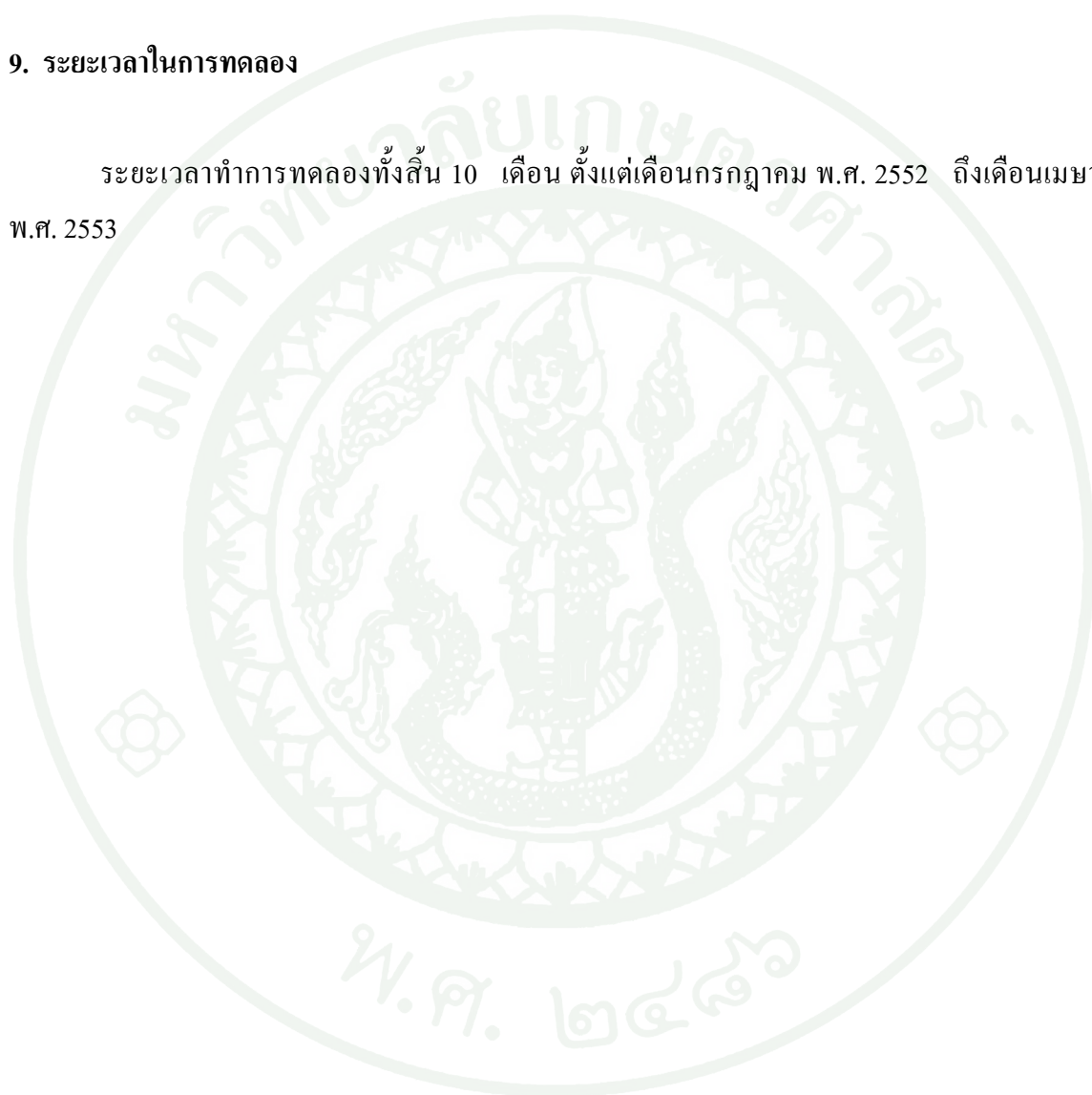
ทำการทดลองใช้สารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์จากน้ำทิ้งบริษัททีโอซี ไกลคอลล จำกัด ที่มีฟอर्मัลดีไฮด์เจือปน นำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้ง จากนั้นนำน้ำทิ้งมาปรับพีเอชให้เท่ากับที่ศึกษาได้ในข้อ 4.1 ทำการทดลองด้วยวิธีแบบเบนด์และวิธีไหลแบบต่อเนื่อง เช่นเดียวกับข้อ 4 และ 5

8. สถานที่ทำการทดลอง

ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและดิน วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

9. ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาทำการทดลองทั้งสิ้น 10 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2553



ผลและวิจารณ์

การศึกษากำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในสารละลายที่สังเคราะห์ขึ้น โดยใช้ตัวดูดซับ ได้แก่ ไคโตซาน จากเปลือกกุ้ง และไคโตซานเชิงพาณิชย์ เพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำเสีย จากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ซึ่งผลิตสารตั้งต้น ได้แก่ โมโนเอทิลีนไกลคอลและเม็ดพลาสติกเพท (PET) สารไตรเอทิลีนไกลคอล และสารเอทิลีนออกไซด์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ โพลีเอสเตอร์ และพลาสติก ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับโดยการทดลองด้วยวิธีแบบเบตซ์ ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ พีเอชเริ่มต้น (pH) ความเร็วรอบการเขย่า (mixing speed) ระยะเวลาเขย่า (shaking time) ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล (contact time) ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ ปริมาณตัวดูดซับ และการวิเคราะห์หาไอโซเทอร์มการดูดซับโดยใช้สมการของแลงเมียร์และฟรุนดลิช รวมถึงการทดลอง การดูดซับผ่านชุดเครื่องกรองประติสร์ที่บรรจุตัวดูดซับ และการฟื้นฟูตัวดูดซับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ในการทดลองและนำไปประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ลักษณะของไคโตซานจากเปลือกกุ้งที่เตรียมได้

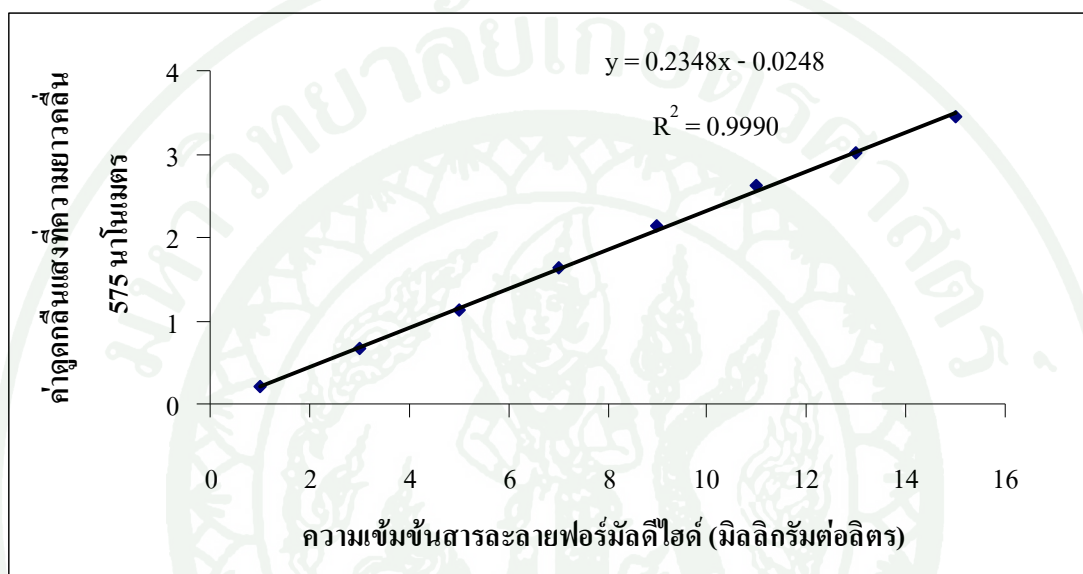
จากการทดลองเตรียมไคโตซานจากเปลือกกุ้งด้วยวิธีการสกัดไคโตซานทางเคมี พบว่า ไคโตซาน จากเปลือกกุ้งที่เตรียมได้มีค่า %DD เท่ากับ 57.24% มีลักษณะเป็นเกร็ดขนาดเล็ก มีความมันวาว สีขาวอมสีเหลือง เล็กน้อย ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

2. ผลการเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

จากการทดลองเตรียมกราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 9.0, 11.0, 13.0 และ 15.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังการทดลองในข้อที่ 3 ได้สมการเชิงเส้นถดถอย คือ $y = 0.2348x - 0.0248$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) เท่ากับ 0.9990 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.9700-1.0200) ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 กราฟมาตรฐานของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

3. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยวิธีแบบแบตช์

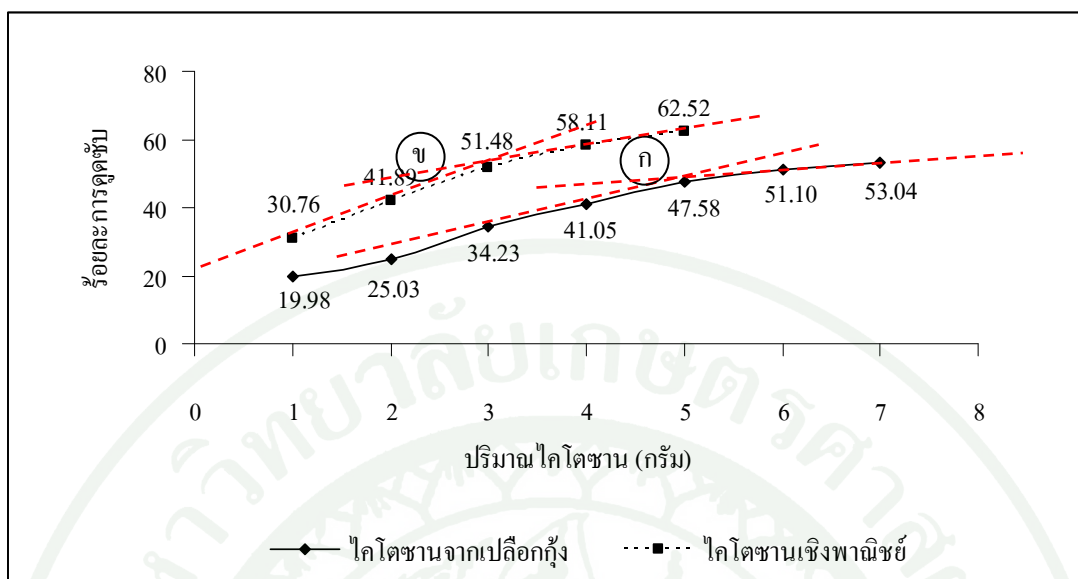
3.1 ผลของปริมาณตัวดูดซับต่อสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

จากการทดลองในข้อที่ 4.1 ทำการแปรผันปริมาณไคโตซานจากเปลือกกุ้งให้เท่ากับ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 กรัม และไคโตซานเชิงพาณิชย์ให้เท่ากับ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 และ 7.0 กรัม ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับต่อร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์

ปริมาณไคโตซาน (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง	ไคโตซานเชิงพาณิชย์
1.0	19.98	30.76
2.0	25.03	41.89
3.0	34.23	51.48
4.0	41.05	58.11
5.0	47.58	62.52
6.0	51.10	-
7.0	53.04	-

จากตารางที่ 2 พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น โดยที่น้ำหนักไคโตซานจากเปลือกกุ้ง และไคโตซานเชิงพาณิชย์ ที่ 5 และ 3 กรัม ต่อสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์เข้มข้น 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ได้ร้อยละ 47.58 และ 51.48 ตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้ว่า ผู้วิจัยเลือกใช้ปริมาณตัวดูดซับทั้งสองชนิดโดยการลากเส้นสัมผัส 2 เส้น โดย ณ จุดตัด ก และ ข ซึ่งจะได้ปริมาณไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ที่ 5 และ 3 กรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์กับร้อยละการดูดซับฟอรัลดีไฮด์

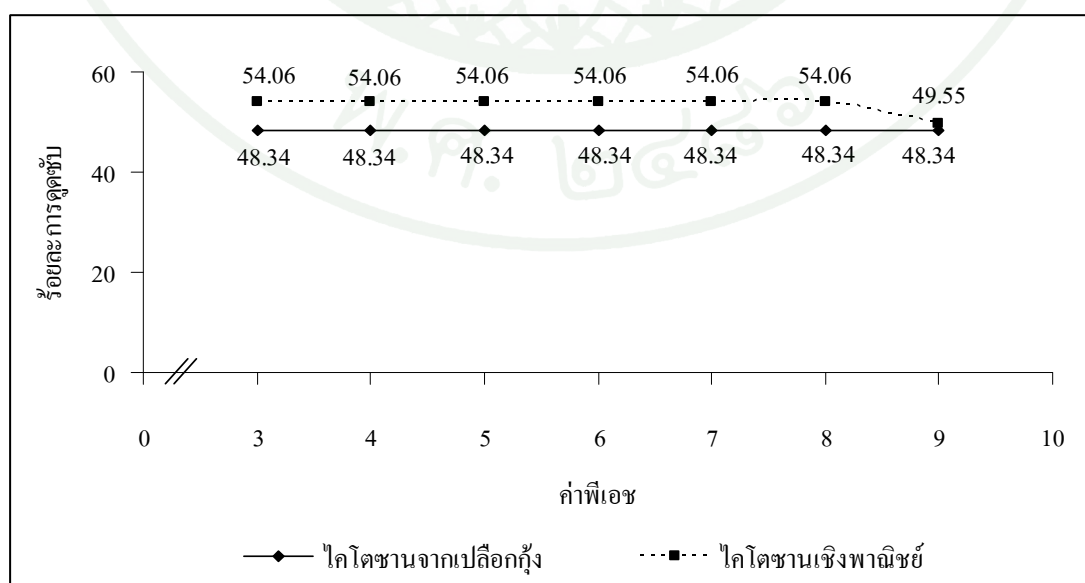
3.2 ผลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานฟอรัลดีไฮด์

จากการทดลองในข้อที่ 4.2 ใช้ปริมาณไคโตซานจากเปลือกกุ้ง 5 กรัม และไคโตซานเชิงพาณิชย์ 3 กรัม ทำการแปรผันพีเอชของสารละลายฟอรัลดีไฮด์ให้เท่ากับ 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อิทธิพลของพีเอชต่อร้อยละการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์

ค่าพีเอช	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง	ไคโตซานเชิงพาณิชย์
3	48.34	54.06
4	48.34	54.06
5	48.34	54.06
6	48.34	54.06
7	48.34	54.06
8	48.34	54.06
9	48.34	49.55

จากตารางที่ 3 พบว่า พีเอชไม่มีอิทธิพลต่อการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง กล่าวคือ ช่วงพีเอช 3-9 และไคโตซานเชิงพาณิชย์พบว่าที่พีเอช 3-8 มีร้อยละการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์เท่ากับ 48.34 และ 54.06 ตามลำดับ ดังภาพที่ 31 สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากไคโตซานและฟอร์มัลดีไฮด์มีโครงสร้างทางเคมีที่มีหมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่คาร์บอนิล ($C=O$) เป็นองค์ประกอบ ตามลำดับ เกิดเป็นพันธะเอไมด์ ($H_2N-C=O$) ที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวโมเลกุลของไคโตซานและฟอร์มัลดีไฮด์ไว้ด้วยกัน



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์

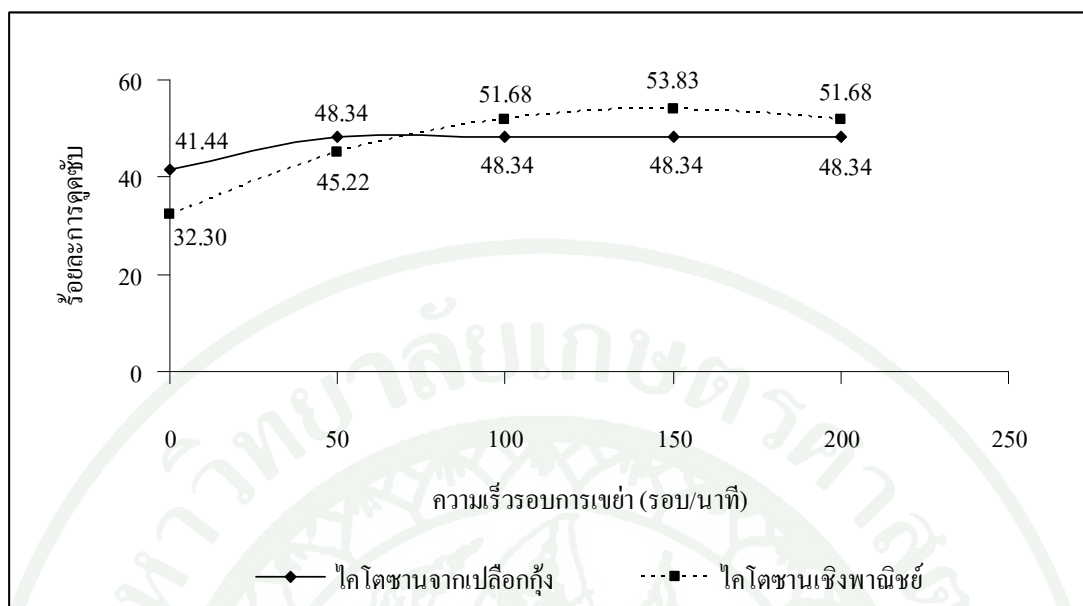
3.3 ผลของความเร็วรอบการเขย่า

จากการทดลองในข้อที่ 4.1 และ 4.2 ใช้ปริมาณไคโตซานจากเปลือกกุ้ง 5 กรัม และไคโตซานเชิงพาณิชย์ 3 กรัม ทำการแปรผันความเร็วรอบการเขย่าให้เท่ากับ 0, 50, 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อิทธิพลของความเร็วรอบการเขย่าต่อร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง และไคโตซานเชิงพาณิชย์

ความเร็วรอบการเขย่า (รอบต่อนาที)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง	ไคโตซานเชิงพาณิชย์
0	41.44	32.30
50	48.34	45.22
100	48.34	51.68
150	48.34	53.83
200	48.34	51.68

จากตารางที่ 4 พบว่า ไคโตซานจากเปลือกกุ้งสามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ได้ดีที่ความเร็วรอบการเขย่าเท่ากับ 0-200 รอบต่อนาที โดยมีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 48.34 ส่วนไคโตซานเชิงพาณิชย์สามารถดูดซับได้ดีที่ความเร็วรอบการเขย่าเท่ากับ 150 รอบต่อนาที โดยมีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 53.83 ดังภาพที่ 32 ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อความเร็วรอบในการเขย่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อความเร็วรอบในการเขย่าสูง ทำให้ความหนาชั้นฟิล์มของน้ำลดลงฟอर्मัลดีไฮด์สามารถเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้รวดเร็วขึ้นจนถึงระยะเวลาหนึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับถูกครอบครองด้วยตัวถูกดูดซับ ในขณะที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีจำนวนจำกัด ตัวถูกดูดซับไม่สามารถดูดซับไว้ที่พื้นผิวตัวดูดซับได้อีก จึงทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง (นิพนธ์ และคณิตา, 2550)



ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการเขย่ากับร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์

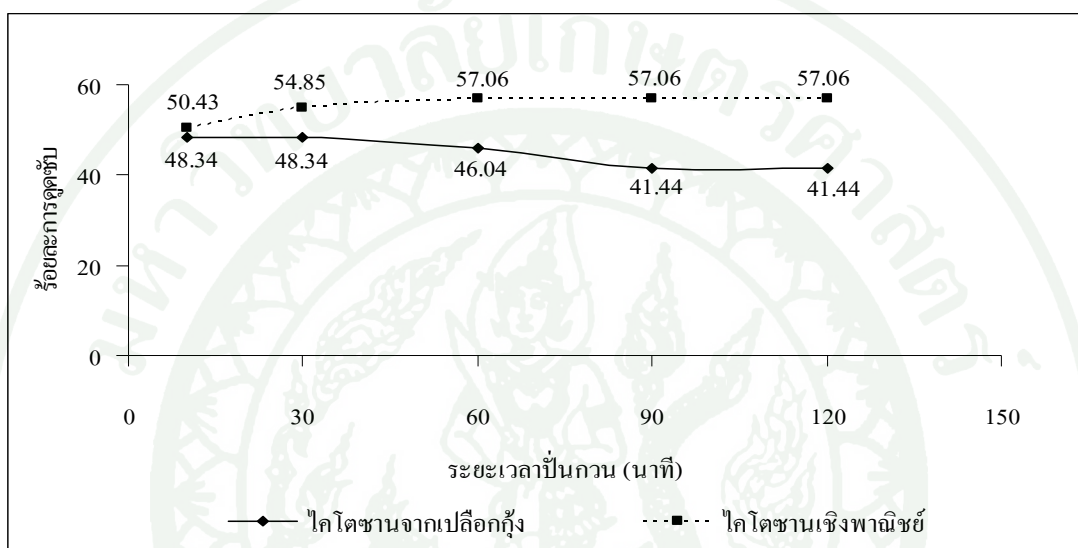
3.4 ผลของระยะเวลาเขย่า

จากการทดลองในข้อที่ 4.1 และ 4.2 และ 4.3 ใช้ปริมาณโคโคซานจากเปลือกกุ้ง และโคโคซานเชิงพาณิชย์ 5 และ 3 กรัม ตามลำดับ ใช้ความเร็วรอบการเขย่า 50 และ 150 รอบต่อนาที ทำการแปรผันระยะเวลาเขย่าให้เท่ากับ 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อิทธิพลของระยะเวลาเขย่าต่อร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์

ระยะเวลาเขย่า (นาที)	ร้อยละการดูดซับ	
	โคโคซานจากเปลือกกุ้ง	โคโคซานเชิงพาณิชย์
10	48.34	50.43
30	48.34	54.85
60	46.04	57.06
90	41.44	57.06
120	41.44	57.06

จากตารางที่ 5 พบว่า ไคโตซานจากเปลือกกุ้งดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานได้ดีที่ระยะเวลาเข้าเท่ากับ 10 นาที โดยมีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 48.34 ส่วนไคโตซานเชิงพาณิชย์ดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ได้ดีที่ระยะเวลาเข้าเท่ากับ 57.06 ซึ่ง ดังภาพที่ 33 ซึ่งอธิบายได้ว่าในตอนเริ่มต้นพื้นผิวของตัวดูดซับจะมีพื้นที่มากทำให้อัตราการดูดซับมีมากจนถึงระยะเวลานึ่งบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับจะถูกปกคลุมไปด้วยตัวถูกดูดซับ (ฟอर्मัลดีไฮด์) ส่งผลให้อัตราการดูดซับมีประสิทธิภาพลดลง (นิพนธ์ และคณิตา,2550)



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเข้ากับร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์

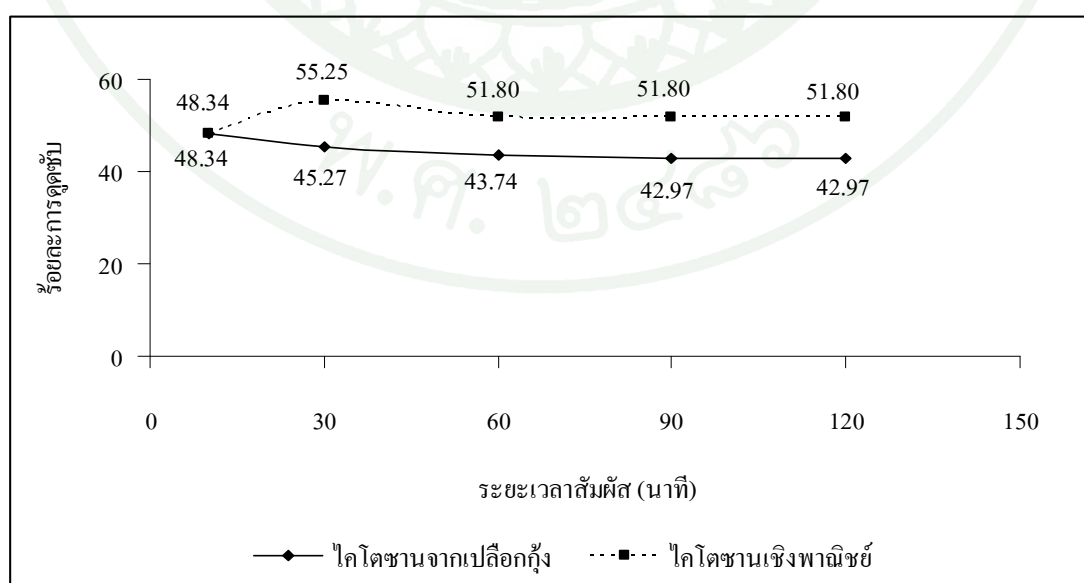
3.5 ผลของระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล

จากการทดลองในข้อที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ใช้ปริมาณไคโตซานจากเปลือกกุ้ง และไคโตซานเชิงพาณิชย์ 5 และ 3 กรัม ตามลำดับ ต่อสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ 100 มิลลิลิตร ใช้ความเร็วรอบการเขย่า 50 และ 150 รอบต่อนาที ตามลำดับ และใช้ระยะเวลาเข้าเท่ากับ 10 และ 60 นาที ตามลำดับ ทำการแปรผันระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลให้เท่ากับ 10, 30, 60, 90 และ 120 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อิทธิพลของระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลต่อร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์

ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล (นาทีก)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง	ไคโตซานเชิงพาณิชย์
10	48.34	48.34
30	45.27	55.25
60	43.74	51.80
90	42.97	51.80
120	42.97	51.80

จากตารางที่ 6 พบว่า ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ได้ดีที่ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลเท่ากับ 10 และ 30 นาที ตามลำดับ โดยมีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 48.34 และ 55.25 ตามลำดับ อธิบายได้ว่าเมื่อระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวดูดซับมีระยะเวลาในการยึดเกาะติดที่ผิวตัวดูดซับมากขึ้น หลังจากนั้นเมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งประสิทธิภาพในการดูดซับก็จะคงที่และเริ่มลดลง เนื่องจากการดูดซับจะเริ่มเข้าสู่สมดุล (อัตราดูดซับ = อัตราคายการดูดซับ) ทำให้ตัวดูดซับเกิดการอิ่มตัวและเริ่มหมดสภาพมีผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับคงที่หรือลดลง ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลกับร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์

