

การประยุกต์ใช้ไอโตซานและไคโตซานดัดแปรในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นจากน้ำเสีย

นางสาวพันธ์ทิพา ให้อย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF CHITOSAN AND MODIFIED CHITOSAN IN ADSORPTION OF CUTTING OIL FROM
WASTEWATER

Miss Pantipa Hoyai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้โคโคซานและโคโคซานคัดแปรในการดูดซับน้ำมัน
หล่อเย็นจากน้ำเสีย

โดย

นางสาวพันธทิพา ให้อย

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

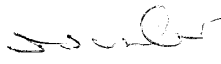
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชยาน์ พงศ์สถาปติ


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชยาน์ พงศ์สถาปติ)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นิสิต ตันทิวาเชษฐ)

พันธิตา ไห้โย : การประยุกต์ใช้ไคโตซานและไคโตซานดัดแปรในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นจากน้ำเสีย (APPLICATION OF CHITOSAN AND MODIFIED CHITOSAN IN ADSORPTION OF CUTTING OIL FROM WASTEWATER) อ. ที่ปริภษาวิทยานพนธ์หลัก : ผศ. ดร.ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปตี, 76 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดน้ำมันหล่อเย็นโดยการดูดซับบนตัวดูดซับที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ตัวดูดซับที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ทำมาจากเปลือกกุ้งซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกุ้งแช่แข็ง เรียกว่า ไคโตซาน และไคโตซานดัดแปร รวมทั้งหมด 3 ชนิด คือ 1.ไคโตซานบีด (C) 2.ไคโตซานผสมโซเดียมลอริลซัลเฟต (CS) 3.ไคโตซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และโซเดียมลอริลซัลเฟต (CSM) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นบนตัวดูดซับต่างๆ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ค่าพีเอช ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น น้ำหนักของตัวดูดซับ ชนิดของตัวดูดซับ และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ โดยการทดลองจะเป็นการดูดซับแบบกะ จากผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นบนตัวดูดซับต่างๆ เรียงตามลำดับดังนี้ CSM มากกว่า CS มากกว่า C เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น จะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของตัวดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น ตัวดูดซับทุกชนิดจะให้ผลการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นในภาวะกรด ได้สูงกว่าที่ภาวะกลางและสูงกว่าที่ภาวะด่าง ตามลำดับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นยังขึ้นกับความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น และน้ำหนักของตัวดูดซับ จากผลของอุณหภูมิทำให้ทราบว่า กระบวนการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นบนตัวดูดซับ C, CS และ CSM เป็นกระบวนการดูดความร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าไอโซเทิร์มของการดูดซับบนตัวดูดซับ C และ CS สอดคล้องกับไอโซเทิร์มแบบแลงเมียร์ ส่วนไอโซเทิร์มของการดูดซับบนตัวดูดซับ CSM สอดคล้องกับไอโซเทิร์มแบบฟรุนดลิช จากผลของเทอร์โมไดนามิกส์ ทำให้ทราบว่ากระบวนการดูดซับนั้นสามารถเกิดขึ้นได้เอง เนื่องจากพลังงานกิบบส์ของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิดมีค่าเป็นลบ ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะของตัวดูดซับต่างสนับสนุนผลการทดลอง

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนิสิต.....*พันธิตา ไห้โย*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปริภษาวิทยานพนธ์หลัก.....*ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปตี*.....

4989144420 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: CHITOSAN / MODIFIED CHITOSAN / ADSORPTION / CUTTING OIL

PANTIPA HOYAI: APPLICATION OF CHITOSAN AND MODIFIED CHITOSAN IN
ADSORPTION OF CUTTING OIL FROM WASTEWATER THESIS PRINCIPAL ADVISOR

:ASST. PROF. NUTTHAYA PONGSATABADEE, 76 pp.

This aim of this research is to study an adsorption of cutting oil on biodegradable adsorbent. The adsorbent used in the work was made from a crustacean shell and called chitosan and modified chitosan. The adsorbents are chitosan bead (C), SDS-modified chitosan (CS), and SDS-Mg(ClO₄)₂- modified chitosan (CSM). Various parameters, which have an effect on adsorption capacity of cutting oil on adsorbents, were studied here. The parameters are contact time, pH, the initial concentration of cutting oil, dosage of adsorbent, kinds of adsorbent and temperature. All experiments were carried out in series of batch adsorption. The results show that the adsorption capacity of cutting oil on CSM is higher than CS and C, respectively. Equilibrium time is varied with kinds of adsorbents initial concentration of cutting oil. More amount of cutting oil can be adsorbed when the condition is in acidic. Initial concentration of cutting oil and dosage of adsorbent have an effect on adsorption capacity. Adsorption of cutting oil on C, CS, and CSM is an endothermic adsorption. Adsorption isotherm of C and CS fit very well with the Langmuir model while the adsorption isotherm of CSM fit very well with the Freundlich model. The result of thermodynamic elucidates that the adsorption process is spontaneous. The characteristic results also support the experimental results.

Field of study Environmental Science
Academic year 2008

Student's signature.....*Pantipa Hoyai*.....
Principle Advisor's signature.....*Nutthaya Pongsatabadee*.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลือของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชยาน์ พงศ์สถาบติ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ และช่วยแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ และอาจารย์ ดร.นิตติ ตันทิวิชู ที่กรุณาสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม และของเสียอันตราย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆในงานวิจัย รวมถึงบริษัท เอเชีย พาร์ท เซอร์วิส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำมันหล่อเย็นสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ด้วย

ขอขอบคุณพี่โกวิท พี่อู๋ ฝน เอิร์ธ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ และขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา เป็นอย่างสูง สำหรับกำลังใจ และทุนทรัพย์ทางการศึกษาที่มีให้กับผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความหมาย และลักษณะทั่วไปของไคติน และไคโตซาน.....	4
2.2 สมบัติของไคติน และไคโตซาน.....	8
2.3 การดูดซับ.....	9
2.4 สมดุล และไอโซเทิร์มของการดูดซับ.....	14
2.5 น้ำมันหล่อเย็น.....	18
2.6 ประเภทของน้ำมันหล่อเย็น.....	19
2.7 ซีต้าโพเทนเชียล (Z_p).....	20
2.8 การแพร่ผ่านของตัวถูกดูดซับไปยังอนุภาคภายในของตัวดูดซับ (Intraparticle diffusion).....	21
2.9 เทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic).....	21
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี.....	26
3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับ.....	27
3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นด้วยตัวดูดซับ.....	28

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	30
4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับจากการถ่ายภาพด้วยเครื่องอิเล็กตรอน ไมโครสโคปแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) และวัดพื้นที่ผิวด้วยเครื่อง Brunauer Emmet Teller (BET)	30
4.2 หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	31
4.3 การวัดประจุบนพื้นผิวของควมมีเสถียรภาพของน้ำมันหล่อเย็น และตัวดูดซับ	32
4.4 การวัดความเป็นไฮโดรโฟบิกของตัวดูดซับ	33
4.5 ปริมาณการใส่แมกนีเซียมเปอร์คลอเรตลงในตัวดูดซับ CS	34
4.6 ผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ ในน้ำเสียสังเคราะห์	35
4.7 ศึกษาการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับในน้ำเสียจริง	41
4.8 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น จากการถ่ายภาพด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)	42
4.9 เปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลงของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับ น้ำมันหล่อเย็นด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	43
4.10 ค่าความร้อนของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นโดย Bombcalorimeter)	46
4.11 การวิเคราะห์ระบบการดูดซับโดยอาศัยพื้นฐานทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษารูปแบบ ไอโซเทอรั่มการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir) และฟรุนดลิช (Freundlich)	47
4.12 การแพร่ผ่านของตัวถูกดูดซับไปยังอนุภาคภายในของตัวดูดซับ (Intraparticle diffusion)	48
4.13 การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์ของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด โดยศึกษาที่ระดับพีเอชต่างๆ (3, 5, 7, 8 และ 9) ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น (0.5, 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์) น้ำหนักตัวดูดซับ (0.5, 1, 2, 4 และ 6 กรัม) อุณหภูมิในการดูดซับ (30, 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส)	50
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	60
5.1 สรุปผลการวิจัย	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
รายการอ้างอิง	63

	หน้า
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก.....	68
ภาคผนวก ข.....	69
ภาคผนวก ค.....	70
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	76

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ลักษณะของค่า R_L ของไอโซเทิร์มแลงเมียร์.....	16
3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	27
4.1 ความชอบน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ โดย Contact Angle.....	34
4.2 ค่าความร้อนของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	47
4.3 ผลข้อมูลจากการศึกษาไอโซเทิร์มของการดูดซับ.....	48
4.4 พลังงานกิบบส์ของ C ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	51
4.5 พลังงานกิบบส์ของ C พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	51
4.6 พลังงานกิบบส์ของ C ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	52
4.7 พลังงานกิบบส์ของ C ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	53
4.8 พลังงานกิบบส์ของ C ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียจริง 2.44 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	53
4.9 พลังงานกิบบส์ของ CS ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	54
4.10 พลังงานกิบบส์ของ CS พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	55
4.11 พลังงานกิบบส์ของ CS ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	55

ตาราง	หน้า
4.12 พลังงานกิบบส์ของ CS ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	56
4.13 พลังงานกิบบส์ของ CS ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียจริง 2.44 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	56
4.14 พลังงานกิบบส์ของ CSM ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	57
4.15 พลังงานกิบบส์ของ CSM พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	58
4.16 พลังงานกิบบส์ของ CSM ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	58
4.17 พลังงานกิบบส์ของ CSM ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	59
4.18 พลังงานกิบบส์ของ CSM ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียจริง 2.44 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	59

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคติน.....	4
2.2 การเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของไคติน ซึ่งมีการเรียงตัว 3 แบบ คือ ก) แบบอัลฟา ข) แบบเบตา ค) แบบแกมมา.....	5
2.3 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน.....	5
2.4 กลไกการดูดซับ.....	11
2.5 ลักษณะไอโซเทิร์มการดูดซับของแลงเมียร์.....	16
2.6 ลักษณะไอโซเทิร์มการดูดซับของฟรุนคลิช.....	18
4.1 ภาพถ่ายของไคโตซานบีด (C) (กำลังขยาย 5,000 เท่า).....	30
4.2 ภาพถ่ายของไคโตซานผสมโซเดียมลอริลซัลเฟต (CS) (กำลังขยาย 5,000 เท่า).....	31
4.3 ภาพถ่ายของไคโตซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และโซเดียมลอริลซัลเฟต (CSM) (กำลังขยาย 5,000 เท่า).....	31
4.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).....	32
4.5 ค่าซีต้าโพเทนเชียลของน้ำมันหล่อเย็น ตัวดูดซับ C, CS และ CSM ณ ระดับพีเอชต่างๆ.....	33
4.6 ปริมาณแมกนีเซียมเปอร์คลอเรตกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของ ตัวดูดซับ CSM น้ำหนัก 6 กรัม ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	35
4.7 เวลาที่ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM น้ำหนัก 6 กรัม ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	36
4.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM น้ำหนัก 6 กรัม ที่ค่าพีเอชต่างๆ โดยใช้เวลาในการดูดซับ 300 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	37
4.9 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของ ตัวดูดซับ C, CS และ CSM น้ำหนัก 6 กรัม เวลาในการดูดซับ 300, 4320 และ 4320 นาที ตามลำดับ ที่พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	38
4.10 น้ำหนักของตัวดูดซับกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นบนตัวดูดซับ C, CS และ CSM ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	39

ภาพประกอบ	หน้า
4.11 ชนิดของตัวดูดซับกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM น้ำหนัก 0.5 กรัม ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	40
4.12 อุณหภูมิกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการดูดซับ 300 นาที.....	41
4.13 พีเอชกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับน้ำหนัก 6 กรัม ในน้ำเสียจริงที่พีเอช 3 และ พีเอช 6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 2.44 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 1320 นาที.....	41
4.14 ภาพถ่ายของไคโตซานบีด (C) ก่อน (ก) และหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (ข) (กำลังขยาย 5,000 เท่า).....	42
4.15 ภาพถ่ายของไคโตซานผสมโซเดียมลอริลซัลเฟต (CS) ก่อน (ก) และหลังการดูดซับ น้ำมันหล่อเย็น (ง) (กำลังขยาย 5,000 เท่า).....	42
4.16 ภาพถ่ายของไคโตซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และ โซเดียมลอริลซัลเฟต (CSM) ก่อน (จ) และหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (ฉ) (กำลังขยาย 5,000 เท่า).....	43
4.17 หมูฟุ้งกัซันของน้ำมันหล่อเย็น (บน) หมูฟุ้งกัซันของ C ก่อนการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (กลาง) หมูฟุ้งกัซันของ C หลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (ล่าง).....	44
4.18 หมูฟุ้งกัซันของน้ำมันหล่อเย็น (บน) หมูฟุ้งกัซันของ CS ก่อนการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (กลาง) หมูฟุ้งกัซันของ CS หลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (ล่าง).....	45
4.19 หมูฟุ้งกัซันของน้ำมันหล่อเย็น (บน) หมูฟุ้งกัซันของ CSM ก่อนการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (กลาง) หมูฟุ้งกัซันของ CSM หลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (ล่าง).....	46
4.20 ขั้นตอนในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของ C น้ำหนัก 6 กรัม ที่พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	48
4.21 ขั้นตอนในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของ CS น้ำหนัก 6 กรัม ที่พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	49
4.22 ขั้นตอนในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของ CSM น้ำหนัก 6 กรัม ที่พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที ในน้ำเสียสังเคราะห์.....	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตเกี่ยวกับการกลึง การตัด การเจาะ การไส และการคว้าน เพื่อการทำชิ้นส่วนให้มีรูปทรง และรูปร่างตามต้องการ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ต่าง ต้องมีความเกี่ยวข้องกับน้ำมันหล่อเย็น เนื่องจากขณะที่กำลังดำเนินการให้ชิ้นงานมีรูปร่างหรือรูปทรง โดยผ่านกระบวนการดังกล่าวข้างต้นจะเกิดการเสียดสีกันระหว่างชิ้นงานกับอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ จึงต้องมีการเพิ่มการหล่อลื่นระหว่างชิ้นงานและอุปกรณ์ที่ใช้โดยการใช้ น้ำมันหล่อเย็น ในขณะที่เดียวกันการเสียดสีก็จะทำให้เกิดความร้อนปริมาณมากระหว่างชิ้นงานกับอุปกรณ์ ซึ่งน้ำมันหล่อเย็นก็จะมีส่วนช่วยระบายความร้อนออกจากชิ้นงานและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ ทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์และชิ้นงานที่ได้ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ น้ำมันหล่อเย็นยังมีส่วนช่วยรักษาผิวหน้าของชิ้นงาน โลหะที่ทำการตัดแต่งเสร็จสมบูรณ์แล้ว และช่วยชะล้างเศษโลหะที่เกิดจากการตัดออกจากบริเวณที่ทำการตัดชิ้นงานโลหะ (ชนาภรณ์ ธนภาพรังสรรค์ และผกาวัลย์ กมลชัยวานิช, 2547) ดังนั้นน้ำเสียที่มาจากงานชิ้นส่วนยานยนต์จะมีองค์ประกอบหลักเป็นพวกโลหะหนัก สารเคมีชนิดต่างๆ ที่เป็นอันตราย และน้ำมัน เป็นต้น ในที่นี้รวมถึงน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งมักปนเปื้อนมากับน้ำเสีย (สาลินี เอี่ยมองค์, 2550) วิธีการที่ใช้ในการกำจัดน้ำมันหล่อเย็น ได้แก่ การตกตะกอนด้วย $FeCl_3$ หรือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ร่วมกับการกรอง (Jian et al., 1999) การดูดซับด้วยโพลีโพรพิลีน (Tomita et al., 1990) การดูดซับด้วยถ่านหิน (Paprowicz, 1990, Abuzaid et al., 1995 and Abuzaid and Nakhla, 1996) การรวมตะกอนร่วมกับกระบวนการอุลตราฟิลเตรชัน (Kong and Li, 1999) แต่วิธีการเหล่านี้ยังไม่สามารถบำบัดน้ำมันหล่อเย็นได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้จากข้อมูลการส่งออกพบว่าอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์เป็นหนึ่งในห้าอันดับแรกที่มีการส่งออกมากที่สุด และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2550) ย่อมเป็นดัชนีหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่า ความต้องการการใช้ น้ำมันหล่อเย็นก็มีมากขึ้น น้ำมันหล่อเย็นเหล่านี้มีอายุการใช้งานจึงต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วออก และแทนที่ด้วยน้ำมันหล่อเย็นอันใหม่ น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วไม่สามารถนำไปเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนชีวภาพที่ใช้งานทั่วไปได้ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำมันหล่อเย็นมีขนาดใหญ่ จึงยากแก่การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่างๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาการกำจัดน้ำมันหล่อเย็น โดยการดูดซับบนตัวดูดซับพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ตาม

ธรรมชาติ ตัวดูดซับพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติที่ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ไคโตซาน ซึ่งผลิตจากเปลือกกุ้งกระดองปู และแกนปลาหมึก ที่เป็นกากของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตอาหารทะเล (ศูนย์วิจัยชีวภาพไคติน-ไคโตซาน, 2549) ไคโตซานจัดเป็นไบโอพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกสามารถดูดซับน้ำมัน และทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ และอิมัลชันที่มีประจุลบในน้ำมันให้มีประจุเป็นกลาง (Jill et al., 1999) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการประยุกต์ใช้ไคโตซาน และไคโตซานดัดแปรในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นเพื่อเพิ่มทางเลือกในการบำบัดน้ำเสีย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับ

1.3 สมมติฐาน

ไคโตซานดัดแปรสามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้ดีกว่าไคโตซาน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1.4.1 ชนิดของตัวดูดซับซึ่งเตรียมจากไคโตซานสำเร็จรูปที่ทำมาจากเปลือกกุ้ง และเตรียมจากไคโตซานดัดแปร
- 1.4.2 น้ำเสียสังเคราะห์เตรียมขึ้นจากห้องปฏิบัติการ
- 1.4.3 น้ำเสียจริงที่ปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นนำมาจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 1.4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษา เพื่อทราบผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้แก่
 - 1.4.4.1 ค่าพีเอชของน้ำมันหล่อเย็น (ได้แก่ 3, 5, 7, 8 และ 9) โดยพีเอชของน้ำมันหล่อเย็นที่ยังไม่ผ่านการปรับพีเอชมีค่าประมาณ 8 และพีเอชของน้ำเสียจริงที่ปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นโดยไม่ต้องปรับมีค่าเท่ากับ 6
 - 1.4.4.2 ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น (ได้แก่ 0.5, 1, 3, 5, 10% และ 15, 20, 30% (ถ้าตัวดูดซับยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว))
 - 1.4.4.3 น้ำหนักตัวดูดซับ (ได้แก่ 0.5, 1, 2, 4 และ 6 กรัม)
 - 1.4.4.4 อุณหภูมิในการดูดซับ (ได้แก่ 30, 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 การเพิ่มมูลค่าของเปลือกกุ้ง โดยเตรียมเป็นไคโตซาน
- 1.5.2 การประยุกต์ใช้ไคโตซานเพื่อบำบัดน้ำมันหล่อเย็นที่เสื่อมสภาพ
- 1.5.3 เป็นแนวทางเลือกหนึ่งในการลดปัญหามลพิษทางน้ำของโรงงานเครื่องจักรกล

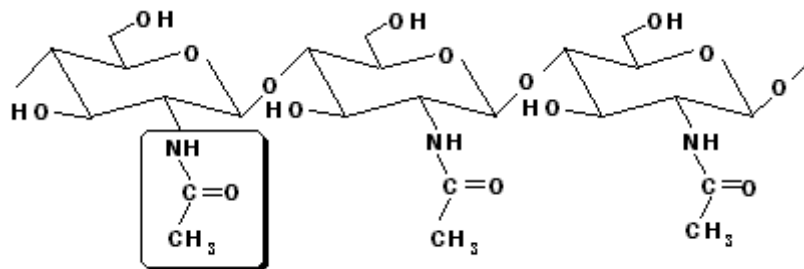
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมาย และลักษณะทั่วไปของไคติน และไคโตซาน

ไคติน และไคโตซาน เป็นวัสดุชีวภาพเกิดในธรรมชาติ จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสม ที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจนติดอยู่ด้วยทำให้มีคุณสมบัติที่โดดเด่น และหลากหลายมีประสิทธิภาพสูงในกิจกรรมชีวภาพ และยังสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงเป็นสารที่มีความปลอดภัยในการใช้กับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม สารไคติน และไคโตซานนี้มีลักษณะพิเศษในการนำมาใช้ดูดซับและจับตะกอนต่างๆในสารละลายแล้วนำสารกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งเป็นการหมุนเวียนตามระบบธรรมชาติ (กมลศิริ พันธนิยะ, 2546)

ไคติน เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ โดยพบเป็นองค์ประกอบของเปลือกแข็งที่หุ้มเซลล์ของรา ยีสต์ และจุลินทรีย์หลายชนิด หรือพบเป็นโครงสร้างแข็งของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังจำพวกแมลง กุ้ง ปู ปลาหมึก เป็นต้น ไคตินมีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลสที่เป็นส่วนประกอบของเนื้อไม้ มีชื่อทางเคมีว่า Poly - β - (1,4)-2-acetamino-2-deoxy-D-glucose] หรือ Poly N-acetyl-glucosamine (ดังแสดงในรูปที่ 2.1) ซึ่งพบมากในเปลือกกุ้ง กระจดองปู แกนปลาหมึก ผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์และเห็ดรา อย่างไรก็ตามการผลิตเชิงพาณิชย์มักจะใช้เปลือกกุ้ง กระจดองปูและแกนปลาหมึกเป็นวัตถุดิบ โดยผ่านกระบวนการผลิต ได้แก่ กระบวนการสกัดโปรตีน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง และกระบวนการสกัดแร่ธาตุ โดยใช้กรดเกลือเจือจาง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่า ไคติน (ศูนย์วัสดุชีวภาพไคติน และไคโตซาน, 2549)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคติน (ประภัสสร สุรวฒนาวรรณ, 2540)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- 1) เครื่องชั่ง METTLER TOLEDO รุ่น PB 3002-S ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
- 2) เครื่องปั่น (Motor steller) รุ่น RW 20 N ประเทศมาเลเซีย
- 3) เครื่องเขย่า (Shaker) PNP รุ่น Seriker II
- 4) เครื่องวัดพีเอช (pH meter) Heriba รุ่น CF-23
- 5) เครื่อง Peristaltic Pump: Masterflex รุ่น 77200-60 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 6) เครื่อง Visible Spectrophotometer รุ่น WTW เพื่อวัดความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น
- 7) เครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FTIR) รุ่น NICOLET NEXUS 470 FT-IR ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 8) เครื่องวิเคราะห์พื้นผิวของตัวดูดซับ (Scanning Electron Microscopy: SEM)
- 9) เครื่องวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของน้ำมันหล่อเย็น (Zeta Potential)
- 10) เครื่องวิเคราะห์ความชอบน้ำมัน (Contact Angle) รุ่น Contact Angle System OCA
- 11) ตู้อบ (Hot air oven) รุ่น Venticell
- 12) ตู้ดูดความชื้น (Desicater)
- 13) Transferpette
- 14) คิวเวต
- 15) เครื่องแก้วทั่วไป
- 16) ตะแกรง
- 17) เข็มฉีดยา
- 18) กระดาษกรอง เบอร์ 1: ยี่ห้อ WHAT MAN เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนมีขนาด 90 ไมครอน

3.1.2 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยมีรายละเอียด ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ลำดับ	สาร	สูตรเคมี	ความบริสุทธิ์	ยี่ห้อ	ประเทศ
1.	โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH	99%	BHD	อังกฤษ
2.	กรดไฮโดรคลอริก	HCl	37%	Carloerba	
3.	กรดอะซิติก	CH ₃ COOH	100%	BHD	อังกฤษ
4.	ไคโตซานแบบเกล็ดสำเร็จรูปที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้ง	Poly - β - (1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose	95%	Seafresh Chitosan (Lab) Company Limited	ไทย
5.	น้ำมันหล่อเย็น				ไทย
6.	โซเดียมลอริลซัลเฟต (SDS)	CH ₃ (CH ₂) ₁₁ S O ₄ ⁻ Na ⁺	96%	Ajax Finechem	ออสเตรเลีย
7.	แมกนีเซียมเปอร์คลอเรต	Mg(ClO ₄) ₂	99%	Sigma-Aldrich	สหรัฐอเมริกา

3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับ

3.2.1 นำไคโตซาน 8 กรัม ละลายในกรดอะซิติกเจือจาง 4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วทำการหยดสารละลายที่ได้ลงสู่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ จะได้เม็ดไคโตซานหรือไคโตซานบีด (C)

3.2.2 นำสารละลายไคโตซานผสมกับสารละลายโซเดียมลอริลซัลเฟตเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 10:3 โดยปริมาตร หลังขึ้นรูปในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ จะได้เม็ดไคโตซานผสมโซเดียมลอริลซัลเฟต (CS)

3.2.3 เดิมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต 0.5, 1, 1.5, 2 และ 3 กรัม ลงในสารละลายโคโคซานจนเข้ากันแล้ว ผสมกับสารละลายโซเดียมลอร์ริลซัลเฟตเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 10:3 โดยปริมาตร แล้วนำไปขึ้นรูปในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ จะได้เม็ดโคโคซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และโซเดียมลอร์ริลซัลเฟต

3.3 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นด้วยตัวดูดซับ

งานวิจัยนี้ทำการทดลองโดยใช้ตัวดูดซับทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ โคโคซานบีด (C) โคโคซานผสมโซเดียมลอร์ริลซัลเฟต (CS) โคโคซานผสมโซเดียมลอร์ริลซัลเฟตและแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต (CSM) มาทำการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นสังเคราะห์ซึ่งเตรียมขึ้นจากห้องปฏิบัติการ ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าพีเอช (3, 5, 7 8 และ 9) ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น (0.5, 1, 3, 5, 10 เปอร์เซ็นต์ และ 15, 20, 30 เปอร์เซ็นต์ หรือจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัวของตัวดูดซับชนิดนั้นๆ) น้ำหนักของตัวดูดซับ (0.5, 1, 2, 4 และ 6 กรัม) และอุณหภูมิ (30, 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส) เมื่อได้ผลการทดลองในขั้นต้นแล้ว จะทำการเลือกสภาวะที่ดีที่สุดของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นจากห้องปฏิบัติการมาใช้ในการทดลองกับน้ำเสียจริงที่ปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็น และจะใช้ตัวดูดซับทั้งหมด 3 ชนิด มาทำการดูดซับน้ำเสียจริงที่ปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นที่สภาวะปกติด้วย โดยน้ำเสียจริงได้มาจาก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ลำดับขั้นตอนที่ทำการทดลอง มีดังนี้

1) นำน้ำมันหล่อเย็นผสมกับน้ำกลั่นตามความเข้มข้นที่ต้องการศึกษา ปั่นโดยใช้เครื่อง Motor Stirrer ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง เพื่อให้ฟองอากาศที่เกิดจากการปั่นหายไป จากนั้นจึงทำการปรับค่าพีเอชตามต้องการ

2) นำน้ำมันหล่อเย็นที่เตรียมได้จากขั้นที่ 1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดรูปชมพู่แล้วเติมตัวดูดซับชนิดที่ 1 ลงไปด้วยน้ำหนักที่ต้องการศึกษา แล้วทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าอัตโนมัติ

3) เก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นที่เวลา 5, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 และ 300 นาที หรือจนกระทั่งถึงจุดสมดุลของการดูดซับ โดยทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)

4) วัดความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น และความเข้มข้นที่ลดลงโดยใช้เครื่อง Visible Spectrophotometer (Ma and Lin, 2004) ณ ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาร้อยละการกำจัดน้ำมันหล่อเย็น ดังแสดงในสมการ (4.1) และความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (Adsorption Capacity) ดังแสดงในสมการ (4.2)

$$\text{ร้อยละการกำจัดน้ำมันหล่อเย็น} = \frac{(C_0 - C_t) \times 100}{C_0} \quad (4.1)$$

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น} = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m} \quad (4.2)$$

โดยที่ C_0	คือ	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
C_t	คือ	ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
V	คือ	ปริมาตรของน้ำมันหล่อเย็น (มิลลิลิตร)
m	คือ	น้ำหนักของตัวดูดซับ (กรัม)

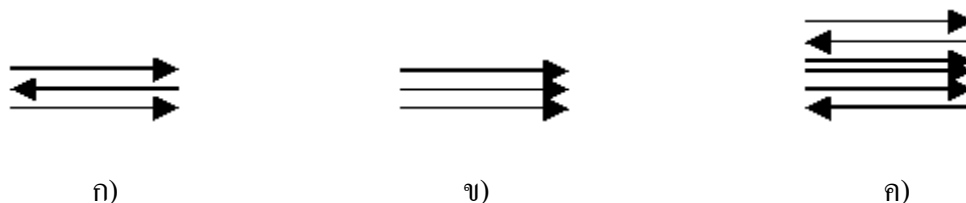
5) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ ข้อ 1 - 4 โดยเปลี่ยนชนิดตัวดูดซับให้ครบทั้งหมดสามชนิด และเปลี่ยนอนุภาคนิวไมท์ที่ใช้ในการดูดซับตามที่ต้องการศึกษา และจากการทดลองจะเริ่มต้นศึกษาผลของปริมาณเกลือ $MgClO_4$ ที่เติมลงไปในช่วงตอนการเตรียมตัวดูดซับ เมื่อทราบปริมาณเกลือที่เหมาะสมแล้ว ก็จะใช้ในการเตรียมตัวดูดซับ CSM ที่จะใช้ในการทดลองลำดับต่อไป

3.2.4 ศึกษาคุณลักษณะของตัวดูดซับ โดย

- 1) วิเคราะห์ระบบการดูดซับโดยอาศัยพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายไอโซเทิร์มของการดูดซับมีความสอดคล้องกับแบบจำลองของ Langmuir หรือ Freundlich
- 2) วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)
- 3) วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับศึกษาจากการถ่ายภาพโดย Scanning Electron Microscopy (SEM)
- 4) วิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของน้ำมันหล่อเย็นทำการศึกษาจากค่า Isoelectric Point โดยการวัดค่า Zeta Potential
- 5) วิเคราะห์ความชอบน้ำมัน โดยใช้ Contact Angle
- 6) วิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับโดย Brunauer Emmet Teller (BET)

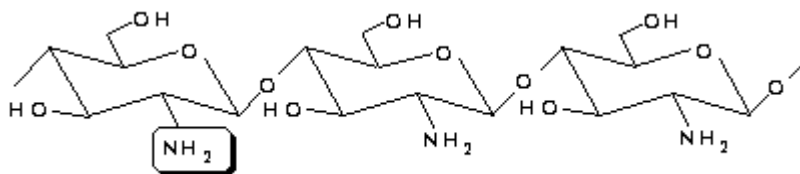
ไคตินที่ได้จากแต่ละแหล่งมีโครงสร้างและสมบัติแตกต่างกันโดยแบ่งตามลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยได้ 3 กลุ่ม คือ

- แบบอัลฟา มีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะสวนทางกัน มีความแข็งแรงสูง ได้แก่ ไคตินจากเปลือกกุ้ง และกระดองปู (ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ก)
- แบบเบตา มีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในทิศทางเดียวกัน จึงจับกันได้ไม่ค่อยแข็งแรง มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากกว่าแบบอัลฟา ได้แก่ ไคตินจากแกนปลาหมึก (ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ข)
- แบบแกมมา มีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะที่ไม่แน่นอน (สวนทางกันสลับทิศทางเดียวกัน) มีความแข็งแรงรองจากแบบอัลฟา ได้แก่ ไคตินจากเห็ด รา และพืชชั้นต่ำ (ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ค) (ประภัสสร สุรวฒนาวรรณ, 2540)



รูปที่ 2.2 การเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลของไคติน ซึ่งมีการเรียงตัว 3 แบบ คือ ก) แบบอัลฟา
ข) แบบเบตา ค) แบบแกมมา