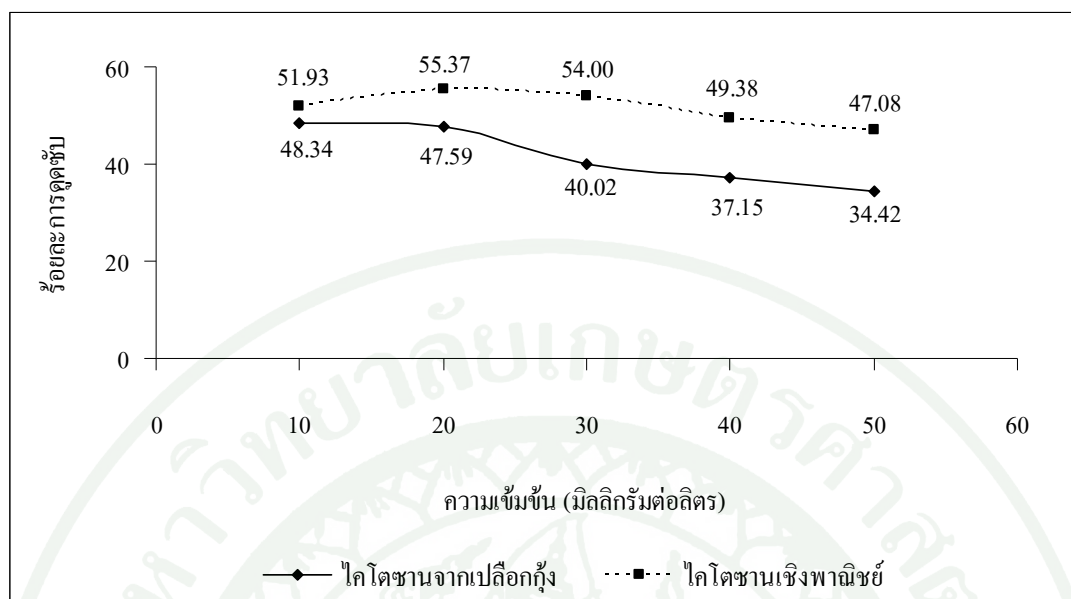
3.6 ผลของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

จากการทดลองในข้อที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 ใช้ปริมาณ โคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์ 5 และ 3 กรัม ต่อสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 100 มิลลิลิตร ใช้ความเร็วรอบการเขย่า 50 และ 150 รอบต่อนาที ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาเขย่าเท่ากับ 10 และ 60 นาที ตามลำดับ และใช้เวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลเท่ากับ 10 และ 30 นาที ตามลำดับ ทำการแปรผันความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ให้เท่ากับ 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีต่อร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ (mg/l)	ร้อยละการดูดซับ	
	โคโคซานจากเปลือกกุ้ง	โคโคซานเชิงพาณิชย์
10	48.34	51.93
20	47.59	55.37
30	40.02	54.00
40	37.15	49.38
50	34.42	47.08

จากตารางที่ 7 พบว่า โคโคซานจากเปลือกกุ้งและโคโคซานเชิงพาณิชย์ดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ได้ดีในสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ได้ร้อยละการดูดซับเท่ากับ 48.34 และ 55.37 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์กับร้อยละการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์

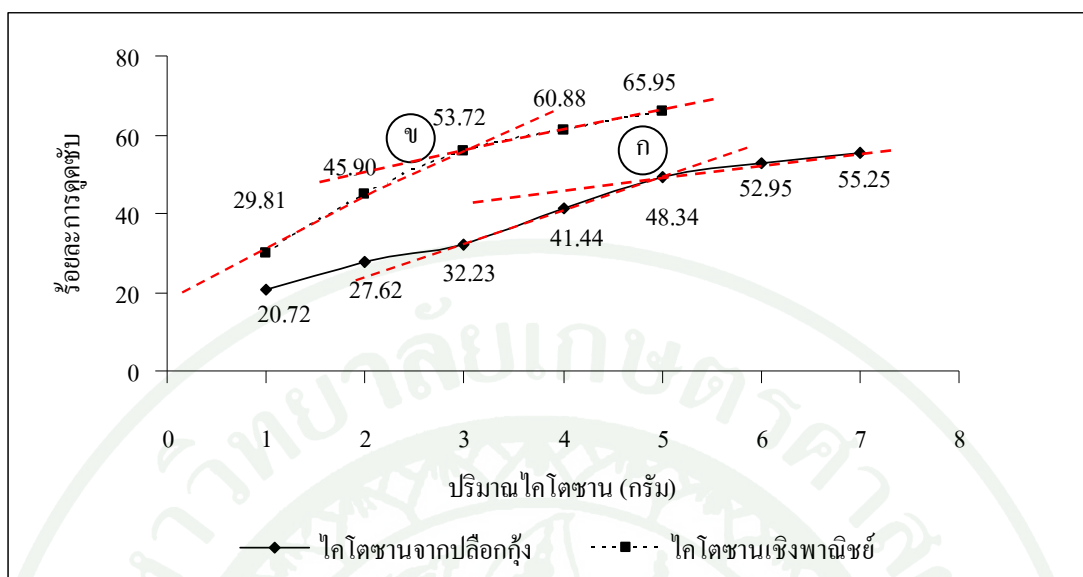
3.7 ผลของปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม

ทำการแปรผันปริมาณไคโตซานจากเปลือกกุ้งให้เท่ากับ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 กรัม และไคโตซานเชิงพาณิชย์ให้เท่ากับ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 และ 7.0 กรัม จากนั้นทำการทดลองโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ศึกษาได้ สำหรับไคโตซานจากเปลือกกุ้ง คือ ใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเร็วรอบการเขย่า 50 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 10 นาที ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล 10 นาที ส่วนไคโตซานเชิงพาณิชย์ คือ ใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเร็วรอบการเขย่า 150 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 60 นาที ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล 30 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อร้อยละการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์

ปริมาณไคโตซาน (กรัม)	ร้อยละการดูดซับ	
	ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง	ไคโตซานเชิงพาณิชย์
1.0	20.72	29.81
2.0	27.62	45.90
3.0	32.23	53.72
4.0	41.44	60.88
5.0	48.34	65.95
6.0	52.95	-
7.0	55.25	-

จากตารางที่ 8 พบว่า ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์มีการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ได้ดีที่ปริมาณไคโตซานจากเปลือกกุ้ง 5 กรัม และไคโตซานเชิงพาณิชย์ 3 กรัม โดยมีร้อยละการดูดซับเท่ากับ 48.34 และ 53.72 ตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้ว่า ประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น โดยผู้วิจัยเลือกใช้ปริมาณตัวดูดซับทั้งสองชนิดโดยการลากเส้นสัมผัส 2 เส้น โดย ณ จุดตัด ก และ ข ซึ่งจะได้ปริมาณไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ที่ 5 และ 3 กรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 36

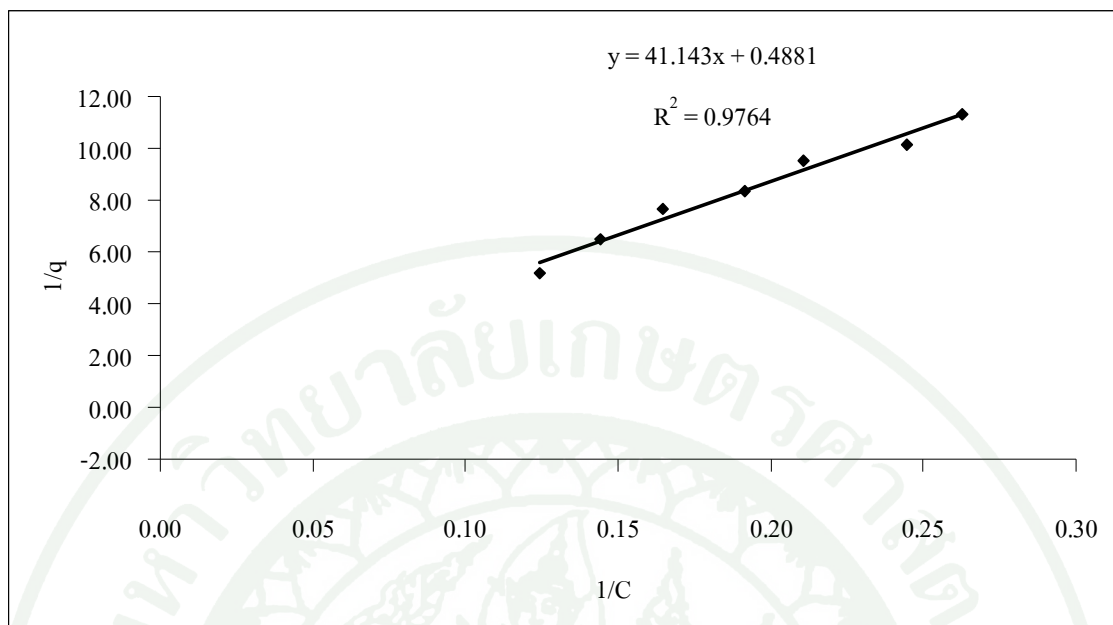


ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไคโตซานกับร้อยละการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากปลือกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์

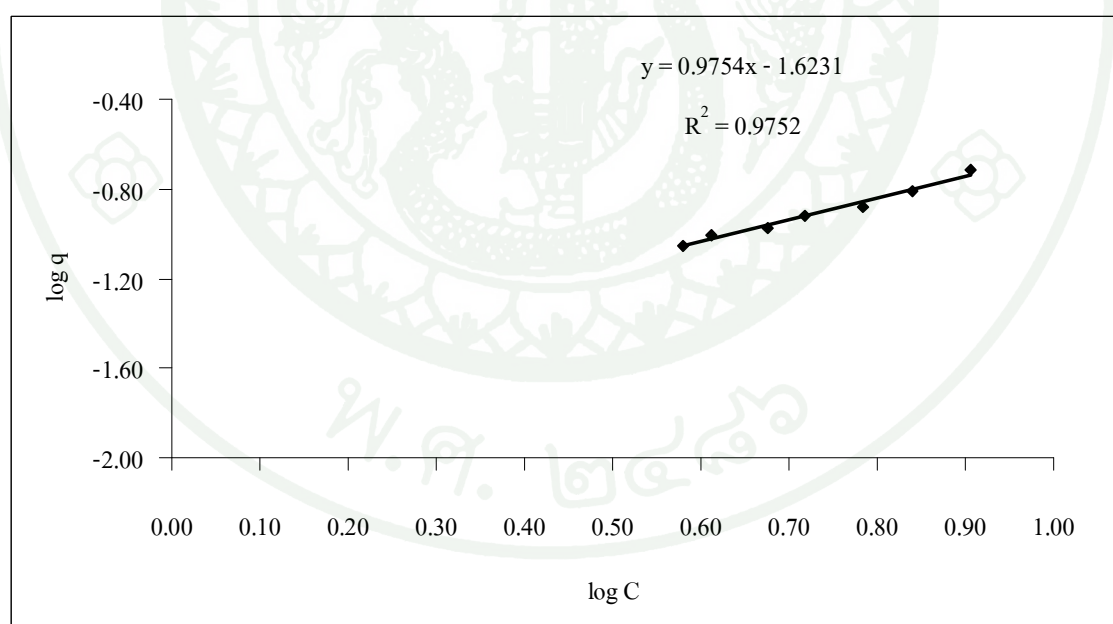
4. ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์

4.1 ไคโตซานจากปลือกุ้ง

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในข้อที่ 4 โดยใช้ไคโตซานจากปลือกุ้ง มาเขียนไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดลิช ได้ข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 37 และ 38 ตามลำดับ



ภาพที่ 37 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอรัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง



ภาพที่ 38 ฟรุณดิชไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอรัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

จากผลการทดลอง พบว่า แลงเมียร์และฟรุณดิชไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอรัลดีไฮด์จากสารละลายมาตรฐานฟอรัลดีไฮด์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9764 และ 0.9752 ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.9700-1.2000) ดังนั้นกลไกการดูดซับฟอรัลดีไฮด์ จึงสอดคล้องทั้งแลงเมียร์และฟรุณดิชไอโซเทอร์ม เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน

กลไกการดูดซับของแสงเมียร์นั้นพื้นที่ผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด มีกลไกการดูดซับที่เหมือนกัน โดยที่ตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว และการจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวนั้นพื้นที่ผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลถูกดูดซับไม่เกิดการทับซ้อนกัน พื้นที่ผิวตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ พื้นที่ผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว

กลไกการดูดซับของฟรุนดลิช คือ พื้นที่ผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ พื้นที่ผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด การดูดซับจะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับ เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถเกิดการซ้อนทับกันได้ เมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้ว จะเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับได้ พื้นที่ผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว

สมการไอโซเทอร์มการดูดซับฟอว์มัลดีไฮด์ของแสงเมียร์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง ดังแสดงในสมการที่ 9 ดังนี้

$$\frac{1}{q} = 41.143 \frac{1}{C} + 0.4881 \quad \dots\dots\dots(9)$$

จากสมการที่ 9 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/q$ กับ $1/C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 41.143 และจุดตัดบนแกนตั้ง เท่ากับ 0.4881 นั่นคือ

$$\frac{1}{q_m K} = 41.143$$

$$\frac{1}{q_m} = 0.4881$$

ดังนั้น $K = 2.0487$

จากไอโซเทอร์มสมการการดูดซับของแสงเมียร์ พบว่า ค่า K มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับ ถูกดูดซับไว้ได้มากบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

สำหรับสมการการดูดซับฟอว์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งของฟรุนดลิชไอโซเทอร์ม ดังแสดงในสมการที่ 10 ดังนี้

$$\log q = -1.6231 + 0.9754 \log C \quad \dots\dots\dots(10)$$

จากสมการที่ 10 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 0.9754 และจุดตัดบนแกนตั้ง เท่ากับ -1.6231 นั่นคือ