ส่วนไคโตซาน คือ อนุพันธ์ของไคตินที่ตัดเอาหมู่ acetyl ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine (เรียกว่า deacetylation คือ เปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็น glucosamine) ออกตั้งแต่ 50 % ขึ้นไป และมีสมบัติละลายได้ในกรดอ่อน (ประภัสสร สุรวฒนาวรรณ, 2540) ไคโตซาน มีชื่อทางเคมีว่า Poly - β - (1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose] (ดังแสดงในรูปที่ 2.3) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่สกัดโดยผ่านกระบวนการดึงหมู่อะซิทิล (acetyl group) ของไคตินออกด้วยด่างเข้มข้น เรียกกระบวนการนี้ว่า deacetylation ผลิตภัณฑ์ไคโตซานที่ได้จะมีคุณภาพและสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเทคนิคและขั้นตอนการผลิต (สุนัยวัสดุชีวิภาพไคติน และไคโตซาน, 2549)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน (ประภัสสร สุรวฒนาวรรณ, 2540)

2.1.1 รูปแบบของไลโคซาน (กมลศิริ พันธนิยะ, 2546)

รูปแบบของไลโคซานที่ผลิตขึ้นมาจำหน่ายมี 4 รูปแบบ ได้แก่

1. ไลโคซาน ที่เป็นเกล็ดหรือแผ่นบางเล็กๆ (flake)
2. ไลโคซาน ที่เป็นผงละเอียดคล้ายแป้ง (micromilled powder)
3. ไลโคซาน ในรูปแบบสารละลายเป็นของเหลวหนืด (solutions)
4. ไลโคซาน ที่อยู่ในรูปเม็ดจิ๋วขนาดประมาณ 300-500 ไมโครเมตร (bead)

ผลิตภัณฑ์ไลโคซานที่อยู่ในรูปที่เป็นเกล็ด ผง หรือเม็ดนั้นหากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงจะต้องมีความชื้นต่ำมากคือไม่เกิน 5-10 เปอร์เซ็นต์ หากความชื้นสูงกว่านี้ก็จะอาจทำให้เกิดเชื้อราหรือมีสิ่งปนเปื้อนอื่นๆเข้าไปปะปนอยู่ทำให้คุณภาพด้อยลง หรืออาจเกิดความเป็นพิษ เนื่องจากเชื้อราเชื้อแบคทีเรียหรือสิ่งปนเปื้อนนั่นๆ ผลิตสารพิษออกมา ความเป็นไปได้ที่จะเกิดการปนเปื้อนของสิ่งไม่พึงประสงค์ในไลโคซานนั้นเนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาสกัดนั่นเอง

2.1.2 การใช้ประโยชน์จากไลโคซาน (กฤษฎา เหมบุรุษ และคณะ, 2549)

ปัจจุบันไลโคซาน ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมาก ได้แก่

* อุตสาหกรรมอาหาร

- การเพิ่มใยอาหารธรรมชาติในผลิตภัณฑ์จากแป้ง เช่น ก๋วยเตี๋ยว มักรกะโรนี คุกกี้ ขนมปัง ขนมขบเคี้ยว
- การเพิ่มความเหนียวให้กับผลิตภัณฑ์ลูกชิ้น ไส้กรอก
- การเพิ่มกลิ่นรสให้ดีขึ้นในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์
- การทำขนมปังที่มีเนื้อนุ่ม และเพิ่มปริมาณของขนมปัง
- การถนอมอาหารเพื่อยืดอายุและป้องกันเชื้อรา
- การทำครีม และ Emulsion ให้คงตัว
- การผลิตอาหารที่สามารถควบคุมไขมันในร่างกาย
- เป็นสารช่วยในการกรองในอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ เบียร์ และเครื่องดื่มต่างๆ

* อุตสาหกรรมยาและวัสดุการแพทย์

- การผลิตผิวหนังเทียม
- การผลิตไหมเย็บแผลที่ละลายได้เอง
- การผลิตวัสดุห้ามเลือด ชับเลือด ปิดแผล
- การผลิตสารตัวกลางที่จะปลดปล่อยยาออกมาอย่างช้า ๆ (Slow Release)

- การผลิตชาลดไขมันในเลือด ชาต้านการเจริญของเนื้องอก
- * อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง
 - อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม เช่น แชมพู ครีมนวดผม ยาขัดผม
 - อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ดูแลผิว เช่น ครีมอาบน้ำ ครีมบำรุงผิว ลิปสติก
 - อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปาก เช่น ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก
- * ด้านการเกษตร
 - ใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของไส้เดือนฝอย แบคทีเรีย และเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคพืช เช่น โรคราน้ำค้าง โรครามล็ดผักกาด โรคเน่า และโรคโคนเน่ารากเน่า
 - ใช้เพิ่มความแข็งแรงและความสามารถในการต้านทานศัตรูพืชของพืชทั่วไป (Plant Immune Booster / Vaccine)
 - ใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน
 - ใช้เคลือบเมล็ดพันธุ์เพื่อเพิ่มอัตราการงอกและป้องกันโรค
 - ใช้เคลือบป้องกันการเน่าเสียของผลผลิตเกษตรและยืดอายุหลังเก็บเกี่ยวของผลไม้
 - ใช้เป็นอาหารเสริมผสมลงในอาหารสัตว์
 - ใช้เคลือบเพื่อควบคุมการสุกของผลไม้
 - ใช้เคลือบเพื่อป้องกันการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร
- * การบำบัดน้ำเสีย
 - การตกตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปา
 - การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม
 - จับคราบไขมัน สี โลหะหนักจากอุตสาหกรรมผ้า กระดาษ ฟอกย้อม
- * อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์
 - การทำภาชนะที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ
 - การทำเป็นฟิล์มถนอมอาหารที่รับประทานได้
- * อุตสาหกรรมเส้นใยและสิ่งทอ
 - การผลิตผ้าที่ย้อมติดสีได้ดี ไม่หดตัวง่าย มีความนุ่มนวลสูง
 - การผลิตผ้าที่สามารถต้านทานแบคทีเรีย และเชื้อราได้ดี เช่น เสื้อผ้าสำหรับคนไข้ในโรงพยาบาล
- * อุตสาหกรรมกระดาษ
 - การทำกระดาษที่มีคุณภาพทางกายภาพสูง

- การทำกระดาษที่ต้องการคุณภาพของการพิมพ์สูง
- ใช้เคลือบกระดาษ เพื่อคงสภาพของกระดาษไว้ได้นาน ๆ เช่น หนังสือในห้องสมุด

2.2 สมบัติของไคติน และไคโตซาน

2.2.1 การละลาย (Solubility)

ไคตินไม่ละลายน้ำ กรดเจ็จาง ต่างทั้งเจ็จางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ (Knorr, 1984) แต่สามารถละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดซัลฟูริกเข้มข้น กรดฟอสฟอริก (78-97%) กรดฟอร์มิก และ DMAc-LiCl (N, N-Dimethylacetamide-Lithium chloride) ซึ่งความยากในการละลายของไคตินในตัวทำละลายต่างๆ เป็นผลมาจากสายโซ่โมเลกุลที่อยู่กันอย่างหนาแน่น มีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล เนื่องจากฟังก์ชันที่ต่างกัน คือ หมู่ไฮดรอกซิลและหมู่อะซีตามิโด (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2543)

ไคโตซานไม่ละลายในน้ำ ต่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีพีเอชน้อยกว่า 6 กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก เป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน โดยการละลายของไคโตซานในสารละลายกรดอินทรีย์ กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกัน แต่ภายใต้การคนที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น

2.2.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ค่าพีเอช และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้ และการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลายพอลิเมอร์ให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น และความหนืดของสารละลายไคโตซานจะเพิ่มขึ้นตามมวลโมเลกุล (ฐิติมา มณีกุล, 2545)

2.2.3 สมบัติพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte properties) (Hon, 1996)

ไคโตซานเป็นสายพอลิเมอร์ของ Anhydroglucosamine และเป็นสาย Polyelectrolyte ที่สภาวะเป็นกรดมีค่าพีเอชเท่ากับ 6.5 ไคโตซานในสารละลายมีประจุเป็นบวก เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิเมอร์มีความหนาแน่นของประจุบวกสูง พวกพอลิแซ็กคาไรด์ ส่วนใหญ่มีประจุเป็นกลางหรือเป็นประจุลบ แต่ไคโตซานเป็นหนึ่งในพวก Cationic polyelectrolyte จึงมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ได้มากกว่า เนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีประจุลบ ประจุบวกของไคโตซานจับแน่นกับผิวที่เป็นประจุลบทำให้

เกิดความเป็กลางบริเวณผิวของจุลินทรีย์ ดังนั้นการจับของไคโตซานกับเซลล์สิ่งมีชีวิตเป็นสมบัติที่สำคัญมากในการนำไปใช้ในด้านการแพทย์

2.2.4 มวลโมเลกุล (Molecular weight)

ความยาวของสายโซ่ของโมเลกุลมีความสำคัญในการพิจารณาสมบัติของพอลิเมอร์ ซึ่งพอลิเมอร์ทั่วไปมีสายขนาดใหญ่แต่ไม่จำเป็นต้องมีขนาดยาวเท่ากัน การนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์ต่างๆ มีความสัมพันธ์กับมวลโมเลกุล ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล ซึ่งมีผลต่อกลไกการทำงาน และสมบัติทางเคมี เมื่อใช้ไคโตซานในการผลิตฟิล์ม การผลิตเมมเบรน และเส้นใยต่างๆ มวลโมเลกุลสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งทางตรง และทางอ้อม ซึ่งมวลโมเลกุลเฉลี่ยของไคติน คือ 1.03×10^6 ถึง 2.5×10^6 คอลตัน และมวลโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลไคติน (Carboxymethylchitin) ประมาณ 1.33×10^6 คอลตัน (Muzzarelli, 1977) โดยทั่วไปมวลโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของ Fully deacetylation chitosan ที่สกัดได้จากกุ้งมีค่าประมาณ $440,000 \pm 50,000$ กรัม/โมล และของปูมีค่าประมาณ 500,000 - 850,000 กรัม/โมล (เขาวภา ไหวพริบ, 2534)

2.2.5 ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล (Degree of deacetylation) (Miyoshi et al., 1992)

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการใช้ประโยชน์จากไคโตซาน คือ ระดับการกำจัดหมู่อะซีทิล ซึ่งเป็นตัวบอกระดับคุณภาพของไคโตซาน ดังนั้นจึงมีการวัดระดับอะซีทิลของไคโตซานเพื่อพิจารณาถึงการใช้งาน ซึ่งการวิเคราะห์มีหลายวิธี ได้แก่ Infrared spectroscopy (IR), Circular dichroism (CD), Elemental analysis (EA), Titration และ First derivation ultraviolet (UV) spectroscopy การศึกษาแบบ CD มีข้อจำกัดในการละลายของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงไม่สามารถวิเคราะห์พวกที่ไม่ละลาย และพวก Highly acetylated polymeric compound ได้ วิธีไตเตรตมีความยุ่งยาก และใช้เวลานาน และผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดย EA ไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญ โดยเฉพาะถ้ามีการปนเปื้อนของ By-product แต่วิธีนี้ใช้ในการหาไคโตซานซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ของ glucosamine/N-acetylglucosamine ส่วนการตรวจสอบพวกกลุ่มอะมิโนอิสระโดยการใช้ Fluoresence มีการตอบสนองเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคซามีนแบบไม่เป็นเส้นตรง และการวัดตัวอย่างอาจมีการเจือจางขึ้นอยู่กับค่าที่ต้องการวัด

2.3 การดูดซับ (Adsorption)

ความหมายของการดูดซับ ได้ถูกนิยามไว้มากมาย ได้แก่

การดูดซับเป็นการสะสมสารหรือวัสดุที่พื้นผิวระหว่างของแข็ง และของเหลว รวมถึงการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกละลายออกจากสารละลายไปอยู่บนผิวของของแข็ง แต่ไม่รวมถึงกระบวนการตกตะกอนที่พื้นผิว (Surface precipitation process) หรือกระบวนการพอลิเมโรไลเซชัน

(Polymerization process) ซึ่งหากไม่สามารถระบุให้ชัดเจนว่ากลไกที่ทำให้ความเข้มข้นของสารหรือวัสดุในสารละลาย ตัวทำละลาย หรือพื้นผิวของแข็งลดลงไปนั้นเกิดจากการดูดซับ หรือการตกตะกอนที่พื้นผิว หรือกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน หรือกระบวนการอื่นๆ ที่เกิดขึ้นที่ผิวแล้วโดยทั่วไปจะใช้คำว่า Sorption (Danals, 1995)

การดูดซับเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) จากสถานะที่เป็นของเหลวไปยังสถานะที่เป็นของแข็งคือตัวดูดซับ (Adsorbent) ทำให้เกิดการสะสมของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงขับ (Driving force) หลัก 2 ชนิด คือ ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลาย) และสัมพรรคภาพ (Affinity) ของตัวดูดซับที่มีต่อตัวถูกดูดซับ (วินัย สมบูรณ์, 2541)

พื้นที่ผิวของของแข็งที่สัมผัสกับสารละลาย และมีแนวโน้มที่จะเกิดการสะสมโมเลกุลของตัวถูกละลายในสารละลายที่ผิว เนื่องมาจากความไม่สมดุลของแรงที่ผิว (Surface force) เรียกว่า การดูดซับ (Eckenfelder, 1996)

การดูดซับเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้แยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลว หรือก๊าซ โดยให้สารละลายหรือก๊าซดังกล่าวสัมผัสกับตัวดูดซับ ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง ตัวดูดซับชนิดหนึ่งๆ มีความสามารถดูดซับองค์ประกอบต่างๆ ในสารละลายได้แตกต่างกันจึงสามารถแยกองค์ประกอบต่างๆ ออกจากกันได้ การจะแยกองค์ประกอบออกจากสารละลายนั้นต้องเลือกชนิดตัวดูดซับให้เหมาะสม เมื่อพิจารณาถึงสถานะของสารละลาย และสถานะของตัวดูดซับที่สัมผัสกันแล้วสามารถจำแนกการดูดซับได้เป็น การดูดซับของเหลวโดยของเหลว (Liquid-liquid adsorption) การดูดซับก๊าซโดยของเหลว (Gas-liquid adsorption) การดูดซับของเหลวโดยของแข็ง (Liquid-solid adsorption) (บุญชัย โชติวิริยวานิชย์, 2533)

อาจกล่าวโดยสรุปว่า การดูดซับเป็นการแยกสิ่งปนเปื้อน หรือสิ่งเจือปน(Adsorbate) ออกจากของเหลวหรือก๊าซโดยการใช้ของเหลว หรือของแข็งเป็นตัวดูดซับ (Adsorbent)

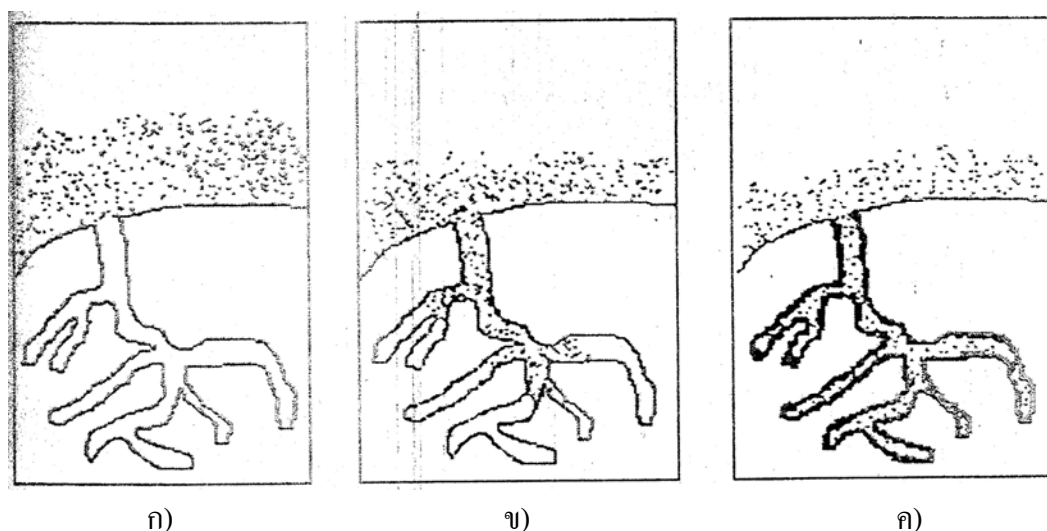
2.3.1 กลไกการดูดซับ (Noll et al., 1992 และ Faust et al., 1987)

กลไกการดูดซับที่เกิดขึ้นในระหว่างการดูดซับ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Bulk transport เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวต่างๆ ที่หุ้มอยู่ที่ผิวของสารดูดซับ (ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ก)

ขั้นตอนที่ 2 Film transport เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ที่ผิวหน้าของสารดูดซับ ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม (Film diffusion) จัดเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราการดูดซับที่ผิวขั้นตอนหนึ่ง (ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ข)

ขั้นตอนที่ 3 Intraparticle transport เป็นการแพร่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่อยู่ที่ผิวหน้าของสารดูดซับเข้าสู่รูพรุนของสารดูดซับ (Pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับภายใน ซึ่งขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราการดูดซับเช่นกัน (ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ค)



รูปที่ 2.4 กลไกการดูดซับ (Noll et al., 1992 และ Faust et al., 1987)

2.3.2 ประเภทของการดูดซับ (Slejko, 1985 and Said et al., 1993)

กระบวนการดูดซับ แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

2.3.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

การดูดซับทางกายภาพเป็นผลมาจากแรงวานเดอร์วาลส์ (Van der waals force) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayered) โดยในแต่ละชั้นของโมเลกุลอยู่บนชั้นของโมเลกุลที่ถูกดูดติดก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโมเลกุลของสารดูดซับ หรือจำนวนชั้นของโมเลกุลเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารดูดซับเพิ่มขึ้น การดูดซับแบบนี้สามารถผันกลับได้ (Reversible)

2.3.2.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

การดูดซับทางเคมีเกิดจากการปฏิกิริยาระหว่างสารถูกดูดซับ และสารดูดซับ ซึ่งก่อให้เกิดสารประกอบทางเคมีขึ้น การดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) และไม่สามารถผันกลับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับ และสารถูกดูดซับ

2.3.2.3 การดูดซับด้วยประจุ (Ionic adsorption)

การดูดซับด้วยประจุเป็นการดูดซับระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่พื้นผิวด้วยแรงของประจุที่ตรงข้ามกัน (Electrical attraction) ทำให้ไอออนของตัวถูกดูดซับติดอยู่ที่พื้นผิวดูดซับในตำแหน่งที่มีประจุตรงข้ามกัน ไอออนที่มีประจุสูงถูกดูดซับได้ดีกว่าพวกที่มีประจุน้อยๆ และไอออนที่มีขนาดเล็ก

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของโคโคซาน (Said et al., 1993)

2.3.3.1 ความปั่นป่วน (Turbulence)

อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม หรือแพร่ผ่านรูพรุน (Pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก (เพราะไม่ถูกรบกวน) และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาตัวดูดซับทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มน้ำเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนา เป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาตัวดูดซับได้เร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง กรณีนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.3.3.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวดูดซับ คือ ขนาด และพื้นที่ผิว ขนาดของตัวดูดซับมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับ กล่าวคืออัตราเร็วการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ ดังนั้นตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าขนาดใหญ่ ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) นั่นคือตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

2.3.3.3 ค่าพีเอช

ค่าพีเอชมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) เนื่องจากที่ค่าพีเอชต่างๆ จะมีปริมาณไฮโดรเนียมไอออนมากกว่าที่ค่าพีเอชสูง ซึ่งจะมีผลต่อค่าการดูดซับหรือไม่ ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกดูดซับ และตัวดูดซับ กล่าวคือในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นบวก และตัวดูดซับมีตำแหน่งดูดซับที่มีประจุเป็นลบ ถ้าสารละลายมีค่าพีเอชต่ำจะทำให้ความสามารถในการดูดซับมี

แนวโน้มลดลง เนื่องมาจากการแย่งกันถูกดูดซับของตัวถูกดูดซับที่มีประจุบวกกับไฮโดรเนียมไอออนในสารละลาย แต่จะมีผลในทางตรงกันข้ามกัน เมื่อการดูดซับอยู่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชสูง เนื่องจากไฮโดรเนียมไอออนมีปริมาณน้อยลง และปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) เพิ่มขึ้น จึงลดผลในการเข้าแย่งจับหรือดูดซับกับตัวถูกดูดซับ และในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นลบก็จะให้ผลตรงกันข้ามในการทำงานเดียวกัน

2.3.3.4 อุณหภูมิ

ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับขึ้นอยู่กับว่าการดูดซับในระบบเป็นประเภทใด คือถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพ อุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนแปลงไปในทางน้อยลงหรือคงที่ ถ้าเป็นการดูดซับทางเคมี อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นไปด้วย เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนจะช่วยเร่งการสร้างพันธะเคมีให้เร็วขึ้น และเพิ่มโอกาสที่ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับตำแหน่งดูดซับของตัวดูดซับได้มากขึ้น

2.3.3.5 ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับต่อการดูดซับ

เมื่อเกิดการดูดซับขึ้น โมเลกุลตัวถูกดูดซับจะถูกดึงออกจากน้ำก่อนแล้วจึงไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดีย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อ่อนแน่นมากกว่าสารที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยกว่า จึงทำให้ยากต่อการดูดซับมากกว่าสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยกว่า แต่ไม่ได้เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะมีสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิด เกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่ว่าความสามารถในการดูดซับและความสามารถในการละลายน้ำมีความสัมพันธ์กันอย่างแน่นอนในเชิงปริมาณ

2.3.3.6 ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ

ขนาดของสารหรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ จะมีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับ เมื่อน้ำหนักโมเลกุล และขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น เช่น การดูดซับกรดอินทรีย์โดยถ่านกัมมันต์ จะพบว่า ถ่านกัมมันต์ดูดซับ กรดฟอร์มิก กรดแอซติก กรดโพรพิอิก และกรดบิวเทอริก ได้มากขึ้นตามลำดับของขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อการละลายด้วย โดยสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ยาวมักจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ลดลงจึงส่งผลทำให้การดูดซับโดยตัวดูดซับมากขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่ตัวดูดซับมีรูพรุนมาก สารที่มีโมเลกุลเล็กกว่ารูพรุนมักจะถูกดูดซับได้ดีมากกว่าสารที่มีโมเลกุลใหญ่ เนื่องจากสารโมเลกุลใหญ่ไม่สามารถเข้ารูพรุนได้ และพื้นที่ผิวภายนอกที่จะดูดซับมีอยู่น้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวภายนอกเป็นรูพรุน

2.4 สมดุล และไอโซเทิร์มของการดูดซับ (Adsorption equilibrium and adsorption isotherm) (Faust and Aly, 1987)

การดูดซับด้วยของแข็งที่เกิดขึ้นในสารละลาย สัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวของของแข็ง เมื่อกระบวนการดูดซับดำเนินเรื่อยๆ มีการคายการดูดซับ (Desorption) เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน จนในที่สุดจำนวนตัวถูกละลายกับที่คายออกมาเท่ากันหรือระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล เรียกว่า สมดุลของการดูดซับ (Adsorption equilibrium) ที่สภาวะสมดุลของการดูดซับความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวของของแข็งไม่เปลี่ยนแปลง สภาวะในการเกิดสมดุลของการดูดซับหนึ่งๆ เป็นสมบัติของระบบนั้นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวถูกละลาย ตัวดูดซับ อุณหภูมิ และค่าพีเอช ปริมาณของการดูดซับที่สมดุลเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น

ไอโซเทิร์มของการดูดซับ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (q_c) กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลืออยู่ที่สภาวะสมดุล (C_c) ณ อุณหภูมิคงที่ (ธีรวิทย์ ทับทอง, 2541) โดยทั่วไปจะใช้ไอโซเทิร์มของการดูดซับเป็นตัวแทนในการอธิบายความสมดุลที่เกิดขึ้น

2.4.1 สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทิร์ม

สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทิร์มของการดูดซับมีหลายชนิด เนื่องจากมีหลายทฤษฎีได้ถูกนำมาอธิบายสมดุลของการดูดซับที่เกิดขึ้น แต่ที่นิยมใช้งานมากในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ คือ สมการแลงเมียร์ และสมการฟรุนดลิช

2.4.1.1 สมการแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm)

สมมติฐานของสมการแลงเมียร์

1. การดูดซับเกิดบนพื้นผิวที่มีพื้นที่ในการดูดซับที่แน่นอน และพื้นที่นั้นๆ สามารถดูดซับโมเลกุลได้เพียงชั้นเดียว
2. การดูดซับสามารถย้อนกลับได้
3. ไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งของไอออน หรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ
4. พลังงานในการดูดซับเท่ากันในทุกๆ พื้นที่ของการดูดซับ และไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างไอออน หรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับ

จากสมการแลงเมียร์

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_o} + \frac{C_e}{q_e} \quad (2.1)$$

- เมื่อ q_e = ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 q_o = ปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับที่สามารถถูกดูดซับแบบชั้นเดียวต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 K_L = ค่าคงที่ของการดูดซับ
 C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

จากสมการ (2.1) คูณด้วย $\frac{1}{C_e}$ ทั้งสองข้างของสมการ จะได้

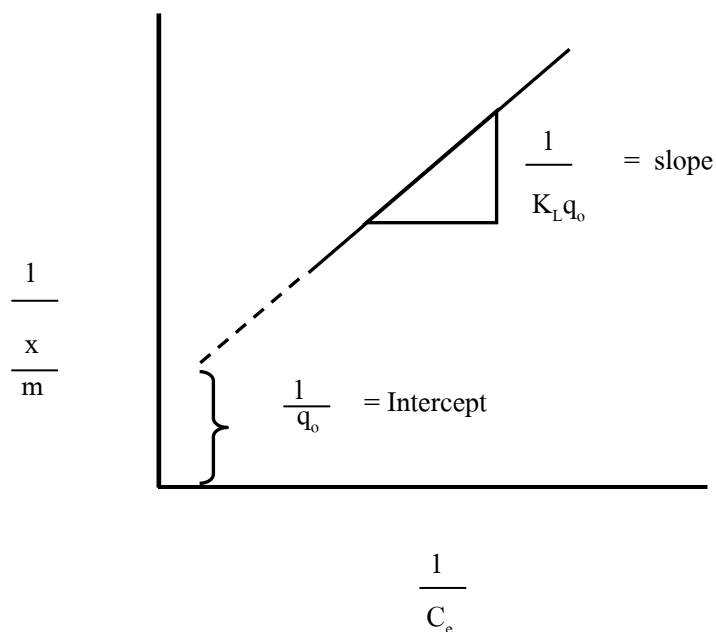
$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{K_L q_o} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_o} \quad (2.2)$$

เมื่อ $q_e = \frac{x}{m}$ จะได้

$$\frac{1}{\frac{x}{m}} = \frac{1}{K_L q_o} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_o} \quad (2.3)$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ โดยให้ $\frac{1}{\frac{x}{m}}$ เป็นแกน y และ $\frac{1}{C_e}$ เป็นแกน x ได้ค่าความชันเท่ากับ

$\frac{1}{K_L q_o}$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $\frac{1}{q_o}$ (ดังแสดงในรูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 ลักษณะไอโซเทิร์มการดูดซับของแลงเมียร์

เมื่อ ค่า R_L เป็นค่าคงที่ที่ใช้อธิบายไอโซเทิร์มแลงเมียร์ ดังสมการ (2.4) (Hall et al, 1966)

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L C_o)} \quad (2.4)$$

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของค่า R_L ของไอโซเทิร์มแลงเมียร์ (Hall et al, 1966)

ค่า R_L	ลักษณะไอโซเทิร์มของแลงเมียร์
$R_L > 1$	ไม่ชอบ
$R_L = 1$	เส้นตรง
$0 < R_L < 1$	ชอบ
$R_L = 0$	ดูดซับแล้วไม่ผันกลับ

2.4.1.2 สมการฟรอนด์ลิช (Freundlich adsorption isotherm)

สมการฟรอนด์ลิช เป็นสมการการดูดซับที่ได้จากการทดลอง ซึ่งอธิบายถึงการลดลงของพลังงานในการดูดซับเมื่อการปกคลุมผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้นในรูปของลอการิทึม (Logarithmic) สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$q_e = KC_e^{\frac{1}{n}} \quad (2.5)$$

โดย K = สัมประสิทธิ์ของการแพร่กระจาย

n = correcting factor

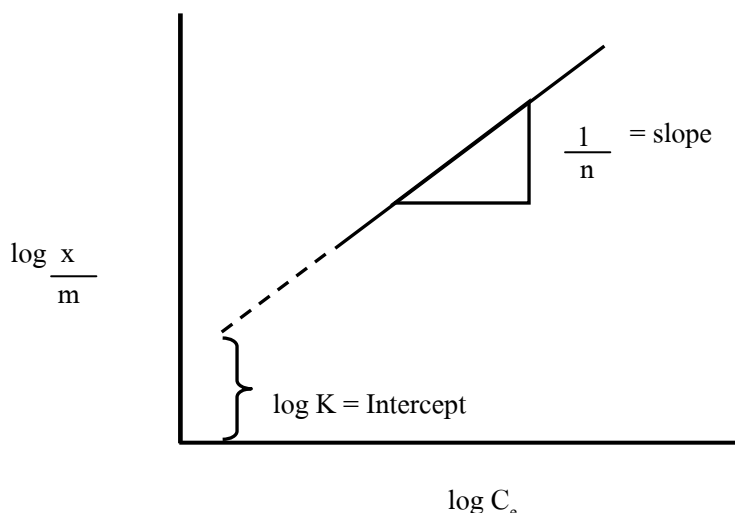
จากสมการที่ (2.5) สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้ดังสมการ

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.6)$$

เมื่อ $q_e = \frac{x}{m}$ จะได้

$$\log \frac{x}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.7)$$

เมื่อนำค่า $\log \frac{x}{m}$ กับ $\log C_e$ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ โดยให้ $\log \frac{x}{m}$ เป็นแกน y $\log C_e$ เป็นแกน x ได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ $\frac{1}{n}$ และ จุดตัดแกน y เท่ากับ $\log K$ โดยสมการไอโซเทิร์มของฟรอนด์ลิชที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ นั้น ถ้า $n > 1$ แสดงถึงว่า ตัวดูดซับที่ใช้มีความสามารถในการดูดซับตัวถูกละลายหรือตัวถูกดูดซับได้ดีเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น และถ้า $1 < n < 10$ แสดงว่าปฏิกิริยาการดูดซับกำลังดำเนินไปได้ด้วยดี แต่ถ้า $1/n$ มีค่าน้อยกว่า 1 มากๆ ($1/n \ll 1$) ความสามารถในการกำจัดจะค่อยๆลดลงตามความเข้มข้นที่น้อยลงด้วย (Samul และ Osman, 1987) (ดังแสดงในรูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 ลักษณะไอโซเทิร์มการดูดซับของฟรุคตลิกซ์

2.5 น้ำมันหล่อเย็น (Cutting oil) (Byers, 1994)

การตัดกลึงโลหะพื้นฐานประกอบด้วย งานเจาะรู งานกลึง งานตัด และงานเซาะร่อง ในการตัดกลึงโลหะ ไบมีดจะทำหน้าที่เป็นลิ้มแยกโลหะออกจากชิ้นงานโดยการตัดเฉือน ทำให้เกิดเศษโลหะที่มีรูปร่างใหม่และแยกตัวออกจากชิ้นงาน การตัดกลึงโลหะขอบของไบมีดจะติดตั้งในแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน พลังงานที่ชิ้นงานได้รับจากการตัดกลึงโลหะจะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนเนื่องจากการเสียดสีระหว่างไบมีดกับชิ้นงาน ความร้อนที่เกิดขึ้นมีอยู่หลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กำลังที่ใช้ในการตัดกลึงโลหะ ค่าความร้อนจำเพาะของชิ้นงานและไบมีด ความเร็ว-ความลึกในการตัดกลึงโลหะและชนิดของน้ำมันหล่อเย็นที่นำมาใช้