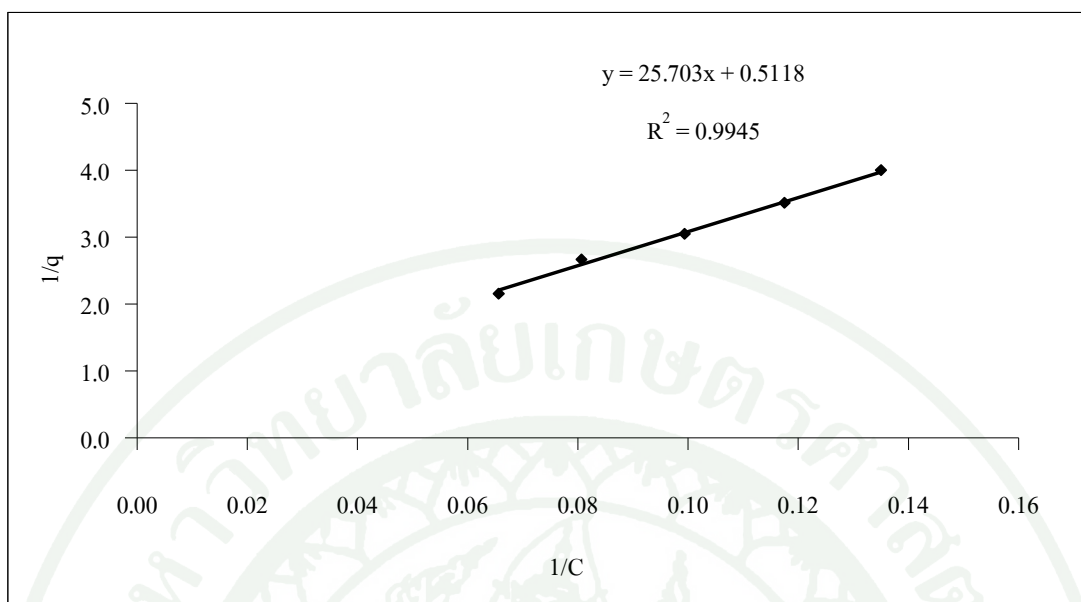
$$\begin{aligned} \log K &= -1.6231 & \text{ดังนั้น } K &= 0.02382 \\ 1/n &= 0.9754 \\ n &= 1.0252 \end{aligned}$$

ไอโซเทอร์มจากสมการการดูดซับของฟรุนดลิช พบว่า ค่า $1/n$ มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะถูกดูดซับได้น้อย หรือกล่าวได้ว่าบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณน้อยในการดูดซับ

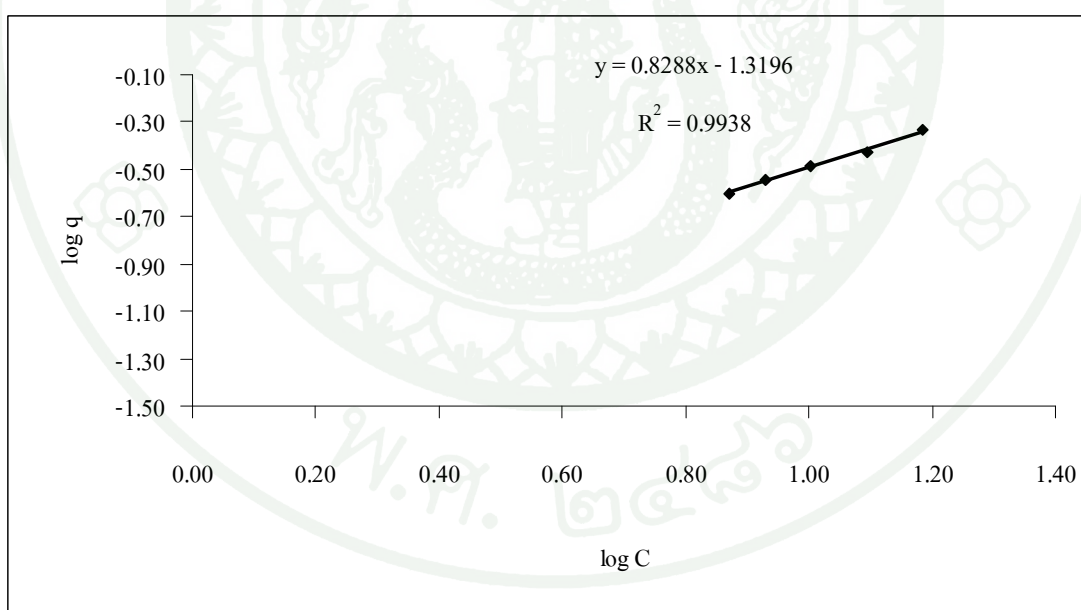
เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 37 และ 38 แล่งเมียร์และฟรุนดลิชไอโซเทอร์มการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง พบว่า ผลของการดูดซับเป็นไปตามทั้งแล่งเมียร์และฟรุนดลิชไอโซเทอร์ม เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน คือเท่ากับ 0.9764 และ 0.9752 ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณา ค่า K และ $1/n$ จากสมการการดูดซับของแล่งเมียร์และฟรุนดลิชจากสมการที่ 9 และ 10 ตามลำดับ พบว่า สมการการดูดซับของแล่งเมียร์มีค่า K มากกว่า 1 และสมการการดูดซับของฟรุนดลิชมีค่า K และ $1/n$ น้อยกว่า 1 แสดงว่าลักษณะการดูดซับมีแนวโน้มเป็นแบบแล่งเมียร์มากกว่าฟรุนดลิช

4.2 ไคโตซานเชิงพาณิชย์

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในข้อที่ 4 โดยใช้ไคโตซานเชิงพาณิชย์มาเขียนไอโซเทอร์มของแล่งเมียร์และฟรุนดลิช ได้ข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 39 และ 40 ตามลำดับ



ภาพที่ 39 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของแลงเมียร์ด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์



ภาพที่ 40 ไอโซเทอร์มการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของฟรุณดิชด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์

จากผลการทดลอง พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุณดิช มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-square) ในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์จากสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 0.9945 และ 0.9938 ตามลำดับ ซึ่งค่าทั้งสองนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (0.9700-1.2000) ดังนั้นการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์จึงสอดคล้องทั้งแลงเมียร์และฟรุณดิชไอโซเทอร์ม เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน

สมการไอโซเทอร์มการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของแสงเมียร์ด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ ดังแสดงในสมการที่ 11 ดังนี้

$$= 25.703 + 0.5118 \dots\dots\dots(11)$$

จากสมการที่ 11 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/q$ กับ $1/C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 25.703 และจุดตัดบนแกนตั้ง เท่ากับ 0.5118 นั่นคือ

$$\frac{1}{q_m K} = 25.703$$

$$\frac{1}{q_m} = 0.5118$$

ดังนั้น $K = 1.9538$

ไอโซเทอร์มสมการการดูดซับของแสงเมียร์ พบว่าค่า K มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้ได้มากกว่าพื้นผิวตัวดูดซับของไคโตซานเชิงพาณิชย์

สำหรับสมการไอโซเทอร์มการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ของฟรุณดิซด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ ดังแสดงในสมการที่ 12 ดังนี้

$$\log q = -1.3196 + 0.8288 \log C \dots\dots\dots(12)$$

จากสมการที่ 12 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C$ จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 0.8288 และจุดตัดบนแกนตั้ง เท่ากับ -1.3196 นั่นคือ

$$\log K = -1.3196 \quad \text{ดังนั้น} \quad K = 0.0479$$

$$1/n = 0.8288$$

$$n = 1.2065$$

ค่า $1/n$ มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงความสามารถของการดูดซับของตัวดูดซับจะถูกดูดซับได้น้อยหรือกล่าวได้ว่าบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณน้อยในการดูดซับ

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 39 และ 40 แลงเมียร์และฟรุณดิชไอโซเทอร์มการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ พบว่า ผลของการดูดซับเป็นไปตามทั้งแลงเมียร์และฟรุณดิชไอโซเทอร์มเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน คือเท่ากับ 0.9945 และ 0.9938 ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาค่า K และ $1/n$ จากสมการการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุณดิชจากสมการที่ 11 และ 12 ตามลำดับ พบว่าสมการการดูดซับของแลงเมียร์มีค่า K มากกว่า 1 และสมการการดูดซับของฟรุณดิชมีค่า K และ $1/n$ น้อยกว่า 1 แสดงว่าลักษณะการดูดซับมีแนวโน้มเป็นแบบแลงเมียร์มากกว่าฟรุณดิช

5. ประสิทธิภาพการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์ โดยทำการทดลองแบบวิธีการไหลต่อเนื่องโดยใช้ชุดเครื่องกรองประดิษฐ์

5.1 ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

จากการทดลองในข้อที่ 5 ใช้สารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์เข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ไหลผ่านชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ที่ภายในกระบอกคาร์ทริดจ์บรรจุไคโตซานจากเปลือกกุ้งปริมาณ 60 กรัม โดยแปรผันอัตราการไหลที่ 80, 120 และ 160 มิลลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างที่ผ่านการดูดซับทุกๆ 5 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอรั่มลดีไฮด์ที่ไหลแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นฟอรั่มลดีไฮด์ที่เหลือหลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งที่อัตราการไหล 80, 120 และ 160 มิลลิตรต่อนาที

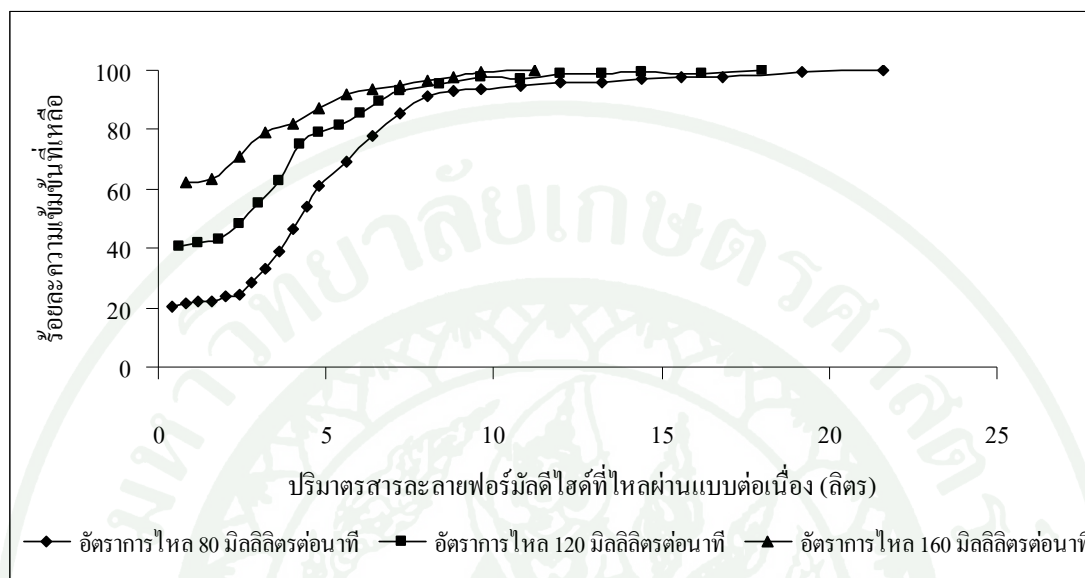
เวลา (นาที)	80 มิลลิตรต่อนาที			120 มิลลิตรต่อนาที			160 มิลลิตรต่อนาที		
	ปริมาตร สาร ละลาย (ลิตร)	ร้อยละ ความ เข้มข้น ที่ เหลือ	พีเอช	ปริมาตร สาร ละลาย (ลิตร)	ร้อยละ ความ เข้มข้น ที่เหลือ	พีเอช	ปริมาตร สาร ละลาย (ลิตร)	ร้อยละ ความ เข้มข้น ที่เหลือ	พีเอช
5	0.40	20.63	7.56	0.60	40.61	7.82	0.80	61.93	7.81
10	0.80	21.55	7.74	1.20	41.80	7.88	1.60	63.48	7.87
15	1.20	21.93	7.79	1.80	43.26	7.84	2.40	70.77	7.85
20	1.60	22.24	7.84	2.40	48.40	7.88	3.20	79.24	7.91
25	2.00	23.86	7.90	3.00	55.18	7.91	4.00	82.10	7.92
30	2.40	24.37	7.96	3.60	62.96	7.87	4.80	87.04	7.88
35	2.80	28.28	7.94	4.20	74.74	7.90	5.60	91.83	7.71

ตารางที่ 9 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	80 มิลลิลิตรต่อนาที			120 มิลลิลิตรต่อนาที			180 มิลลิลิตรต่อนาที		
	ปริมาตร	ร้อยละ	พีเอช	ปริมาตร	ร้อยละ	พีเอช	ปริมาตร	ร้อยละ	พีเอช
	สารละลาย	ความเข้มข้น		สารละลาย	ความเข้มข้น		สารละลาย	ความเข้มข้น	
	(ลิตร)	ที่เหลือ		(ลิตร)	ที่เหลือ		(ลิตร)	ที่เหลือ	
40	3.20	33.13	7.94	4.80	78.79	7.89	6.40	93.32	7.77
45	3.60	39.24	7.94	5.40	81.20	7.90	7.20	94.81	7.75
50	4.00	46.39	8.00	6.00	85.66	7.98	8.00	96.30	7.77
55	4.40	53.85	8.07	6.60	89.39	7.89	8.80	97.79	7.78
60	4.80	61.31	8.11	7.20	93.17	7.88	9.60	99.28	7.76
70	5.60	69.39	8.17	8.40	95.22	7.85	11.20	100.00	7.77
80	6.40	77.85	7.99	9.60	97.95	7.90	-	-	-
90	7.20	85.23	7.85	10.80	97.27	7.90	-	-	-
100	8.00	91.48	8.11	12.00	98.63	7.82	-	-	-
110	8.80	92.79	8.15	13.20	98.63	7.86	-	-	-
120	9.60	93.46	8.22	14.40	99.32	7.88	-	-	-
135	10.80	94.90	7.28	16.20	98.63	7.86	-	-	-
150	12.00	95.85	7.28	18.00	100.00	7.87	-	-	-
165	13.20	96.00	7.44	-	-	-	-	-	-
180	14.40	97.23	7.84	-	-	-	-	-	-
195	15.60	97.92	7.90	-	-	-	-	-	-
210	16.80	97.92	7.96	-	-	-	-	-	-
240	19.20	99.31	7.94	-	-	-	-	-	-
270	21.60	100.00	7.94	-	-	-	-	-	-