เศษโลหะจากการตัดกลึงสามารถจำแนกออกเป็นประเภทได้ ดังนี้

1. Discontinuous หรือ Segment เกิดจากการตัดกลึงโลหะที่ใช้ความเร็วต่ำ ชิ้นงานมีความเปราะและแตกหักง่าย เศษโลหะจะมีลักษณะสั้น
2. Continuous เกิดจากการตัดกลึงโลหะที่ใช้ความเร็วสูงในการตัดและชิ้นงานมีความเหนียวแต่มีแรงต้านทานแรงดึงต่ำ เศษโลหะจึงมีลักษณะยาวและต่อเนื่อง
3. Continuous with Built-Up Edge เกิดจากการตัดชิ้นงานที่มีความเหนียวค่อนข้างสูง รูปแบบจะเหมือนกับชนิดที่สอง แต่จะมีเศษของชิ้นงานขนาดเล็กๆ เกาะอยู่ที่ปลายของไบมีด เนื่องจากมีแรงกดระหว่างไบมีดกับเศษโลหะสูง

น้ำมันหล่อเย็นที่ใช้กันโดยทั่วไปมีมากมายหลากหลายชนิด การเลือกใช้น้ำมันหล่อเย็นเหล่านี้จึงต้องทำการเลือกให้เหมาะสมกับงานที่จะทำด้วย ซึ่งการจะเลือกให้เหมาะสมนั้นยังต้องอาศัยความชำนาญด้วย น้ำมันหล่อเย็นที่คืนนอกจากจะใช้ในกระบวนการตัดโลหะได้เหมาะสมแล้วยังต้องสามารถนำมาใช้งานอื่นๆ ได้ดีอีกด้วย

น้ำมันหล่อเย็นมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมโลหะ โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

- เพื่อลดอุณหภูมิของชิ้นงานโลหะต่างๆ ไม่ให้มีอุณหภูมิสูงจนเกินไป
- เพิ่มอายุการใช้งานของชิ้นงานโลหะ
- ช่วยรักษาผิวหน้าของชิ้นงานโลหะที่ทำการตัดแต่งเสร็จสมบูรณ์แล้ว
- ช่วยชะล้างเศษโลหะที่เกิดจากการตัดออกจากบริเวณที่ทำการตัดชิ้นงานโลหะ

2.6 ประเภทของน้ำมันหล่อเย็น (Shubkin, 1993)

น้ำมันหล่อเย็นที่ใช้ในการตัดกลึงโลหะถูกแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

2.6.1 Straight Oil เป็นน้ำมันหล่อเย็นที่ไม่จำเป็นต้องทำให้เจือจางก่อนการใช้งาน ซึ่งได้มาจากกระบวนการกลั่นน้ำมัน นอกจากนี้อาจได้มาจากพืชหรือสัตว์ก็ได้

2.6.2 Soluble Oil เป็นน้ำมันหล่อเย็นที่ได้จากการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ลงไปในน้ำมันแร่ (Mineral Oil) การใช้งานผสมกับน้ำ เพื่อให้ให้น้ำมันแร่สามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำเป็นหยดเล็กๆ

2.6.3 Synthetic Solution เป็นน้ำมันหล่อเย็นที่ผลิตขึ้นจากสารเคมีสังเคราะห์ทั้งหมด และมีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ลงไปเพื่อให้ให้น้ำมันมีการกระจายตัวในน้ำ เช่นเดียวกับชนิด Soluble Oil ซึ่งน้ำมันหล่อเย็นประเภท Synthetic Solution จะมียอดประกอบ ได้แก่ Ethanolamines Polyglycols chlorinated or sulphonated paraffins mineral oil (Baker et al., 1983) Polyglycols glycol ether alcohol amine salts little or no oil (Sutton et al., 1985) Alkanolamine emulsified oil (Polak, 1986) Sodium O O-diethyl dithiophosphate methyldiethanolamine (MDEA) (Sherburn and Large, 1999) 2-amino-2-ethyl-1 3-propanediol (AEPD) 2- (2-aminoethoxy) ethanol (Geier et al., 2003) Ethanolamine 2-aminoethanol N N-methylenebismorpholine (Castrol, 2002a)

2.6.4 Semisynthetic Solution เป็นน้ำมันหล่อเย็นที่ได้จากการผสมกันระหว่างน้ำมันแร่และสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้น เพื่อเพิ่มสมบัติบางอย่างของน้ำมันหล่อเย็นให้เป็นที่ไปตามลักษณะงานที่ต้องการมีการใช้งานเช่นเดียวกับชนิด Synthetic Solution ซึ่งน้ำมันหล่อเย็นประเภท Semi-synthetic Solution จะมียอดประกอบ ได้แก่ Triethanolamine (1800–2100 มิลลิกรัมต่อลิตร) sodium sulphonate (500–600

มิลลิกรัมต่อลิตร) 2-ethoxyethanol (80–100 มิลลิกรัมต่อลิตร) (Schreyer and Coughlin, 1999) Alcohol ethoxylate phosphate ester polysulphides di-tertodecyl alcohol C11-14-iso C13-richn sodiumsulphonate 1-[2-(allyloxy)-2-(2,4-dichlorophenyl)-1Himidazole N N methylenebismorpholine (Castrol, 2002b)

โรงงานอุตสาหกรรมนิยมนำน้ำมันหล่อเย็นชนิด Soluble Oil มาใช้งานในกระบวนการผลิตชิ้นงาน เนื่องจากสามารถใช้ความเร็วสูงในการตัดกลึงโลหะ ทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีราคาต่อหน่วยต่ำ การใช้งานเมื่อน้ำมันหล่อเย็นชนิดนี้ผสมกับน้ำจะเกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water Emulsion) การมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม หากใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูจะเห็นเป็นหยดเล็กๆ ของน้ำมันกระจายอยู่ในน้ำ ฉะนั้นน้ำมันหล่อเย็นเป็น Dispersed Phase และน้ำเป็น Continuous Phase (The Nalco Water Handbook, 1988) การใช้งานเน้นที่การระบายความร้อนและการหล่อลื่นระหว่างใบมีดกับชิ้นงาน เนื่องจากในการตัดกลึงโลหะ น้ำทำหน้าที่ในการระบายความร้อน น้ำมันแร่ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ในกลุ่ม Paraffinic และ Naphthenic ทำหน้าที่ลดการสึกหรอและลดแรงเสียดทาน (Misra and Skold, 2000) โดยมีกรดไขมัน (Fatty Acid) ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ หลังจากผ่านการใช้งานไปช่วงเวลาหนึ่ง ความร้อนและความเสียดสีจะทำให้คุณสมบัติของสารเคมีในน้ำมันหล่อเย็นเปลี่ยนไป ส่งผลให้ความเป็นเบสลดลง เกิดสภาวะความเป็นกรด สีของน้ำมันหล่อเย็นคล้ำลงและเกิดกลิ่นเหม็นเน่า หลังจากหมดประสิทธิภาพแล้วไม่สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ จึงทำให้น้ำมันหล่อเย็นชนิดนี้มีอายุการใช้งานสั้น

2.7 ซีต้าโพเทนเชียล (Z_p) (มันสิน ตันฑกุลเวศน์, 2537)

ซีต้าโพเทนเชียล (Z_p) หมายถึง ศักย์ไฟฟ้าที่ผิว (หรือเปลือก) นอกสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาคคอลลอยด์ ซีต้าโพเทนเชียลใช้เป็นพารามิเตอร์ที่บอกระดับของเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ ระบบคอลลอยด์อาจมีเสถียรภาพหรือไม่ก็ได้ คอลลอยด์มีเสถียรภาพเมื่อสามารถดำรงสถานะแขวนลอยในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอนภายในเวลาสั้น เมื่อทำให้อนุภาคคอลลอยด์ตกตะกอนและแยกตัวจากน้ำก็ถือว่าเสถียรภาพของคอลลอยด์ถูกทำลายและไม่มีเสถียรภาพอีกต่อไป ด้วยเหตุนี้เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค แรงผลักระหว่างอนุภาคจะต้องสูงกว่าแรงดึงดูดจึงจะทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดึงดูดมากกว่าแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ สามารถจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกได้ทำให้คอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพ แรงผลักระหว่างอนุภาคเรียกว่า van der Waals force เป็นแรงอ่อนที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือซีต้าโพเทนเชียล ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง (มีแรงผลักระหว่าง

อนุภาคสูงมาก) จะมีค่าซีต้าโพเทนเชียลสูงด้วย ในทางตรงกันข้าม ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำ จะมีซีต้าโพเทนเชียลต่ำและทำให้รวมตัวกันเป็นฟลอคได้ง่าย ซึ่งค่าซีต้าโพเทนเชียล (Z_p) นั้นสามารถบอกความเสถียรภาพของน้ำมันหล่อเย็น และความเสถียรภาพของตัวดูดซับได้

2.8 การแพร่ผ่านของตัวถูกดูดซับไปยังอนุภาคภายในของตัวดูดซับ (Intraparticle diffusion) (Ahmad et al, 2005)

การแพร่ผ่านของตัวถูกดูดซับไปยังอนุภาคภายในของตัวดูดซับ (Intraparticle diffusion) หาได้จากค่าความชัน (k) ของการพล็อตกราฟระหว่าง q_t กับ $t^{\frac{1}{2}}$ เป็นดังสมการ

$$q_t = kt^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

เมื่อ q_t = ความสามารถในการดูดซับที่เวลาใดๆ
 k = อัตราเร็วในการแพร่ผ่านไปยังอนุภาคภายใน
 t = ที่เวลาใดๆ

โดยมีขั้นตอนในการดูดซับ 3 ขั้นตอน ดังนี้ (Ozer et al., 2007)

ขั้นตอนแรก เป็นขั้นตอนการแพร่ผ่านของตัวถูกดูดซับไปที่พื้นผิวภายนอกของตัวดูดซับอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นการดูดซับที่ผิว

ขั้นตอนที่สอง เป็นขั้นตอนการแพร่ผ่านของตัวถูกดูดซับไปยังอนุภาคภายในของตัวดูดซับ ซึ่งจัดเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราการดูดซับ และจัดเป็นขั้นตอนการดูดซับที่เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ขั้นตอนที่สาม เป็นขั้นตอนที่การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลของการดูดซับ

2.9 เทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic) (El-Dessouky et al, 2007)

เมื่อทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความสามารถในการดูดซับจึงจำเป็นต้องทราบพลังงานกิบบส์ (ΔG) เอนโทรปี (ΔS) เอนทัลปี (ΔH) โดยที่ G คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระกิบบส์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมี เมื่อ ΔG มีค่าเป็นลบ หมายถึง ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นได้เอง หรือ ถ้า ΔG มีค่าเป็นบวก หมายถึง ปฏิกิริยานี้ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง ค่าพลังงานกิบบส์สามารถคำนวณได้ดังสมการ (2.14)

$$\Delta G = -RT \ln K \quad (2.14)$$

$$\text{โดยที่ } K = \frac{q_e}{C_e}$$

$$\text{และค่า } \Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2.15)$$

$$\log K = \left(-\frac{\Delta H}{2.303R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) + C \quad (2.16)$$

เมื่อ ΔG = การเปลี่ยนแปลงพลังงานกิบบส์ (กิโลจูลต่อโมล)

ΔH = ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากระบบในกระบวนการที่ความดันคงที่ โดยที่ ถ้า $H < 0$ เป็นกระบวนการคายความร้อน หรือ $H > 0$ เป็นกระบวนการดูดความร้อน (กิโลจูลต่อโมล)

ΔS = เอนโทรปี ซึ่งใช้วัดความไม่เป็นระเบียบทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสาร หรือพลังงาน โดยที่ถ้าระบบมีความไม่เป็นระเบียบมากขึ้น ค่าเอนโทรปีจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าระบบมีความไม่เป็นระเบียบน้อย เอนโทรปีจะมีค่าต่ำ

T = อุณหภูมิ (องศาเคลวิน)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 จูลต่อองศาเคลวินต่อโมล)

q_e = ความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_e = ความเข้มข้นในสภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bensadok et al. (2007) ศึกษาการบำบัดน้ำมันหล่อเย็นโดยโคเอกกูเลชันร่วมกับการอัดอากาศ โดยใช้น้ำมันแร่ 2 ชนิด ได้แก่ ชนิด A และ B ทดสอบการทำลายเสถียรภาพขั้นต้นโดยใช้สารเคมี ได้แก่ กรดซัลฟูริก และเพอร์ริคคลอไรด์เพื่อทำลายเสถียรภาพของน้ำมันชนิด A ซึ่งให้ผลได้ไม่ดี ในขณะที่น้ำมันชนิด B ใช้แคลเซียมคลอไรด์เพียงชนิดเดียวแต่ให้ประสิทธิภาพในการทำลายเสถียรภาพได้ดีกว่าชนิด A ถึงแม้ว่าการบำบัดด้วยสารเคมีจะสามารถทำลายเสถียรภาพของน้ำมันได้ต้องใช้สารเคมีในปริมาณมาก เมื่อทำการศึกษาร่วมกับการอัดอากาศที่ความดัน 6.5 บาร์ จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดที่สูงขึ้น ซึ่งผลจากการบำบัดนั้นจะต้องใช้กระบวนการอื่นร่วมด้วยจึงจะทำให้หน้าที่ผ่านการบำบัดได้ค่าตามมาตรฐาน

Zouboulis et al. (2000) ศึกษาการบำบัดอิมัลชันสังเคราะห์ชนิดน้ำมันในน้ำโดย Coagulation ร่วมกับการอัดอากาศ และพบว่าตัวแปรหลายๆ ตัวที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกอิมัลชันในน้ำ ได้แก่ ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการสร้างเสถียรภาพของอิมัลชัน สภาพความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชันเริ่มต้น ความเข้มข้นของสารเคมีที่เติมลงไป เช่น โซเดียมโอเลเอต และอัตราส่วนการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยทำการวัดจำนวนประจุด้วยเครื่องซีต้าโพเทนเชียลเพื่อทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ จากผลการศึกษาการบำบัดอิมัลชันด้วยวิธีแยกด้วยไฟฟ้าเคมีพบว่า มีประสิทธิภาพต่ำ ในขณะที่การบำบัดด้วยวิธีการอัดอากาศได้ผลดีมาก จากผลการทดลองพบว่า สามารถกำจัดน้ำมันได้สูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ โดยความเข้มข้นเริ่มต้นของอิมัลชันมีค่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ต้องทำที่ความดันสูงถึง 4-5 เท่าของความดันบรรยากาศ

Hilal et al. (2004) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งที่มีน้ำมันหล่อเย็นปนเปื้อนด้วยวิธีการบำบัดเบื้องต้น และการกรองผ่านแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยน โดยทำการบำบัดน้ำเสียที่เป็นน้ำมันหล่อเย็นซึ่งใช้ในกระบวนการตัดโลหะ ซึ่งมีขั้นตอนการบำบัด 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก ทดลองกระบวนการตกตะกอนด้วยสารตกตะกอน 4 ชนิดที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟตไฮเดรต อะลูมิเนียมคลอไรด์ ไอออนซัลเฟตเพนตะไฮเดรต และไอออนคลอไรด์ ขั้นตอนที่สอง ทำการผ่านกระบวนการกรองด้วยแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยน 2 แผ่น ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 และ 20 อังสตรอม ตามลำดับ ขั้นตอนสุดท้าย เป็นกระบวนการกรองละเอียดด้วยแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนที่มีขนาด 1,000 อังสตรอม แล้วจึงทำการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำหลังจากผ่านเยื่อกรองในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งวิธีการนี้จะประสบปัญหาการอุดตันของแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยน และน้ำมันหล่อเย็นยังทำลายโครงสร้างของแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยน ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียลดต่ำลง นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการทำการบำบัดด้วยนี้ ยังมีราคาสูงมากเนื่องจากแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนมีราคาแพง

Prado et al. (2004) ศึกษาความสัมพันธ์ของไคติน และไคโตซานกับโซเดียมโดดีซิลซัลเฟต โดยใช้เครื่องมือวัดปริมาณความร้อนที่ 298.15 องศาเคลวิน จากการทดลอง พบว่า เมื่อนำสารละลายโซเดียมโดดีซิลซัลเฟต ที่ปริมาณความเข้มข้นเกินจุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ผสมกับไคติน และไคโตซานที่ความเข้มข้นแตกต่างกันนั้น พลังงานของกิบบส์ มีค่า -23.21, -22.71 และ -21.53 กิโลจูลต่อโมล สำหรับไคตินเมื่อเติมโซเดียมโดดีซิลซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.02, 0.05 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ -28.30, -24.38 และ -24.20 กิโลจูลต่อโมล สำหรับไคโตซานเมื่อเติมโซเดียมโดดีซิล

ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.02, 0.05 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าจุดวิกฤตของความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการรวมตัวด้วยเครื่องมือวัดปริมาณความร้อนมีค่า 6.32, 7.07 และ 9.14 มิลลิโมลต่อกิโลกรัม เมื่อเติมโซเดียมโคดีซิลซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.02, 0.05 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับไคติน และสำหรับไคโตซานมีค่า 2.09, 4.91 และ 5.11 มิลลิโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเติมโซเดียมโคดีซิลซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.02, 0.05 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Ahmad et al. (2005 a) ศึกษาการดูดซับน้ำมันปาล์มโดยใช้ผง และเกลือไคโตซาน พร้อมทั้งศึกษาสมมูล และกลไกการดูดซับ โดยใช้ตัวแปร ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมัน น้ำหนักไคโตซาน เวลาในการสัมผัส และ pH จากการทดลอง พบว่า ผงไคโตซานดูดซับน้ำมันได้ดีกว่าเกลือไคโตซาน โดยใช้ผงไคโตซาน 0.5 กรัมต่อลิตร ใช้เวลา 15 นาทีในการสัมผัส และที่ pH 5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดูดซับน้ำมันโดยสามารถดูดซับได้เกือบ 99 เปอร์เซ็นต์ และข้อมูลไอโซเทิร์มของการดูดซับแสดงให้เห็นว่าเป็นแบบฟรุนดลิช

Ahmad et al. (2005 b) ศึกษาเปรียบเทียบการกำจัดน้ำมันปาล์มออกด้วยตัวดูดซับ 3 ชนิด คือ ไคโตซาน แอ็กติเวเต็ดเตตคาร์บอน และเบนโทไนด์ โดยใช้จาร์เทสต์ จากการทดลองพบว่า ไคโตซานสามารถกำจัดน้ำมันออกได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแอ็กติเวเต็ดเตตคาร์บอน และเบนโทไนด์ ไคโตซานสามารถกำจัดน้ำมันออกได้ 99 เปอร์เซ็นต์ และมีองค์ประกอบของแข็งแขวนลอยอยู่น้อยที่สุดที่ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร จากปริมาณน้ำมันเริ่มต้น 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ไคโตซาน 0.5 กรัม ใช้เวลา 30 นาที ในการผสมที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการตกตะกอน 30 นาที ที่ pH 4-5 สำหรับแอ็กติเวเต็ดเตตคาร์บอน และเบนโทไนด์ต้องใช้ปริมาณอย่างน้อย 8 และ 10 กรัม ตามลำดับ ใช้เวลา 30 นาที ในการผสมที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการตกตะกอน 80 และ 60 นาที ตามลำดับ ที่ pH 4-5 จึงจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ในการกำจัดน้ำมันออกเทียบเท่ากับไคโตซาน

Ahmad et al. (2006) ศึกษาการบำบัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีโคแอกกูเลชัน โดยใช้ไคโตซาน อะลูมินัมซัลเฟต และ โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ เมื่อเปรียบเทียบการกำจัดน้ำมันของไคโตซานกับอะลูมินัมซัลเฟต และ โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ พบว่า ไคโตซานให้ประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดี และมีราคาถูกกว่าอะลูมินัมซัลเฟต และ โพลีอะลูมินัมคลอไรด์ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด คือ เมื่อใช้ไคโตซาน 0.5 กรัมต่อลิตร ระยะเวลาสัมผัส 15 นาที ความเร็วรอบในการผสม 100 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการตกตะกอน 20 นาที และที่ pH 4 สามารถกำจัดน้ำมันออกได้สูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

สำหรับอะลูมิเนียมซัลเฟต และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์จะต้องใช้ปริมาณ 8 และ 6 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ใช้เวลา 30 นาทีในการผสมที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที และ ใช้เวลา 50 และ 60 นาที ตามลำดับ ที่ pH 4.5 จึงจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ในการกำจัดน้ำมันออกเทียบเท่ากับโคโคซาน

ธนภรณ์ ธนภาพรังสรรค์ และคณะ (2547) ศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำทิ้งอิมัลชันของน้ำมันหล่อเย็นจากอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานพาหนะด้วยวิธีโคแอกกูเลชัน โดยใช้สารละลายเพอริกคลอไรด์ และสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารโคแอกกูแลนต์ และใช้สารละลายพอลิเมอร์ขี้วุ้น และสารละลายพอลิเมอร์ขี้วุ้นเป็นสารโคแอกกูแลนต์เอด ซึ่งทำการศึกษาผลของปริมาณโคแอกกูแลนต์ สารช่วยตกตะกอน ความเป็นกรด-ด่าง ความขุ่น ค่าการดูดกลืนแสง จากการวัดค่าอิเล็กโทรโพริซิตี พบว่า ค่าซีดีโพเทนเชียลของหยดน้ำมันก่อนการบำบัดมีค่าเป็นลบ เมื่อเติมโคแอกกูแลนต์ ทำให้ค่าซีดีโพเทนเชียลมีค่าเป็นบวกมากขึ้น และส่งผลให้ขนาดของหยดน้ำมันมีค่าใหญ่ขึ้น ผลการทดลอง พบว่า ค่าความขุ่นลดลงร้อยละ 99.65 และ น้ำมันหล่อเย็นสามารถแยกออกจากน้ำทิ้งได้ถึงร้อยละ 93.54 ที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- 1) เครื่องชั่ง METTLER TOLEDO รุ่น PB 3002-S ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
- 2) เครื่องปั่น (Motor steller) รุ่น RW 20 N ประเทศมาเลเซีย
- 3) เครื่องเขย่า (Shaker) PNP รุ่น Seriker II
- 4) เครื่องวัดพีเอช (pH meter) Heriba รุ่น CF-23
- 5) เครื่อง Peristaltic Pump: Masterflex รุ่น 77200-60 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 6) เครื่อง Visible Spectrophotometer รุ่น WTW เพื่อวัดความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น
- 7) เครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FTIR) รุ่น NICOLET NEXUS 470 FT-IR ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 8) เครื่องวิเคราะห์พื้นผิวของตัวดูดซับ (Scanning Electron Microscopy: SEM)
- 9) เครื่องวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของน้ำมันหล่อเย็น (Zeta Potential)
- 10) เครื่องวิเคราะห์ความชอบน้ำมัน (Contact Angle) รุ่น Contact Angle System OCA
- 11) ตู้อบ (Hot air oven) รุ่น Venticell
- 12) ตู้ดูดความชื้น (Desicater)
- 13) Transferpette
- 14) คิวเวต
- 15) เครื่องแก้วทั่วไป
- 16) ตะแกรง
- 17) เข็มฉีดยา
- 18) กระดาษกรอง เบอร์ 1: ยี่ห้อ WHAT MAN เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนมีขนาด 90 มิลลิเมตร

3.1.2 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยมีรายละเอียด ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ลำดับ	สาร	สูตรเคมี	ความบริสุทธิ์	ยี่ห้อ	ประเทศ
1.	โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH	99%	BHD	อังกฤษ
2.	กรดไฮโดรคลอริก	HCl	37%	Carloerba	
3.	กรดอะซิติก	CH ₃ COOH	100%	BHD	อังกฤษ
4.	ไคโตซานแบบเกล็ดสำเร็จรูปที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้ง	Poly - β - (1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose	95%	Seafresh Chitosan (Lab) Company Limited	ไทย
5.	น้ำมันหล่อเย็น				ไทย
6.	โซเดียมลอริลซัลเฟต (SDS)	CH ₃ (CH ₂) ₁₁ S O ₄ ⁻ Na ⁺	96%	Ajax Finechem	ออสเตรเลีย
7.	แมกนีเซียมเปอร์คลอเรต	Mg(ClO ₄) ₂	99%	Sigma-Aldrich	สหรัฐอเมริกา

3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับ

3.2.1 นำไคโตซาน 8 กรัม ละลายในกรดอะซิติกเจือจาง 4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วทำการหยดสารละลายที่ได้ลงสู่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ จะได้เม็ดไคโตซานหรือไคโตซานบีด (C)

3.2.2 นำสารละลายไคโตซานผสมกับสารละลายโซเดียมลอริลซัลเฟตเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 10:3 โดยปริมาตร หลังขึ้นรูปในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ จะได้เม็ดไคโตซานผสมโซเดียมลอริลซัลเฟต (CS)

3.2.3 เดิมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต 0.5, 1, 1.5, 2 และ 3 กรัม ลงในสารละลายโคโคซานจนเข้ากันแล้ว ผสมกับสารละลายโซเดียมลอร์ริลซัลเฟตเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 10:3 โดยปริมาตร แล้วนำไปขึ้นรูปในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ จะได้เม็ดโคโคซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และโซเดียมลอร์ริลซัลเฟต

3.3 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นด้วยตัวดูดซับ

งานวิจัยนี้ทำการทดลองโดยใช้ตัวดูดซับทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ โคโคซานบีด (C) โคโคซานผสมโซเดียมลอร์ริลซัลเฟต (CS) โคโคซานผสมโซเดียมลอร์ริลซัลเฟตและแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต (CSM) มาทำการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นสังเคราะห์ซึ่งเตรียมขึ้นจากห้องปฏิบัติการ ตัวแปรที่ทำการศึกษามีได้แก่ ค่าพีเอช (3, 5, 7 8 และ 9) ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น (0.5, 1, 3, 5, 10 เปอร์เซ็นต์ และ 15, 20, 30 เปอร์เซ็นต์ หรือจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัวของตัวดูดซับชนิดนั้นๆ) น้ำหนักของตัวดูดซับ (0.5, 1, 2, 4 และ 6 กรัม) และอุณหภูมิ (30, 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส) เมื่อได้ผลการทดลองในขั้นต้นแล้ว จะทำการเลือกสภาวะที่ดีที่สุดของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นจากห้องปฏิบัติการมาใช้ในการทดลองกับน้ำเสียจริงที่ปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็น และจะใช้ตัวดูดซับทั้งหมด 3 ชนิด มาทำการดูดซับน้ำเสียจริงที่ปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นที่สภาวะปกติด้วย โดยน้ำเสียจริงได้มาจาก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ลำดับขั้นตอนที่ทำการทดลอง มีดังนี้

1) นำน้ำมันหล่อเย็นผสมกับน้ำกลั่นตามความเข้มข้นที่ต้องการศึกษา ปั่นโดยใช้เครื่อง Motor Stirrer ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง เพื่อให้ฟองอากาศที่เกิดจากการปั่นหายไป จากนั้นจึงทำการปรับค่าพีเอชตามต้องการ

2) นำน้ำมันหล่อเย็นที่เตรียมได้จากขั้นที่ 1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดรูปชมพู่แล้วเติมตัวดูดซับชนิดที่ 1 ลงไปด้วยน้ำหนักที่ต้องการศึกษา แล้วทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าอัตโนมัติ

3) เก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อเย็นที่เวลา 5, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 และ 300 นาที หรือจนกระทั่งถึงจุดสมดุลของการดูดซับ โดยทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)

4) วัดความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น และความเข้มข้นที่ลดลงโดยใช้เครื่อง Visible Spectrophotometer (Ma and Lin, 2004) ณ ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาร้อยละการกำจัดน้ำมันหล่อเย็น ดังแสดงในสมการ (4.1) และความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (Adsorption Capacity) ดังแสดงในสมการ (4.2)

$$\text{ร้อยละการกำจัดน้ำมันหล่อเย็น} = \frac{(C_0 - C_t) \times 100}{C_0} \quad (4.1)$$

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น} = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m} \quad (4.2)$$

โดยที่ C_0	คือ	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
C_t	คือ	ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
V	คือ	ปริมาตรของน้ำมันหล่อเย็น (มิลลิลิตร)
m	คือ	น้ำหนักของตัวดูดซับ (กรัม)

5) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ ข้อ 1 - 4 โดยเปลี่ยนชนิดตัวดูดซับให้ครบทั้งหมดสามชนิด และเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับตามที่ต้องการศึกษา และจากการทดลองจะเริ่มต้นศึกษาผลของปริมาณเกลือ $MgClO_4$ ที่เติมลงไปในช่วงตอนการเตรียมตัวดูดซับ เมื่อทราบปริมาณเกลือที่เหมาะสมแล้ว ก็จะใช้ในการเตรียมตัวดูดซับ CSM ที่จะใช้ในการทดลองลำดับต่อไป

3.2.4 ศึกษาคุณลักษณะของตัวดูดซับ โดย

- 1) วิเคราะห์ระบบการดูดซับโดยอาศัยพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายไอโซเทิร์มของการดูดซับมีความสอดคล้องกับแบบจำลองของ Langmuir หรือ Freundlich
- 2) วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)
- 3) วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับศึกษาจากการถ่ายภาพโดย Scanning Electron Microscopy (SEM)
- 4) วิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของน้ำมันหล่อเย็นทำการศึกษาจากค่า Isoelectric Point โดยการวัดค่า Zeta Potential
- 5) วิเคราะห์ความชอบน้ำมัน โดยใช้ Contact Angle
- 6) วิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวดูดซับโดย Brunauer Emmet Teller (BET)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงคุณลักษณะของตัวดูดซับที่สังเคราะห์โดยใช้เครื่อง FTIR, SEM, BET, Zeta potentiometer, Contact angle และผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อความสามารถของตัวดูดซับในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น ไอโซเทิร์มของการดูดซับ และค่าพลังงานความร้อนก่อนและหลังการดูดซับ

4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับจากการถ่ายภาพด้วยเครื่องอิเล็กตรอนไมโครสโคปีแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) และวัดพื้นที่ผิวด้วยเครื่อง Brunauer Emmet Teller (BET)

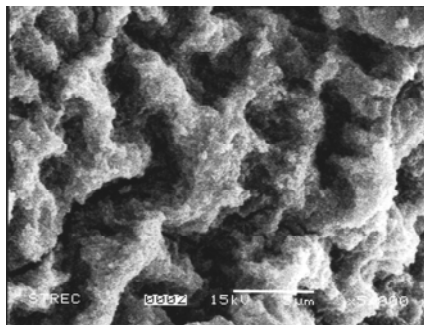
จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับทั้งสามชนิดด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) โดยใช้กำลังขยาย 5,000 เท่า (ดังแสดงในรูปที่ 4.1 - 4.3) พบว่า พื้นผิวของตัวดูดซับจะมีลักษณะขรุขระ มีช่องว่างและมีรูพรุนที่แตกต่างกัน และจากผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจากเครื่อง Brunauer Emmet Teller (BET) พบว่า พื้นที่ผิวของ CSM ($20.5 \text{ m}^2/\text{g}$) มีมากกว่า CS ($14.3 \text{ m}^2/\text{g}$) และ C ($6.12 \text{ m}^2/\text{g}$) ตามลำดับ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน เท่ากับ

0.95 นาโนเมตร สำหรับ CSM

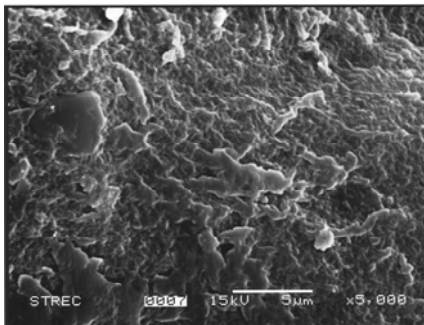
1.49 นาโนเมตร สำหรับ CS

1.67 นาโนเมตร สำหรับ C

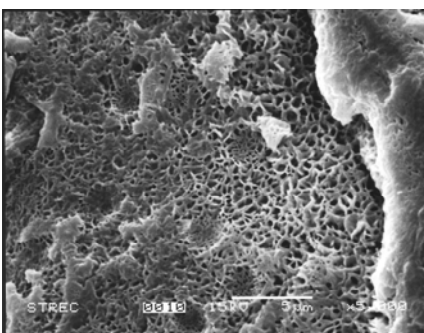
ถ้าตัวดูดซับมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนมากจะมีพื้นที่ผิวน้อย และถ้ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนน้อยจะมีพื้นที่ผิวมาก ซึ่งผลการวิเคราะห์จาก SEM และ BET ต่างก็สนับสนุนกัน