เมื่อสร้างกราฟระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไหลผ่านแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือหลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งที่อัตราการไหล 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาที ดังภาพที่ 41 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น โดยไคโตซานจากเปลือกกุ้งเริ่มหมดสภาพเมื่อปล่อยให้สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ไหลผ่านไปที่ปริมาตร 2.40, 1.80 และ 1.60 ลิตร ด้วยอัตราเร็ว 80, 120 และ 160 มิลลิลิตร

ต่อนาที ตามลำดับ และโคโคซานจากเปลือกกุ้งหมดสภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์เมื่อปริมาตรสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ไหลผ่านเท่ากับ 8.80, 7.20 และ 5.60 ลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ที่ไหลผ่านแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นฟอर्मัลดีไฮด์ที่เหลือหลังการดูดซับด้วยโคโคซานจากเปลือกกุ้งที่อัตราการไหล 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาที

5.2 โคโคซานเชิงพาณิชย์

จากการทดลองในข้อที่ 5 ปล่อยสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์เข้มข้น 11 มิลลิกรัมต่อลิตร ไหลผ่านชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ที่ภายในกระบอกคาร์ทริดจ์บรรจุโคโคซานเชิงพาณิชย์ ปริมาณ 60 กรัม โดยแปรผันอัตราการไหลที่ 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างที่ผ่านการดูดซับทุกๆ 5 นาที แสดงในตารางที่ 10

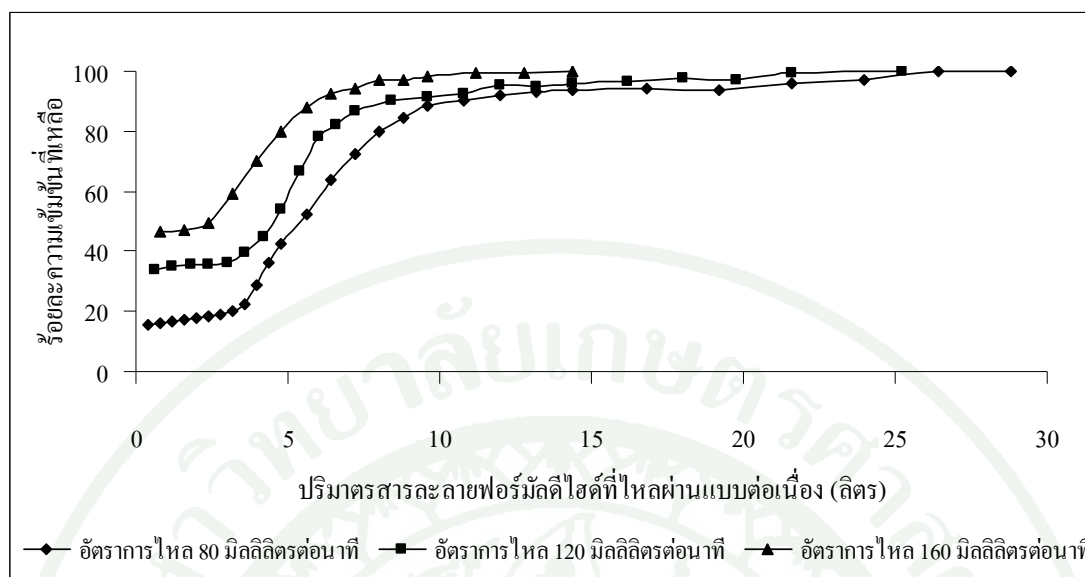
ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่ไหลแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือหลังการดูดซับด้วยโคโคซานเชิงพาณิชย์ที่อัตราการไหล 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลา (นาที)	80 มิลลิลิตรต่อนาที			120 มิลลิลิตรต่อนาที			180 มิลลิลิตรต่อนาที		
	ปริมาตร	ร้อยละ	พีเอช	ปริมาตร	ร้อยละ	พีเอช	ปริมาตร	ร้อยละ	พีเอช
	ละลาย (ลิตร)	เข้มข้น ที่เหลือ		ละลาย (ลิตร)	เข้มข้น ที่เหลือ		ละลาย (ลิตร)	เข้มข้นที่ เหลือ	
5	0.40	15.73	8.30	0.60	33.85	8.00	46.35	46.35	8.05
10	0.80	16.04	8.32	1.20	34.94	8.20	62.13	47.13	8.09
15	1.20	16.75	8.32	1.80	35.40	8.27	70.41	49.34	8.19
20	1.60	17.48	8.31	2.40	35.75	8.38	78.93	58.93	8.26
25	2.00	17.98	8.41	3.00	36.38	8.42	82.22	70.22	8.36
30	2.40	18.14	8.50	3.60	39.90	8.46	84.77	79.77	8.44
35	2.80	18.69	8.55	4.20	45.03	8.39	5.60	88.14	8.36
40	3.20	19.91	8.23	4.80	53.77	8.45	6.40	92.29	8.45
45	3.60	22.18	8.23	5.40	66.91	8.43	7.20	94.26	8.48
50	4.00	28.94	8.44	6.00	78.04	8.42	8.00	96.84	8.54
55	4.40	36.10	8.41	6.60	81.98	8.38	8.80	97.13	8.45
60	4.80	42.68	8.43	7.20	87.03	8.40	9.60	98.42	8.39
70	5.60	52.20	8.54	8.40	90.04	8.37	11.20	99.61	8.45
80	6.40	63.54	8.55	9.60	91.61	8.38	12.80	99.61	7.99
90	7.20	72.30	8.71	10.80	92.56	7.81	14.40	100.00	8.15
100	8.00	80.06	8.69	12.00	95.13	7.16	-	-	-
110	8.80	84.22	8.07	13.20	94.91	7.91	-	-	-
120	9.60	88.56	8.27	14.40	96.09	7.85	-	-	-
135	10.80	89.95	8.37	16.20	96.48	7.92	-	-	-
150	12.00	92.11	8.35	18.00	97.65	7.71	-	-	-
165	13.20	93.29	8.37	19.80	97.26	7.27	-	-	-
180	14.40	93.69	8.52	21.60	99.61	7.37	-	-	-
210	16.80	94.48	8.59	25.20	100.00	7.06	-	-	-
240	19.20	93.83	8.57	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	80 มิลลิลิตรต่อนาที			120 มิลลิลิตรต่อนาที			180 มิลลิลิตรต่อนาที		
	ปริมาตร	ร้อยละ	ฟิเอช	ปริมาตร	ร้อยละ	ฟิเอช	ปริมาตร	ร้อยละ	ฟิเอช
	สารละลาย	ความเข้มข้น		สารละลาย	ความเข้มข้น		สารละลาย	ความเข้มข้น	
	(ลิตร)	ที่เหลือ		(ลิตร)	ที่เหลือ		(ลิตร)	ที่เหลือ	
270	21.60	95.88	8.58	-	-	-	-	-	-
300	24.00	97.25	8.58	-	-	-	-	-	-
330	26.40	99.98	8.63	-	-	-	-	-	-
360	28.80	100.00	8.71	-	-	-	-	-	-

เมื่อสร้างกราฟระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ที่ไหลผ่านแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ที่เหลือหลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ที่อัตราการไหล 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาที ดังภาพที่ 42 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ไคโตซานเชิงพาณิชย์เริ่มหมดสภาพเมื่อปล่อยให้สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ไหลผ่านไปที่ปริมาตร 3.20, 3.00 และ 2.40 ลิตร ด้วยอัตราเร็ว 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาทีตามลำดับ และไคโตซานเชิงพาณิชย์หมดสภาพการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์เมื่อปริมาตรสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ไหลผ่านเท่ากับ 9.60, 8.40 และ 7.20 ลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ที่ไหลผ่านแบบต่อเนื่องกับร้อยละความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือหลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ที่อัตราการไหล 80, 120 และ 160 มิลลิตรต่อนาที

6. ศึกษาการฟื้นฟูสภาพของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์หลังผ่านการใช้งาน

จากการทดลองที่ 6 พบว่า ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ลดลงตามจำนวนครั้งของการฟื้นฟูเมื่อเทียบกับการใช้งานครั้งแรก โดยพบว่าการใช้งานครั้งแรก ประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์จะมากที่สุด สามารถดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ได้ร้อยละ 48.34 และ 53.10 ตามลำดับ เมื่อฟื้นฟูสภาพการใช้งานแล้วไคโตซานทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ลดลงตามลำดับ ดังตารางที่ 11

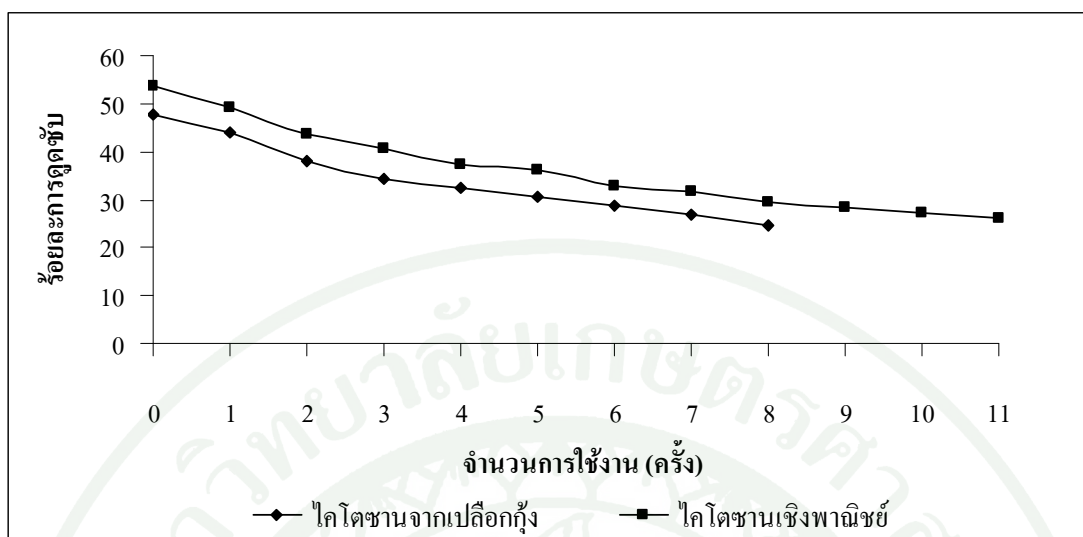
ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์หลังผ่านการใช้งาน

ชนิดของตัวดูดซับ	ร้อยละการดูดซับ			
	ใช้งานครั้งแรก	ฟื้นฟูครั้งที่ 1	ฟื้นฟูครั้งที่ 2	ฟื้นฟูครั้งที่ 3
ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง	48.34	43.83	38.11	34.30
ไคโตซานเชิงพาณิชย์	53.10	49.19	43.73	40.45

สำหรับอายุการใช้งานของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ เมื่อพิจารณาจากจำนวนครั้งที่ใช้ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ จนกระทั่งประสิทธิภาพการดูดซับลดลงครึ่งหนึ่งจากประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ครั้งแรก พบว่า อายุการใช้งานของไคโตซานทั้งสองชนิดในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์จะมีอายุการใช้งานลดลง เมื่อจำนวนครั้งการใช้งานมากขึ้น โดยพบว่าการใช้งานไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ 8 และ 11 ครั้งตามลำดับ จะมีประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ลดลงครึ่งหนึ่งจากประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ครั้งแรก คือ สามารถดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ได้ร้อยละ 24.77 จากร้อยละ 48.34 และร้อยละ 26.24 จากร้อยละ 53.10 ดังตารางที่ 12 และภาพที่ 43

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ หลังผ่านการใช้งาน

จำนวน ครั้งการ ฟื้นฟู พื้นฟู	ร้อยละการดูดซับ		ร้อยละความเข้มข้นที่เหลือ	
	ไคโตซานจาก เปลือกกุ้ง	ไคโตซานเชิง พาณิชย์	ไคโตซานจาก เปลือกกุ้ง	ไคโตซานเชิง พาณิชย์
เริ่มต้น	48.34	53.10	51.66	46.90
1	43.83	49.19	56.17	50.81
2	38.11	43.73	61.89	56.27
3	34.30	40.45	65.70	59.55
4	32.39	37.17	67.61	62.83
5	30.49	36.07	69.51	63.93
6	28.58	32.79	71.42	67.21
7	26.68	31.70	73.32	68.30
8	24.77	29.51	75.23	70.49
9	-	28.42	-	71.58
10	-	27.33	-	72.67
11	-	26.24	-	73.76



ภาพที่ 43 ประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์หลังผ่านการใช้งาน

7. ผลการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้ง จากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด จังหวัดระยอง

จากการทดลองในข้อที่ 6 นำน้ำทิ้งที่เก็บจากท่อระบายน้ำทิ้งของบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด จังหวัดระยองที่มีฟอร์มาลดีไฮด์เจือปน 4 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 (G970), จุดที่ 2 (F1801A), จุดที่ 3 (F1801B) และ จุดที่ 4 (F1801C) มาทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช, ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS), ของแข็งแขวนลอย (SS), ซีโอดี (COD), บีโอดี (BOD), ไขมันและน้ำมัน เป็นต้น ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด

พารามิเตอร์	จุดที่ 1 (G970)	จุดที่ 2 (F1801A)	จุดที่ 3 (F1801B)	จุดที่ 4 (F1801C)	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงาน อุตสาหกรรม และนิคม อุตสาหกรรม
pH	5.80	6.70	6.80	7.1	5.5-9.0
HCHO (mg/l)	13.00	4.30	3.40	1.15	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
TDS (mg/l)	532	407	350	324	ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
SS (mg/l)	55	49	44	36	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
TS (mg/l)	587	456	394	360	ไม่ได้กำหนด
Oil & Grease (mg/l)	1.98	1.64	1.26	1.37	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
BOD (mg/l)	181.50	165.75	-	-	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
COD (mg/l)	960	960	640	1,280	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม พบว่า พารามิเตอร์ที่มีค่าไม่เกินมาตรฐานดังกล่าว ได้แก่ ค่าพีเอช, ของแข็งแขวนทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS), ของแข็งแขวนลอย (SS), ไขมันและน้ำมัน ส่วนพารามิเตอร์ที่มีค่าเกินมาตรฐาน ได้แก่ ฟอर्मัลดีไฮด์ (HCHO), บีโอดี และซีโอดี

8. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากจุด 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ ชนิดละ 3 ชั่วโมง โดยทำการทดลองแบบแบตช์

1) ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

จากการทดลองในข้อที่ 7.3 โดยใช้ไคโตซานจากเปลือกกุ้งปริมาณ 5 กรัม และน้ำเสียจากจุด 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) ปริมาตรจุดละ 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบตช์ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการทดลองปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์ที่จุดเก็บน้ำที่ 1 (G970) และจุดเก็บน้ำที่ 2 (F1801A) มีปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์ก่อนดูดซับเท่ากับ 13.0 และ 4.30 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยเทียบกับกราฟ

มาตรฐานฟอร์หมัลดีไฮด์ของสมการเส้นตรง ($y = 0.0665x + 0.0037$) ดังแสดงในภาคผนวกที่ 17 หลังผ่านการดูดซับด้วยสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีแบบแบดซ์ พบว่า ไคโตซานจากเปลือกกุ้งสามารถดูดซับฟอร์หมัลดีไฮด์จากจุดเก็บน้ำทั้ง 2 จุดได้เท่ากับร้อยละ 90.02 และ 95.47 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 การดูดซับฟอร์หมัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากท่อจุด 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง โดยการทดลองแบบแบดซ์

จุดเก็บน้ำเสีย	ปริมาณฟอร์หมัลดีไฮด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ร้อยละการดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
จุดที่ 1 ในท่อ (G970)	13.00	1.30	90.02
จุดที่ 2 ในบ่อ (F1801A)	4.30	0.19	95.47

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังทำการทดลองการดูดซับฟอร์หมัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งในสภาวะที่เหมาะสมที่ศึกษาได้ด้วยวิธีแบบแบดซ์หลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งพบว่า ทำให้น้ำทิ้งมีสภาพความเป็นกรดลดลง และค่าของแข็งแขวนลอย (SS), ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS), ซีไอดี ไนโตรเจนและน้ำมัน มีปริมาณลดลงอีกด้วย ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 คุณภาพน้ำเสียจากการดูดซับฟอร์หมัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากท่อจุด 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) หลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งโดยทำการทดลองแบบแบดซ์

พารามิเตอร์	จุดที่ 1 (G970)			จุดที่ 2 (F1801A)		
	ก่อน	หลัง	ร้อยละ	ก่อน	หลัง	ร้อยละ
	ดูดซับ	ดูดซับ	การดูดซับ	ดูดซับ	ดูดซับ	การดูดซับ
pH	5.80	6.81	-	6.70	6.94	-
TDS (mg/l)	532	304	42.85	407	295	27.51
SS (mg/l)	55	13	76.36	49	11	77.55
COD (mg/l)	960	320	66.66	960	192	80.00
Oil&Grease	1.98	0.0017	99.91	1.64	0.0021	99.92

2) ไคโตซานเชิงพาณิชย์

จากการทดลองในข้อที่ 7.3 โดยใช้ไคโตซานเชิงพาณิชย์ปริมาณ 3 กรัม และน้ำเสียจากจุด 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) ปริมาตรจุดละ 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบแบคซ์ ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการทดลองปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่จุดเก็บน้ำที่ 1 (G970) และจุดเก็บน้ำที่ 2 (F1801A) มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนดูดซับเท่ากับ 13.0 และ 4.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ ($y = 0.0665x + 0.0037$) ดังแสดงในภาคผนวกที่ 17 หลังผ่านการดูดซับด้วยสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีแบบแบคซ์ พบว่า ไคโตซานเชิงพาณิชย์สามารถดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์จากจุดเก็บน้ำทั้ง 2 จุดได้เท่ากับร้อยละ 93.49 และ 97.80ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 การดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากท่อจุด 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) จังหวัดระยองด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดลองแบบแบคซ์

จุดเก็บน้ำเสีย	ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ร้อยละการดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
จุดที่ 1 ในท่อ (G970)	13.00	0.85	93.49
จุดที่ 2 ในบ่อ (F1801A)	4.30	0.09	97.80

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังทำการทดลองการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ในสภาวะที่เหมาะสมที่ศึกษาได้ด้วยวิธีแบบแบคซ์หลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์พบว่า ทำให้น้ำทิ้งมีสภาพความเป็นกรดลดลง และค่าของแข็งแขวนลอย (SS), ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS), ซีโอดี ไบโอมันและน้ำมัน มีปริมาณลดลงอีกด้วย ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 คุณภาพน้ำเสียจากการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากท่อจุด 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) หลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดลองแบบแบตช์

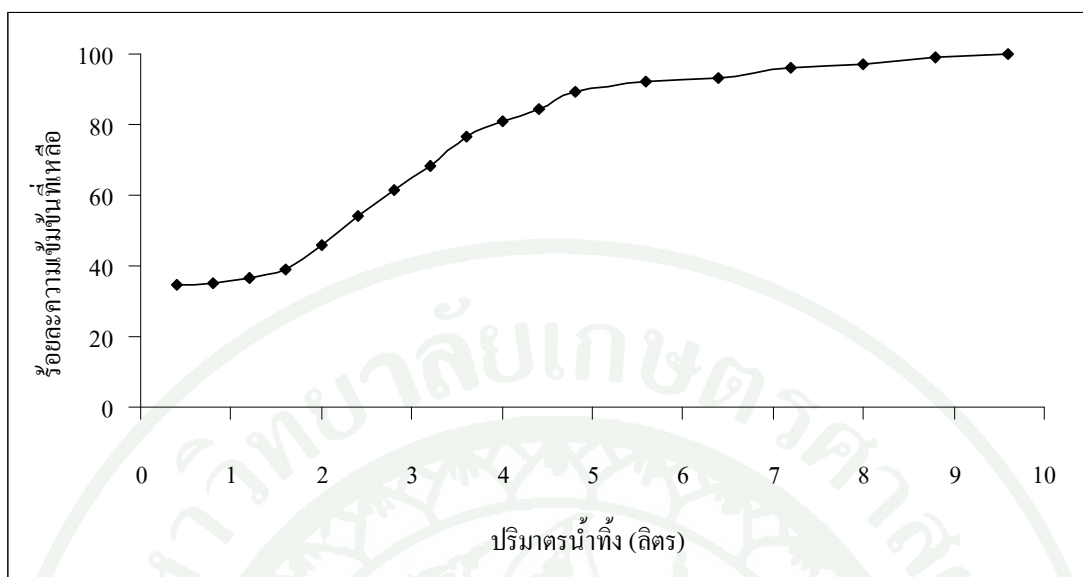
พารามิเตอร์	จุดที่ 1 (G970)			จุดที่ 2 (F1801A)		
	ก่อน	หลัง	ร้อยละ	ก่อน	หลัง	ร้อยละการ
	ดูดซับ	ดูดซับ	การดูดซับ	ดูดซับ	ดูดซับ	ดูดซับ
pH	5.80	7.12	-	6.70	7.25	-
TDS (mg/l)	532	292	45.11	407	283	30.46
SS (mg/l)	55	12	78.18	49	10	79.59
COD (mg/l)	960	320	66.66	960	224	76.66
Oil&Grease	1.98	0.0023	99.88	1.64	0.0028	99.82

9. ศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งจากจุด 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) บริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่องด้วยชุดเครื่องกรองประดิษฐ์

1) ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

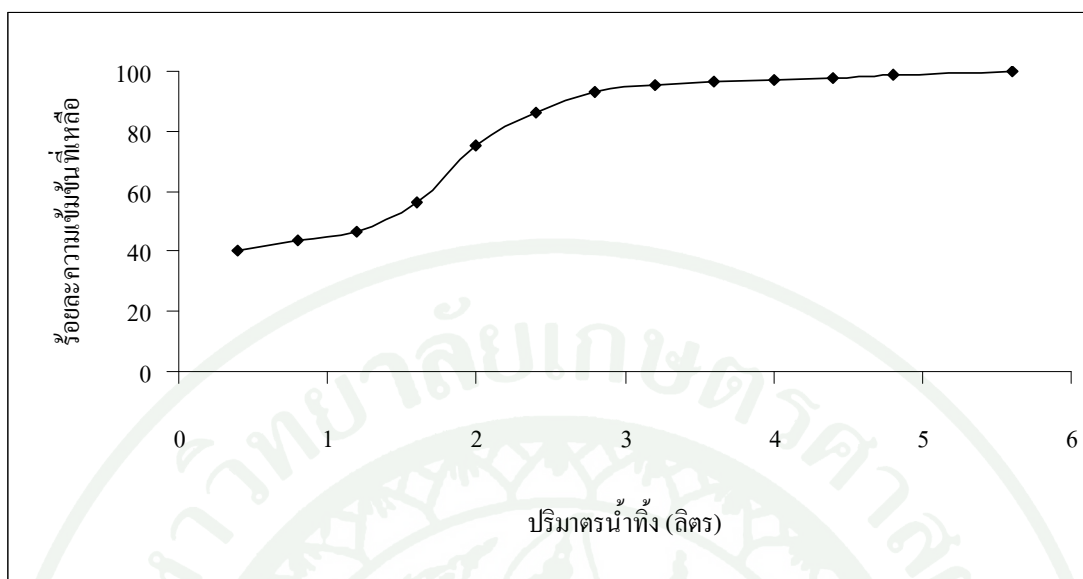
ทดลองโดยใช้น้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด 2 จุด คือ จุดเก็บที่ 1 ในท่อ (G970) และจุดเก็บที่ 2 ในบ่อ (F1801A) ปล่อยไหลผ่านชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ที่บรรจุไคโตซานจากเปลือกกุ้ง ปริมาณ 60 กรัม ที่อัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ดีที่สุด จากนั้นเก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับทุกๆ 5 นาที ได้มีผลการทดลองดังนี้

จากผลการทดลอง พบว่าน้ำทิ้งที่จุดเก็บที่ 1 ในท่อ (G970) ที่บรรจุไคโตซานจากเปลือกกุ้ง ประสิทธิภาพการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น โดยไคโตซานจากเปลือกกุ้งเริ่มหมดสภาพเมื่อปล่อยให้สารละลายฟอรั่มัลดีไฮด์ไหลผ่านไปปริมาตร 1.60 ลิตร ด้วยอัตราเร็ว 80 มิลลิลิตรต่อนาที และหมดสภาพการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์เมื่อปริมาตรสารละลายฟอรั่มัลดีไฮด์ไหลผ่านเท่ากับ 4.80 ลิตร ดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ที่จุดเก็บที่ 1 ในท่อ (G970) กับปริมาณน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง

ผลการทดลอง พบว่าน้ำทิ้งที่จุดเก็บที่ 2 ในท่อ (F1801A) ที่บรรจุไคโตซานจากเปลือกกุ้งประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น โดยไคโตซานจากเปลือกกุ้งเริ่มหมดสภาพเมื่อปล่อยให้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ไหลผ่านไปทีปริมาณ 1.20 ลิตร ด้วยอัตราเร็ว 80 มิลลิลิตรต่อนาที และหมดสภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์เมื่อปริมาตรสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ไหลผ่านเท่ากับ 2.80 ลิตร ดังภาพที่ 45

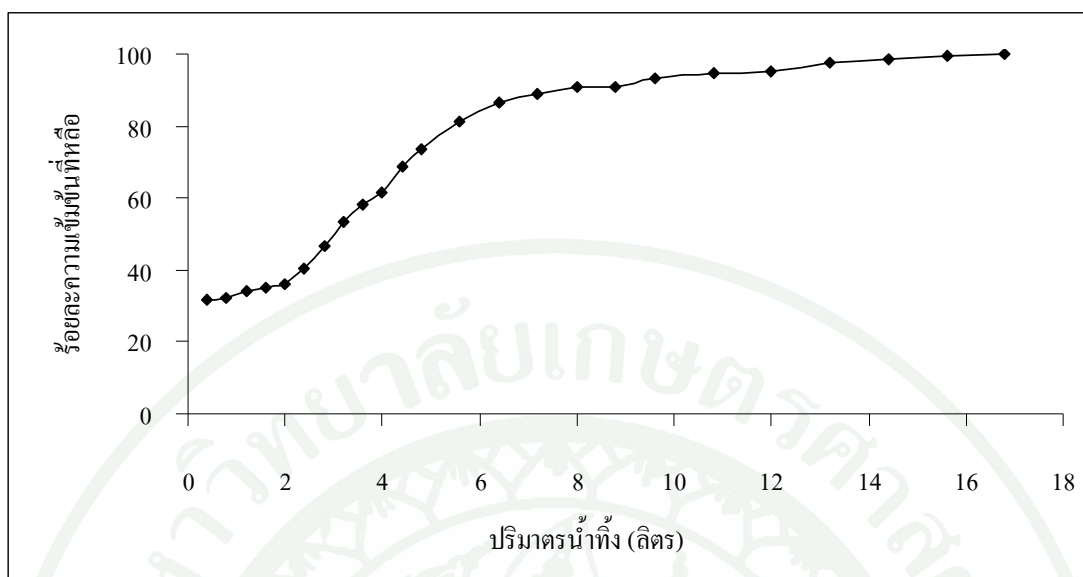


ภาพที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ที่จุดเก็บที่ 2 ในท่อ (F1801A) กับปริมาณน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง

2) ไคโตซานเชิงพาณิชย์

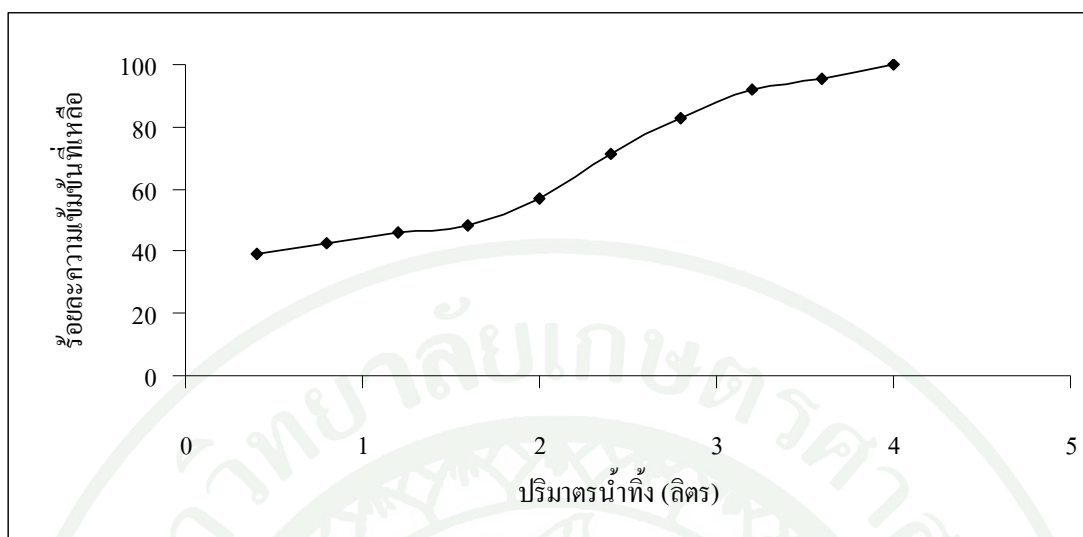
ทดลองโดยใช้น้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด 2 จุด คือ จุดเก็บที่ 1 ในท่อ (G970) และจุดเก็บที่ 2 ในบ่อ (F1801A) ปล่อยไหลผ่านชุดเครื่องกรองประดิมฐ์ที่บรรจุไคโตซานเชิงพาณิชย์ ปริมาณ 60 กรัม ที่อัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ที่ดีที่สุด จากนั้นเก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับทุกๆ 5 นาที ได้มีผลการทดลองดังนี้

จากผลการทดลอง พบว่าน้ำทิ้งที่จุดเก็บที่ 1 ในท่อ (G970) ที่บรรจุไคโตซานเชิงพาณิชย์ ประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น โดยไคโตซานเชิงพาณิชย์ เริ่มหมดสภาพเมื่อปล่อยให้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ไหลผ่านไปประมาณ 2.00 ลิตร ด้วยอัตราเร็ว 80 มิลลิลิตรต่อนาทีและหมดสภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์เมื่อปริมาณสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ไหลผ่านเท่ากับ 8.00 ลิตร ดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความชื้นฟอรั่มลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ที่จุดเก็บที่ 1 ในท่อ (G970) กับปริมาณน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์แบบคอลัมน์ต่อเนื่อง

ผลการทดลอง พบว่าน้ำทิ้งที่จุดเก็บที่ 2 ในท่อ (F1801A) ที่บรรจุไคโตซานเชิงพาณิชย์ประสิทธิภาพการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น โดยไคโตซานเชิงพาณิชย์เริ่มหมดสภาพเมื่อปล่อยให้สารละลายฟอรั่มลดีไฮด์ไหลผ่านไปทีปริมาณ 1.60 ลิตร ด้วยอัตราเร็ว 80 มิลลิลิตรต่อนาที และหมดสภาพการดูดซับฟอรั่มลดีไฮด์เมื่อปริมาณสารละลายฟอรั่มลดีไฮด์ไหลผ่านเท่ากับ 3.20 ลิตร ดังภาพที่ 47



ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความชื้นพอร์มัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ที่จุดเก็บที่ 2 ในท่อ (F1801A) กับปริมาณน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์แบบคอลัมน์ต่อเนื่อง

10. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำโดยใช้ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์

พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษามีดังนี้ พีเอช ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ไบโอมันและน้ำมัน

1) ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

จากการทดลองโดยใช้น้ำทิ้งจากจุดที่ 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) ให้ไหลผ่านชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ที่ภายในกระบอกคาร์ทริดจ์บรรจุไคโตซานจากเปลือกกุ้งปริมาณ 60 กรัม แปรผันอัตราการไหลที่ 80 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับทุก 5 นาที ซึ่งวัดพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษได้ตามตารางที่ 18

ตารางที่ 18 คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด หลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่องที่อัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาที

พารามิเตอร์	จุดเก็บน้ำทิ้ง					
	จุดเก็บที่ 1 ในท่อ (G970)			จุดเก็บที่ 2 ในบ่อ (F1801A)		
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ร้อยละการดูดซับ	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ร้อยละการดูดซับ
pH	5.80	7.57	-	8.93	6.83	-
TDS (mg/l)	532	279	47.55	407	254	37.59
SS (mg/l)	55	14	74.54	49	12	75.51
COD (mg/l)	960	320	66.66	960	192	80.00
Oil&Grease	1.98	0.0069	99.65	1.64	0.0015	99.90

จากตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด หลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่องที่อัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า จุดเก็บที่ 1 ในท่อ (G970) และจุดเก็บที่ 2 ในบ่อ (F1801A) น้ำทิ้งมีสภาพความเป็นกรดลดลง และเพิ่มขึ้นตามลำดับ และค่าของแข็งแขวนลอย (SS), ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS), ซีโอดี ไขมันและน้ำมัน มีปริมาณลดลง

2) ไคโตซานเชิงพาณิชย์

จากการทดลองโดยใช้น้ำทิ้งจากจุดที่ 1 (G970) และ จุด 2 (F1801A) ให้ไหลผ่านชุดเครื่องกรองประดิษฐ์ที่ภายในกระบอกคาร์ทริดจ์บรรจุไคโตซานจากเปลือกกุ้งปริมาณ 60 กรัม แปรผันอัตราการไหลที่ 80 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับทุก 5 นาที ซึ่งวัดพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด หลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่องที่อัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาที

พารามิเตอร์	จุดเก็บน้ำทิ้ง					
	จุดเก็บที่ 1 ในท่อ (G970)			จุดเก็บที่ 2 ในบ่อ (F1801A)		
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ร้อยละการดูดซับ	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	ร้อยละการดูดซับ
pH	5.80	7.42	-	8.93	6.93	-
TDS (mg/l)	532	286	46.24	407	274	32.67
SS (mg/l)	55	13	76.36	49	11	77.55
COD (mg/l)	960	320	66.66	960	224	76.66
Oil&Grease	1.98	0.0024	99.87	1.64	0.0030	99.81

จากตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด หลังการดูดซับด้วยไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยทำการทดลองแบบคอลัมน์ต่อเนื่องที่อัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า จุดเก็บที่ 1 ในท่อ (G970) และจุดเก็บที่ 2 ในบ่อ (F1801A) น้ำทิ้งมีสภาพความเป็นกรดลดลง และเพิ่มขึ้นตามลำดับ และค่าของแข็งแขวนลอย (SS), ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS), ซีโอดี ไนโตรเจนและน้ำมัน มีปริมาณลดลง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ โดยวิธีแบบเบตซ์ และแบบวิธีการไหลต่อเนื่อง ด้วยชุดเครื่องกรองประคิษฐ์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากการศึกษาการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้งปริมาณ 5 กรัม ด้วยวิธีแบบเบตซ์ พบว่า ไคโตซานจากเปลือกกุ้งสามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ร้อยละ 48.34 โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ พีเอช 3-9 ความเร็วรอบการเขย่า 50 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 10 นาที ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 10 นาที สำหรับไคโตซานเชิงพาณิชย์ปริมาณ 3 กรัม สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในสารละลายเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ร้อยละ 53.10 ด้วยวิธีแบบเบตซ์ โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ พีเอช 3-8 ความเร็วรอบการเขย่า 150 รอบต่อนาที ระยะเวลาเขย่า 60 นาที ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะสมดุล 30 นาที จากไอโซเทอร์มการดูดซับของไคโตซานทั้งสองชนิด พบว่า ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง และไคโตซานเชิงพาณิชย์มีกลไกการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ เมื่อทำการทดลองแบบการไหลต่อเนื่องที่อัตราการไหล 80, 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า ที่อัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาทีไคโตซานทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าที่อัตราการไหล 120 และ 160 มิลลิลิตรต่อนาทีตามลำดับ โดยที่อัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาที ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์เริ่มหมดสภาพเมื่อผ่านสารละลายมาตรฐานฟอर्मัลดีไฮด์ เท่ากับ 2.40 และ 3.20 ลิตรตามลำดับ และหมดสภาพการดูดซับที่ปริมาตรเท่ากับ 8.80 และ 9.60 ลิตรตามลำดับ การฟื้นฟูสภาพไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์หลังผ่านการใช้งานแล้ว พบว่าไคโตซานทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ลดลงตามจำนวนครั้งของการฟื้นฟูสภาพ และอายุการใช้งานของไคโตซานในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์จะมีอายุการใช้งานลดลง เมื่อจำนวนครั้งการใช้งานมากขึ้น โดยการใช้งานไคโตซานจากเปลือกกุ้งและไคโตซานเชิงพาณิชย์ในการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ 8 ครั้ง และ 11 ครั้ง ตามลำดับ จะมีประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ลดลงครั้งหนึ่งจากประสิทธิภาพการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ครั้งแรก คือ สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ได้ร้อยละ 24.77 และ 26.24 ตามลำดับ ส่วนการทดลองด้วยวิธีการไหลแบบต่อเนื่องในน้ำทิ้งของบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด พบว่า ไคโตซานจากเปลือกกุ้งสามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งที่จุดเก็บน้ำที่ 1 (G970) และจุดเก็บน้ำที่ 2 (F1801A) ได้โดยน้ำทิ้งทั้งสองจุดเริ่มหมดสภาพที่ปริมาตรน้ำทิ้งเท่ากับ 1.60 และ 1.20 ลิตรตามลำดับ และหมดสภาพที่ปริมาตร 9.60 และ 5.60 ลิตรตามลำดับ สำหรับไคโตซานเชิงพาณิชย์สามารถดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งที่จุดเก็บน้ำที่ 1 (G970) และจุดเก็บน้ำที่ 2 (F1801A) ได้โดยเริ่มหมดสภาพที่ปริมาตรน้ำทิ้งเท่ากับ 2.00 และ 1.60 ลิตรตามลำดับ และหมดสภาพที่ปริมาตร 16.80 และ 4.00 ลิตรตามลำดับ

ด้านคุณภาพน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด หลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง และไคโตซานเชิงพาณิชย์ พบว่า น้ำทิ้งมีสภาพความเป็นกรดลดลง และเพิ่มขึ้นตามลำดับ และค่าของแข็งแขวนลอย (SS), ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS), ซีไอดี ไนโตรเจนและน้ำมัน มีปริมาณลดลง

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองในครั้งนี้ ทำให้ทราบข้อมูลบางอย่างเพื่อนำไปปรับปรุงงานทดลองครั้งต่อไป จึงเสนอแนะไว้ดังนี้เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ ดังนี้

1. ควรมีการศึกษาวัดดูดซับชีวภาพชนิดอื่น เช่น เปลือกหอย เปลือกปู กระดองหมีก เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับฟอรัลดีไฮด์
2. ควรมีการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของไคโตซานทั้งสองชนิด ทั้งก่อนและหลังการใช้งาน
3. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของไคโตซานทั้งสองชนิด ในการบำบัดพารามิเตอร์ที่วัดคุณภาพน้ำตัวอื่นๆ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2541. **ฟอร์มัลดีไฮด์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย
กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์ และคณิดา ตั้งคณาภิรักษ์. 2550. **หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี**.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พัฒน์นันทน์ วงศ์วิวัฒน์. 2545. **การสกัดไคติน-ไคโตซานจากเปลือกหอย**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

ศิริภา ชลสรานนท์. 2544. **การสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้ง**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์.

ศุภยาลักษณ์ สร้อยสุริยา. 2544. **เสถียรภาพของแผ่นฟิล์มไคติน-ไคโตซานสำหรับใช้เป็นวัสดุทดแทน**
ผิวหนังชั่วคราว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุภาวดี น้อยน้ำใส และคณะ. 2550. **การปรับปรุงประสิทธิภาพการดูดซับของกากตะกอนโรงบำบัดน้ำ**
เพื่อดูดซับสีธรรมชาติในน้ำ. เอกสารประชุมวิชาการ ด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1.
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

สุวลี จันทร์กระจ่าง. 2542. **สารไคตินและไคโตซานผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ และการประยุกต์ใช้**
ประโยชน์. การสัมมนาวิชาการเรื่อง ความร่วมมือของภาครัฐและเอกชนในการพัฒนาผลิต
และการใช้สารไคตินแบบครบวงจร.

Ahmad, A.L., S. Sumathi and B.H. Hameed. 2005. Residual oil and suspended solid removal using
natural adsorbents chitosan, bentonite and activated carbon: A comparative study. **Water**
Research. 39 : 2483-2494.

Chen, C-Y, C-C Chen and Y-C Chung. 2007. Removal of phthalate esters by β -cyclodextrin-linked
chitosan bead. **Bioresourse Technology**. 98 : 2578-2583.