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายของไคโตซานบีด (C) (กำลังขยาย 5,000 เท่า)



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายของไคโตซานผสมโซเดียมลอร์ริลซัลเฟต (CS) (กำลังขยาย 5,000 เท่า)



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายของไคโตซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และ โซเดียมลอร์ริลซัลเฟต (CSM) (กำลังขยาย 5,000 เท่า)

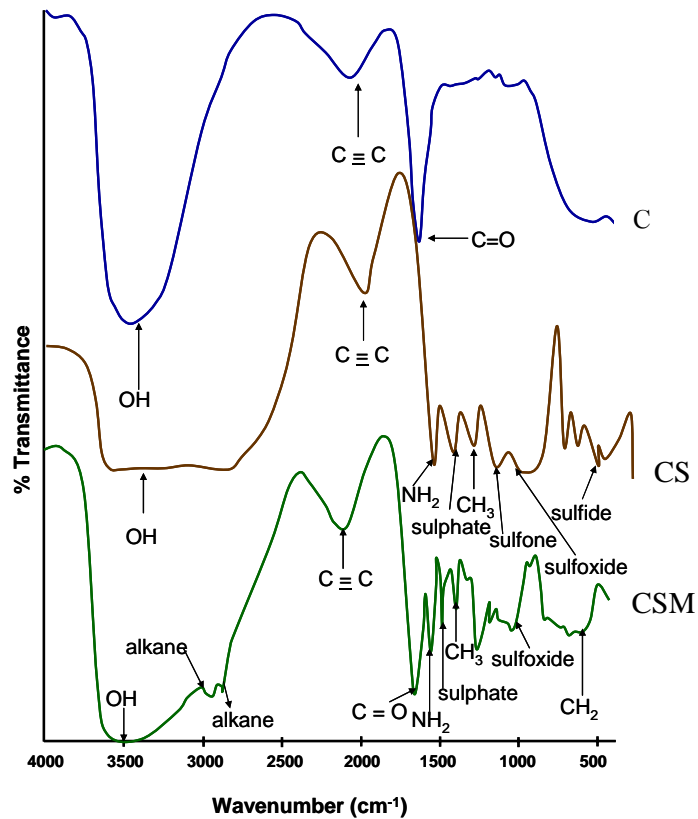
4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

จากรูป 4.4 พบว่า องค์ประกอบหลักของไคโตซานบีด (C) ปรากฏพีกหมู่ O-H ที่ 3450 cm^{-1} หมู่ $\text{C}\equiv\text{C}$ ที่ 2100 cm^{-1} หมู่ $\text{C}=\text{O}$ ที่ 1700 cm^{-1}

ส่วนองค์ประกอบหลักของไคโตซานผสมโซเดียมลอร์ริลซัลเฟต (CS) ปรากฏพีกหมู่ O-H ที่ 3450 cm^{-1} , หมู่ $\text{C}\equiv\text{C}$ ที่ 2100 cm^{-1} หมู่ NH_2 ที่ 1550 cm^{-1} หมู่ $\text{S}=\text{O}$ (ซัลเฟต ซัลโฟน ซัลฟอกไซด์) 1450 cm^{-1} 1150 cm^{-1} และ 1050 cm^{-1} ตามลำดับ) หมู่ $-\text{CH}_3-$ ที่ 1375 cm^{-1} หมู่ซัลไฟด์ 550 cm^{-1} ซึ่งแสดงว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้มีส่วนของโซเดียมลอร์ริลซัลเฟตในโครงสร้างของตัวดูดซับ CS ซึ่งเป็นการยืนยันชนิดของตัวดูดซับที่ต้องการสังเคราะห์

ส่วนองค์ประกอบหลักของไคโตซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และโซเดียมลอร์ริลซัลเฟต (CSM) ปรากฏพีกหมู่ O-H ที่ 3450 cm^{-1} หมู่แอลเคนที่ 2925 และ 2855 cm^{-1} หมู่ $\text{C}\equiv\text{C}$ ที่ 2100 cm^{-1} หมู่ NH_2 ที่ 1550 cm^{-1} หมู่ $\text{S}=\text{O}$ (ซัลเฟต ซัลโฟน ซัลฟอกไซด์) 1450 cm^{-1} 1150 และ 1050 cm^{-1} ตามลำดับ) หมู่ $-\text{CH}_3-$ ที่ 1375 cm^{-1} หมู่ $-\text{CH}_2-$ ที่ 720 cm^{-1} ซึ่งธาตุคลอรีนจะไม่ปรากฏพีกของ FTIR

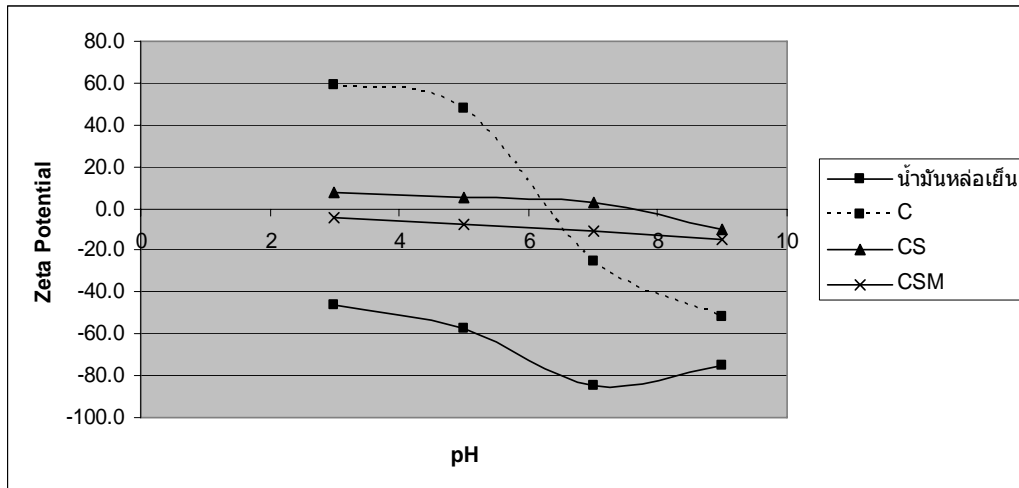
จะเห็นว่าการปรากฏพีคจะต่างจากพีคของ C และ CS จึงเป็นการยืนยันการสังเคราะห์ตัวดูดซับ CSM นั้นเอง



รูปที่ 4.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

4.3 การวัดประจุบนพื้นผิวของควมมีเสถียรภาพของน้ำมันหล่อเย็น และตัวดูดซับ

จากผลการศึกษาค่าซีต้าโพเทนเชียลของน้ำมันหล่อเย็น ที่แสดงในรูปที่ 4.5 พบว่า น้ำมันหล่อเย็นมีประจุเป็นลบตลอดช่วงที่ทำการศึกษา อธิบายได้ว่า น้ำมันหล่อเย็นจะมีเสถียรภาพลดลงในสภาวะที่เป็นกรด โดยเฉพาะที่พีเอชเท่ากับ 3 เสถียรภาพของน้ำมันหล่อเย็นจะลดลงมากที่สุด เนื่องจากค่าซีต้าโพเทนเชียลของน้ำมันหล่อเย็นมีประจุลบน้อยที่สุด



รูปที่ 4.5 ค่าซีต้าโพเทนเชียลของน้ำมันหล่อเย็น ตัวดูดซับ C, CS และ CSM ณ ระดับพีเอชต่างๆ

จากรูปที่ 4.5 แสดงค่าซีต้าโพเทนเชียลของตัวดูดซับ C, CS และ CSM ณ พีเอชต่างๆ โดยพบว่าค่า Isoelectric point ของตัวดูดซับแต่ละชนิดเป็นดังนี้

ชนิดตัวดูดซับ C มีค่า Isoelectric point ที่พีเอช 6.3, CS มีค่า Isoelectric point ที่พีเอช 7.5

จะเห็นว่าถ้า $\text{pH} < \text{Isoelectric point}$ ซีต้าโพเทนเชียลของตัวดูดซับนั้นๆ จะมีประจุเป็นบวก แต่ถ้า $\text{pH} > \text{Isoelectric point}$ ซีต้าโพเทนเชียลของตัวดูดซับนั้นๆ จะมีประจุเป็นลบ

ส่วนตัวดูดซับ CSM ไม่มีค่า Isoelectric point และมีค่าซีต้าโพเทนเชียลเป็นลบตลอดช่วงที่ทำการศึกษา โดยเป็นที่น่าสังเกตว่า ค่าซีต้าโพเทนเชียลของ CSM มีค่าน้อยลงเมื่อพีเอชเข้าสู่กรด

การที่ตัวดูดซับ CS และ CSM มีค่าซีต้าโพเทนเชียลลดลงโดยที่ต่างไปจากตัวดูดซับ C นั้น เนื่องจากหมู่ O^- ของโซเดียมลอริลซัลเฟตวิ่งเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของไคโตซาน จึงมีผลทำให้ค่าซีต้าโพเทนเชียลของตัวดูดซับลดลงไปจากเดิม เป็นผลทำให้เสถียรภาพของตัวดูดซับ CS และ CSM ลดลงซึ่งจะเป็นผลดีต่อการดูดซับ

4.4 การวัดความเป็นไฮโดรโฟบิกของตัวดูดซับ

การวัดความเป็นไฮโดรโฟบิกของตัวดูดซับชนิดต่างๆ สามารถกระทำโดยใช้การวัดด้วยเครื่อง Contact angle ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 4.1 จากการทดลองพบว่า ตัวดูดซับที่ให้ค่า Contact angle น้อยกว่าตัวอื่น คือ CSM ซึ่งหมายความว่า CSM มีความเป็นไฮโดรโฟบิกมากกว่าตัวดูดซับอื่น ส่วนตัวดูดซับที่ให้ค่า Contact angle มากกว่าตัวดูดซับชนิดอื่น คือ C แสดงว่า ตัวดูดซับ C มีความเป็นไฮโดรโฟบิกน้อยกว่าตัวดูดซับชนิดอื่น ลำดับความเป็นไฮโดรโฟบิกของตัวดูดซับต่างๆ เรียงตามลำดับ ดังนี้ CSM, CS และ C ตามลำดับ ซึ่งความเป็นไฮโดรโฟบิกมากจะบ่งบอกถึง

ความชอบน้ำมันหล่อเย็นมากโดยตัวดูดซับที่มีความชอบน้ำมันหล่อเย็นมากจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้ดีกว่าตัวดูดซับที่มีความชอบน้ำมันหล่อเย็นน้อย

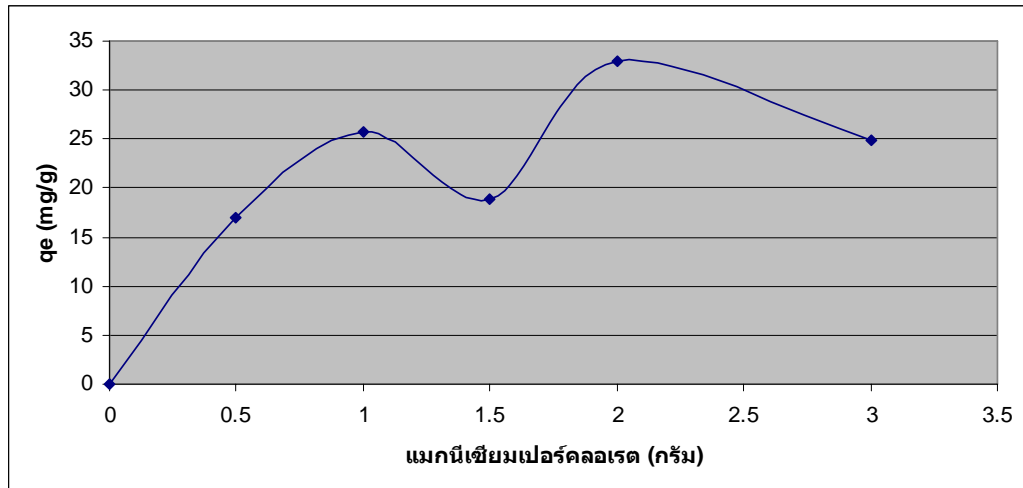
การที่ตัวดูดซับ CS และ CSM มีความเป็นไฮโดรโฟบิกมากขึ้น เพราะมีการตัดแปลงโครงสร้างโดยมีสายไฮโดรคาร์บอนที่ยาวขึ้นจากตัวดูดซับ C นั่นเอง

ตารางที่ 4.1 ความชอบน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับโดย Contact Angle

ชนิดตัวดูดซับ	ค่า Contact Angle					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
C	34	33.4	31.2	39.1	34.7	34.48
CS	13.5	16.7	11.3	8.5	19.2	13.84
CSM	12.5	7.6	10.9	9.3	9.3	9.92

4.5 ปริมาณการใส่แมกนีเซียมเปอร์คลอเรตลงในตัวดูดซับ CS

รูปที่ 4.6 แสดงผลของปริมาณแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต ($MgClO_4$) ที่เติมลงไปใน การเตรียมตัวดูดซับ CSM น้ำหนัก 6 กรัม ต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที พบว่าเมื่อเติมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต 2 กรัม ลงในขั้นตอนการเตรียมตัวดูดซับ CSM จะให้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เพราะเกลือ $MgClO_4$ จะช่วยทำให้การเข้าซิดกันของไคโตซานและโซเดียมลอริลซัลเฟตมีมากขึ้น และช่วยเพิ่มความเป็นรูพรุนของตัวดูดซับ แต่ถ้าเติม $MgClO_4$ มากเกินไป (มากกว่า 2 กรัม) จะทำให้ตัวดูดซับที่เตรียมได้มีความแน่นในเนื้อของตัวดูดซับมากเกินไปซึ่งจะไม่ดีต่อการดูดซับ

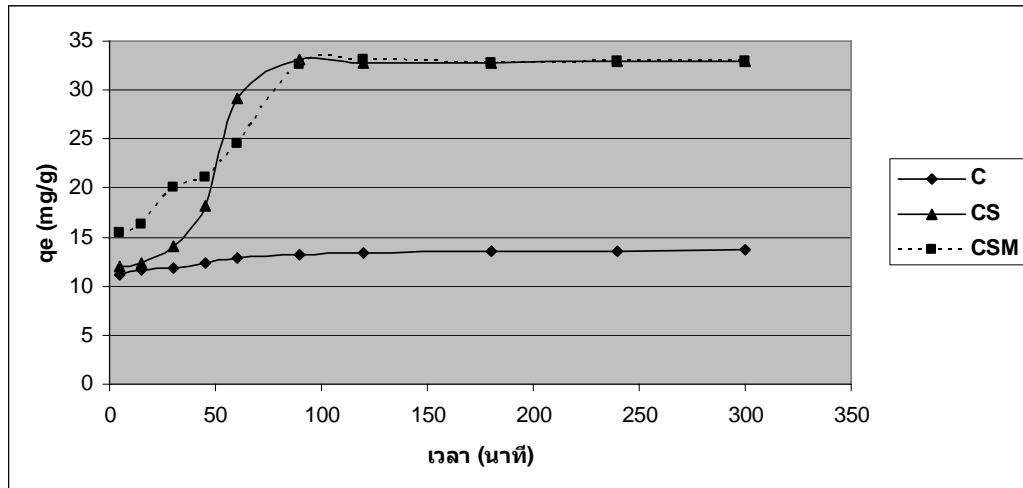


รูปที่ 4.6 ปริมาณแมกนีเซียมเปอร์คลอเรตกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ CSM น้ำหนัก 6 กรัม ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

4.6 ผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับในน้ำเสียสังเคราะห์

4.6.1 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

รูปที่ 4.7 แสดงเวลาความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM (เติม $MgClO_4$ 2 กรัม) น้ำหนัก 6 กรัม ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นนานขึ้นเป็น 300 นาที จะทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ CSM, CS และ C สูงขึ้น ตามลำดับ อธิบายได้ว่าเวลาที่ใช้ในการดูดซับนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับนั้นๆ เมื่อระยะเวลาในการที่ตัวดูดซับสัมผัสกับน้ำมันหล่อเย็นนานขึ้นจะทำให้หยดน้ำมันเกิดการแตกตัวเพิ่มขึ้น จึงทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำมันมีขนาดเล็กลงซึ่งจะทำให้น้ำมันหล่อเย็นมีพื้นที่ที่จะถูกดูดซับโดยตัวดูดซับได้เพิ่มขึ้น (Michael et al., 1994) และแพร่เข้าสู่รูพรุนของตัวดูดซับได้มากขึ้นด้วย