- Clark, R.M. and B.W. Lykins. 1989. **Granular Activated Carbon: Design Operation and Cost.** Lewis Publ., Michigan.
- Chen, C-M and T-Y Shieh,. **Complications of free radial forearm flap transfers for head and neck reconstruction.** Oral Surg Oral Med 99(6) : 671-6, 2005.
- Fagnani E., C.B. Melios, L. Pezza and H.R. Pezza. 2003. Chromotropic acid_ formaldehyde reaction in strongly acidic media. The role of dissolved oxygen and replacement of concentrated sulphuric acid. **Talanta.** 60 : 171-176.
- Maron, S.H. and C.F. Prutton 1961. **Principle of Physical Chemical.** 3rd ed. Macmillan, Co. New York.
- Okuyama, K., K. Noguchi, M. Kanenari, T. Egawa, and K. Ogawa. 2000. Structural density of chitosan and its complexes. **Carbohydrate Polymers.** 41 : 237-247.
- Qiang Yu, Shubo Deng and Gang Yu. 2007. Selective removal of perfluorooctane sulfonate from aqueous solution using chitosan-based molecularly imprinted polymer adsorbents. **Bioresourse Technology.** 98 : 2578-2583.
- Salman M., J. Anwar, W.U. Zaman, M.U. Shafique and S.M. Hussian. 2008. Synthesis and characterization of formaldehyde by catalytic oxidation of methanol. **Journal of Scientific Research.** 36 (2): 195-201.
- Sunstorm, D.W. and H.B. Klei. 1979. **Wastewater treatment.** Department of chemical engineering the university of Connecticut. Washington, D.C. (Mimeographed).
- World Health Organization. 2002. **Formaldehyde.** Concise International Chemical Assessment Document 40. Geneva, Switzerland.
- Yanhua Xie, Shiyu Li, Fei Wang and Guangli Liu. 2009. Removal of perchlorate from aqueous solution using protonated cross-linked chitosan. **Chemical Engineering Journal.** 156 : 56-63.



ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ของไคโตซาน จากเปลือกกุ้งและค่าพีเอช

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
3	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
4	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
5	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
6	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
7	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
8	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
9	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ของไคโตซาน เชิงพาณิชย์และค่าพีเอช

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
3	5.520	6.371	5.520	5.804	2.06	54.059
4	5.520	6.371	5.520	5.804	2.06	54.059
5	5.520	6.371	5.520	5.804	2.06	54.059
6	5.520	6.371	5.520	5.804	2.06	54.059
7	5.520	6.371	5.520	5.804	2.06	54.059
8	5.520	6.371	5.520	5.804	2.06	54.059
9	6.087	6.939	6.087	6.371	1.88	49.554

ตารางผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและความเร็วรอบการเขย่า

ความเร็วรอบ (นาทื)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	7.22	7.22	7.22	7.22	0.00	41.44
50	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
100	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
150	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
200	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34

ตารางผนวกที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของไคโตซานเชิงพาณิชย์และความเร็วรอบการเขย่า

ความเร็วรอบ (นาทื)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0	8.72	9.18	8.99	8.972	0.23	32.30
50	6.83	7.35	7.48	7.223	0.34	45.22
100	6.37	6.37	6.37	6.371	0.00	51.68
150	6.28	6.06	5.91	6.087	0.18	53.83
200	6.37	6.37	6.37	6.371	0.00	51.68

ตารางผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและระยะเวลาแช่

ระยะเวลา แช่ (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
30	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
60	6.58	6.58	6.80	6.65	0.12	46.04
90	7.22	7.22	7.22	7.22	0.00	41.44
120	7.22	7.22	7.22	7.22	0.00	41.44

ตารางผนวกที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของไคโตซานเชิงพาณิชย์และระยะเวลาแช่

ระยะเวลา แช่ (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	6.95	6.95	6.95	6.95	0.00	50.43
30	6.52	6.01	6.47	6.33	0.28	54.85
60	5.76	6.15	6.15	6.02	0.22	57.06
90	5.76	6.15	6.15	6.02	0.22	57.06
120	5.76	6.15	6.15	6.02	0.22	57.06

ตารางผนวกที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและ
ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล

ระยะเวลาเข้าสู่ สภาวะสมดุล (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
30	6.54	6.54	7.17	6.75	0.36	45.27
60	6.85	7.34	6.61	6.93	0.37	43.74
90	7.04	7.04	7.04	7.04	0.00	42.97
120	7.04	7.04	7.04	7.04	0.00	42.97

ตารางผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของไคโตซานเชิงพาณิชย์และ
ระยะเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุล

ระยะเวลาเข้าสู่ สภาวะสมดุล (นาทีก)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	6.19	6.53	6.38	6.37	0.16	48.34
30	5.46	5.46	5.63	5.52	0.10	55.25
60	5.75	6.04	6.04	5.945	0.16	51.80
90	5.75	6.04	6.04	5.945	0.16	51.80
120	5.75	6.04	6.04	5.945	0.16	51.80

ตารางผนวกที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้งและความเข้มข้นของฟอรั่มัลดีไฮด์

ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
20	10.80	10.80	10.28	10.63	0.30	47.59
30	16.62	16.40	16.74	16.59	0.16	40.02
40	21.22	21.18	20.99	21.13	0.12	37.15
50	25.71	25.25	25.91	25.96	0.33	34.42

ตารางผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับฟอรั่มัลดีไฮด์ของไคโตซานเชิงพาณิชย์และความเข้มข้นของฟอรั่มัลดีไฮด์

ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
10	5.63	5.58	5.32	5.51	0.16	51.93
20	8.95	8.86	8.95	8.92	0.05	55.37
30	12.25	12.59	12.14	12.33	0.23	54.00
40	16.66	16.32	16.79	16.59	0.24	49.38
50	19.14	19.14	19.14	19.14	0.00	47.08

ตารางผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซับฟอรั่มลดีไฮด์ของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง และปริมาณไคโตซาน

ปริมาณไคโตซาน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือน้อย (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
1	9.63	9.99	9.70	9.78	0.18	20.72
2	9.15	8.80	8.82	8.92	0.19	27.62
3	8.27	8.27	8.52	8.36	0.14	32.23
4	7.22	7.22	7.22	7.22	0.00	41.44
5	6.37	6.37	6.37	6.37	0.00	48.34
6	6.33	5.42	5.65	5.80	0.47	52.95
7	5.42	5.70	5.42	5.52	0.15	55.25

ตารางผนวกที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับซับฟอรั่มลดีไฮด์ของไคโตซานเชิงพาณิชย์ และปริมาณไคโตซาน

ปริมาณไคโตซาน (กรัม)	ความเข้มข้นที่เหลือน้อย (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละของ การดูดซับ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
1	8.457	8.726	8.785	8.656	0.17	29.81
2	6.67	6.67	6.67	6.67	0.00	45.90
3	5.924	5.482	5.715	5.707	0.22	53.72
4	4.759	4.759	4.954	4.824	0.11	60.88
5	3.957	4.284	4.349	4.200	0.21	65.95

ตารางผนวกที่ 13 ไอโซเทอร์มการดูดซับของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

ปริมาณไคโตซาน (กรัม)	Co	C	V (l)	q	1/q	1/C	log q	log C
1	10	8.062	0.1	0.19	5.161	0.124	-0.713	0.906
2	10	6.927	0.1	0.15	6.508	0.144	-0.813	0.841
3	10	6.075	0.1	0.13	7.643	0.165	-0.883	0.784
4	10	5.223	0.1	0.12	8.374	0.191	-0.923	0.718
5	10	4.750	0.1	0.11	9.524	0.211	-0.979	0.677
6	10	4.087	0.1	0.10	10.148	0.245	-1.006	0.611
7	10	3.804	0.1	0.09	11.297	0.263	-1.053	0.580

ตารางผนวกที่ 14 ไอโซเทอร์มการดูดซับของไคโตซานเชิงพาณิชย์

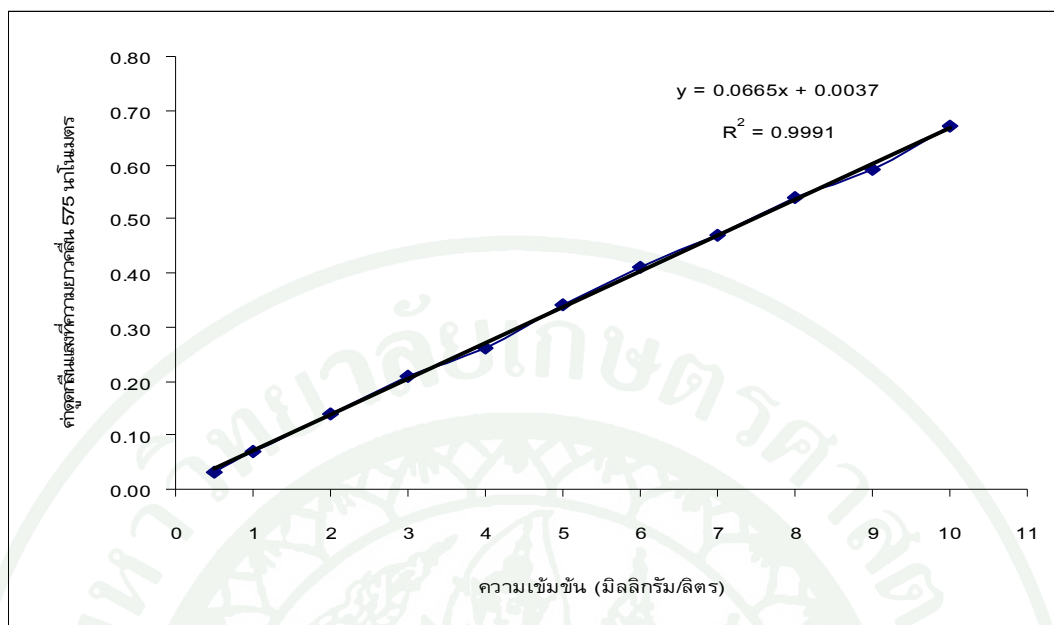
ปริมาณไคโตซาน (กรัม)	Co	C	V (l)	q	1/q	1/C	log q	log C
1	20	15.268	0.1	0.465	2.148	0.065	-0.332	1.183
2	20	12.420	0.1	0.375	2.666	0.080	-0.425	1.094
3	20	10.062	0.1	0.329	3.042	0.099	-0.483	1.002
4	20	8.501	0.1	0.286	3.502	0.117	-0.544	0.929
5	20	7.412	0.1	0.250	3.997	0.134	-0.601	0.869

ตารางผนวกที่ 15 การดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด จังหวัดระยองด้วยไคโตซาน จากเปลือกกุ้ง

จุดเก็บน้ำเสีย	ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				เฉลี่ย	S.D.	ร้อยละ การดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
จุดที่ 1 (G970)	13.00	1.36	1.28	1.26	1.30	0.05	90.02
จุดที่ 2 (F1801A)	4.30	0.11	0.08	0.08	0.19	0.01	95.47

ตารางผนวกที่ 16 การดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์ในน้ำทิ้งบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด จังหวัดระยองด้วยไคโตซาน เจริญพาณิชย์

จุดเก็บน้ำเสีย	ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				เฉลี่ย	S.D.	ร้อยละการดูดซับ
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
จุดที่ 1 (G970)	13.00	0.9	0.8	0.85	0.85	0.05	93.49
จุดที่ 2 (F1801A)	4.30	0.09	0.09	0.09	0.09	0.00	97.80



ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายพอร์มัลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.5–10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางผนวกที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำทิ้งจากบริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ณ จุดเก็บน้ำที่ 1 (G970) และจุดเก็บที่ 2 ในท่อ (F1801A) กับปริมาณน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วยไคโตซานจากเปลือกกุ้ง และไคโตซานเชิงพาณิชย์แบบคอลัมน์ต่อเนื่อง

เวลา (นาท)	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	ร้อยละความเข้มข้นที่เหลือ			
		ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง		ไคโตซานเชิงพาณิชย์	
		จุดที่ 1 (G970)	จุดที่ 2 (F1801A)	จุดที่ 1 (G970)	จุดที่ 2 (F1801A)
5	0.40	34.79	40.48	31.84	39.17
10	0.80	35.31	43.45	32.15	42.79
15	1.20	36.76	46.41	34.09	46.10
20	1.60	39.07	56.07	35.32	48.21
25	2.00	45.68	75.38	36.05	57.07
30	2.40	54.27	86.03	40.60	71.38
35	2.80	61.43	90.03	46.50	83.03
40	3.20	68.43	90.69	53.23	91.69
45	3.60	70.73	95.69	57.96	95.34
50	4.00	75.03	97.01	61.40	100.00
55	4.40	78.47	97.77	64.56	-
60	4.80	81.06	98.65	67.56	-
70	5.60	87.21	100.00	72.14	-
80	6.40	91.21	-	76.44	-
90	7.20	93.65	-	79.89	-
100	8.00	96.30	-	82.64	-
110	8.80	98.83	-	86.04	-
120	9.60	100.00	-	88.36	-
135	10.80	-	-	91.51	-
150	12.00	-	-	94.37	-
165	13.20	-	-	97.58	-
180	14.40	-	-	98.63	-
195	15.60	-	-	99.28	-
210	16.80	-	-	100.00	-

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสิริพร เกษมโชติพัฒน์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 6 พฤศจิกายน 2528
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลเจ้าพระยาอภัยภูเบศร จ.ปราจีนบุรี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีทางทะเล) มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสารสนเทศจันทบุรี
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	บริษัท ทีโอซี ไกลคอล จำกัด ผ่านโครงการศึกษาวิจัย และพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจาก พระราชดำริ