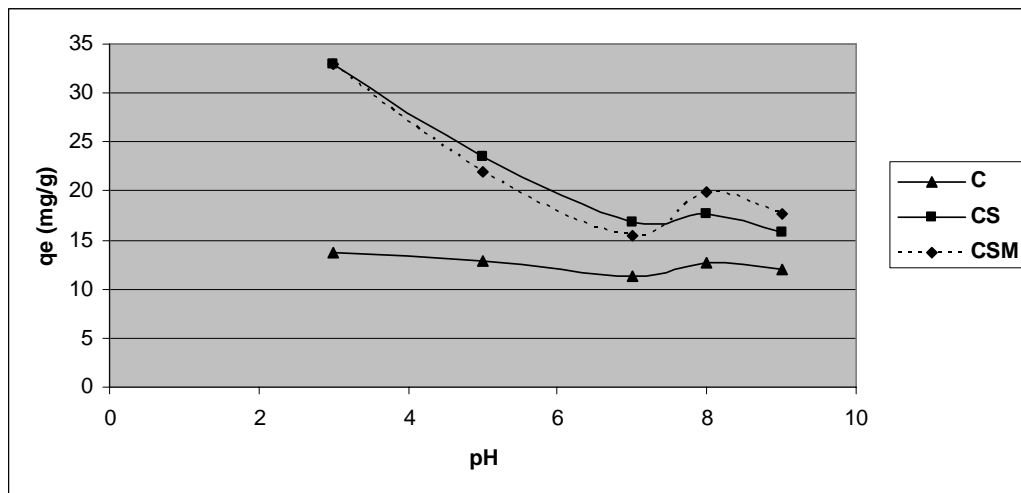


รูปที่ 4.7 เวลากับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM น้ำหนัก 6 กรัม ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

4.6.2 ค่าพีเอช

รูปที่ 4.8 แสดงพีเอชกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM น้ำหนัก 6 กรัม เวลาในการดูดซับ 300 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า ตัวดูดซับ CSM มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุด รองลงมาคือ CS และ C ตามลำดับ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่ 33.0, 32.9 และ 13.7 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ค่าพีเอชมีผลต่อความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ซึ่งตัวดูดซับ CS และ CSM ดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 3 ส่วนตัวดูดซับ C ดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่พีเอชต่างๆ ได้ใกล้เคียงกันโดยดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 3 เช่นเดียวกับ CS และ CSM เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรดหมู่อะมิโนของไคโตซานถูกโปรโตเนตให้มีประจุเป็น NH_3^+ (รับ H^+ จากกรด) ซึ่งทำให้มีประจุเป็นบวก จึงมีความสามารถในการดูดซับได้ดี และผลจากค่าซีต้าโพเทนเชียล (ดังแสดงในรูปที่ 4.5) พบว่า ตัวดูดซับ C จะมีประจุเป็นบวกเมื่อพีเอชมีค่าน้อยกว่า 6.3 ส่วน CS จะมีประจุเป็นบวกเมื่อพีเอชมีค่าน้อยกว่า 7.5 จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้ดี ส่วนตัวดูดซับ CSM มีค่าซีต้าโพเทนเชียลในช่วง -4.6 ถึง -14.7 ซึ่งจะส่งผลบวกต่อการดูดซับ เพราะค่าซีต้าโพเทนเชียลของ CSM ยังมีประจุเป็นลบอยู่ในช่วง -30 ถึง +30 ซึ่งยังไม่มีเสถียรภาพในขณะเดียวกันกับที่พีเอชที่เป็นกรด และผลจากการหาค่าซีต้าโพเทนเชียลของน้ำมันหล่อเย็นพบว่า น้ำมันหล่อเย็นจะมีเสถียรภาพลดลง โดยเฉพาะที่พีเอชเท่ากับ 3 เสถียรภาพของน้ำมันหล่อ

เย็นจะลดลงมากที่สุด เนื่องจากค่าซีดีโพเทนเชียลของน้ำมันหล่อเย็นมีประจุเป็นลบลดน้อยลงมากที่สุด ดังนั้น จึงเป็นเหตุผลเสริมกันทำให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้ดี ในสภาวะที่เป็นกรด ตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด จะมีความสามารถในการดูดซับลดลงเมื่อพีเอชเข้าสู่ค่าซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองของ Ahmad et al. ที่กล่าวไว้ว่า ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อค่าพีเอชมากกว่า 5 เนื่องจากโคโคซานถูกทำลายเสถียรภาพ (Ahmad et al., 2005)

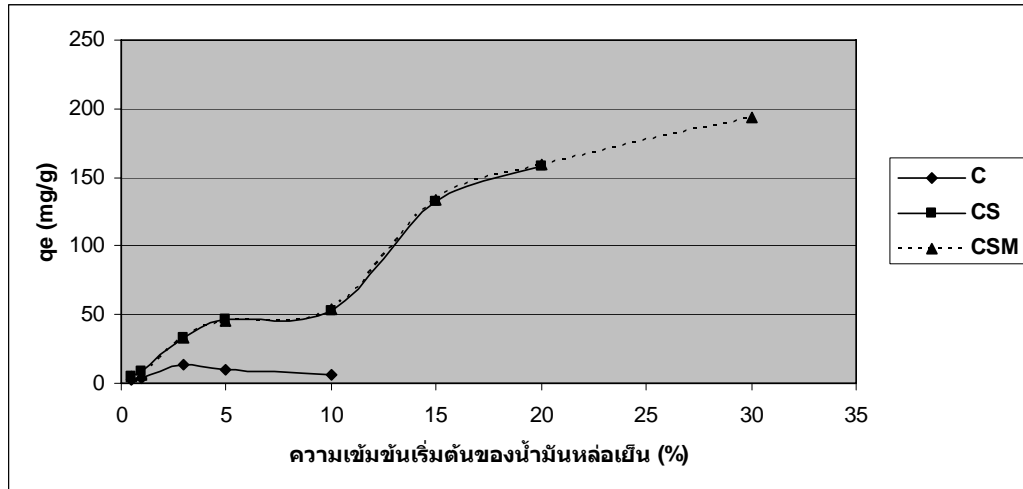


รูปที่ 4.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM น้ำหนัก 6 กรัม ที่ค่าพีเอชต่างๆ โดยใช้เวลาในการดูดซับ 300 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

4.6.3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น

รูปที่ 4.9 แสดงความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า C, CS และ CSM มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นเท่ากับ 3, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่ 13.7, 158.4, 193.7 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ตัวดูดซับ C, CS และ CSM มีความอึดตัวจากการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นที่ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับ CSM และ CS มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงถึง 30 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นสูงกว่าตัวดูดซับ C ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นอึดตัวที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 10 เปอร์เซ็นต์ การที่เพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นแล้วทำ

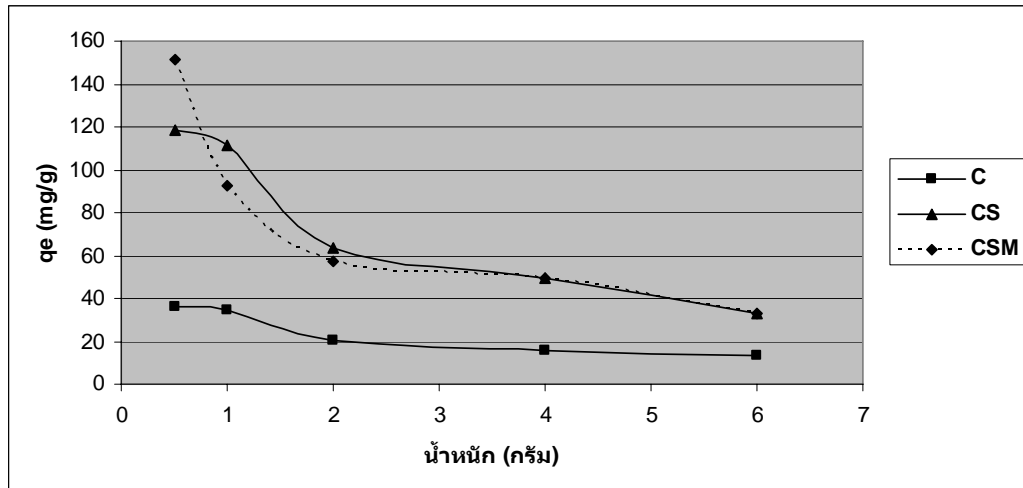
ให้ความสามารถในการดูดซับมากขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นสูง จะทำให้น้ำมันหล่อเย็นเกิดการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มรอบๆ อนุภาค และรูพรุนของตัวดูดซับได้มากขึ้น (Ahmad et al., 2005) จึงทำให้เกิดการดูดซับได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM น้ำหนัก 6 กรัม เวลาในการดูดซับ 4320 นาที ที่พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

4.6.4 น้ำหนักของตัวดูดซับ

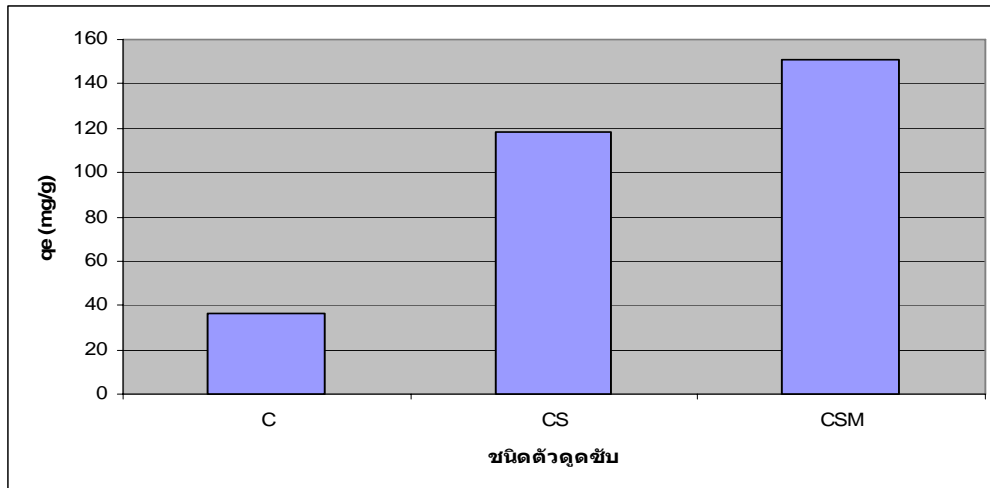
รูปที่ 4.10 แสดงน้ำหนักกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM ที่เวลา 300 นาที พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า ที่น้ำหนักตัวดูดซับ 0.5 กรัม ตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ C, CS และ CSM มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นมากที่สุด เนื่องจากความสามารถในการดูดซับ (q_e) หาได้จากความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นที่เท่ากัน ปริมาณน้ำมันหล่อเย็นที่เท่ากัน แต่หารด้วยน้ำหนักตัวดูดซับที่ต่างกัน ส่วนน้ำหนักตัวดูดซับที่ 2, 4 และ 6 กรัม ให้ความสามารถในการดูดซับไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ถ้าหากพิจารณาโดยใช้ระยะเวลาหรือความเร็วในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นจะพบว่าเมื่อใช้ตัวดูดซับที่มากขึ้น น้ำมันหล่อเย็นจะถูกดูดซับได้เร็วกว่าในกรณีที่ใช้ตัวดูดซับน้อย



รูปที่ 4.10 น้ำหนักของตัวดูดซับกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นบนตัวดูดซับ C, CS และ CSM ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

4.6.5 ชนิดของตัวดูดซับ

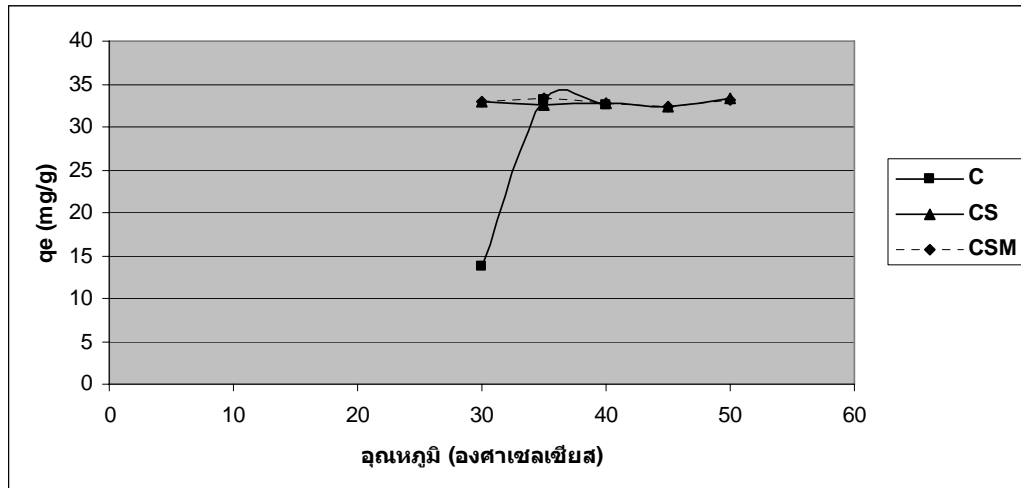
รูปที่ 4.11 แสดงชนิดของตัวดูดซับกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM น้ำหนัก 0.5 กรัม ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที จากผลการทดลองพบว่า ตัวดูดซับ CSM มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นมากที่สุด รองลงมา คือ CS และ C ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาความชอบน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับที่พบว่า CSM มีความชอบน้ำมันหล่อเย็นมากที่สุด รองลงมา คือ CS และ C ตามลำดับ นั่นคือ CSM สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุด รองลงมา คือ CS และ C ตามลำดับ และค่าความร้อนของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นโดย Bombcalorimeter (ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ) พบว่า CSM มีค่าความร้อนหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นมากที่สุด รองลงมา คือ CS และ C ตามลำดับ นั่นคือ CSM สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุด รองลงมา คือ CS และ C ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ชนิดของตัวดูดซับกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM น้ำหนัก 0.5 กรัม ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

4.6.6 อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นบนตัวดูดซับ C จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 35 และ 40 องศาเซลเซียส (ดังแสดงในรูปที่ 4.12) ซึ่งจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นมากที่สุด คือ 33.1 และ 32.5 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ความสามารถในการดูดซับของ CS และ CSM มีความสามารถในการดูดซับมากที่สุดที่อุณหภูมิ 50 และ 35 องศาเซลเซียส (35 และ 50 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการดูดซับที่ใกล้เคียงกัน) ตามลำดับ โดยที่ C, CS และ CSM จะดูดความร้อนเข้าไปภายในระบบเพื่อช่วยในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากขึ้น จัดว่าเป็นกระบวนการดูดความร้อน และการที่เพิ่มอุณหภูมิในการดูดซับนั้นจะทำให้เวลาในการดูดซับเพื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลนั้นเร็วขึ้นด้วย

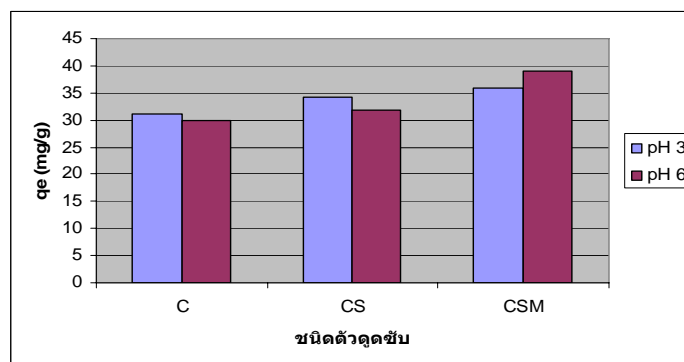


รูปที่ 4.12 อุณหภูมิกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ C, CS และ CSM ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการดูดซับ 300 นาที

4.7 ศึกษาการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับในน้ำเสียจริง

ผลการศึกษาการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียจริง (ดังแสดงในรูปที่ 4.13) โดยใช้ตัวดูดซับดูดซับน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียจริงที่สภาวะปกติ (พีเอช 6) และเลือกสภาวะที่ดีที่สุดของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิดในน้ำเสียสังเคราะห์ (พีเอช 3) โดยใช้ตัวดูดซับอย่างละ 6 กรัม

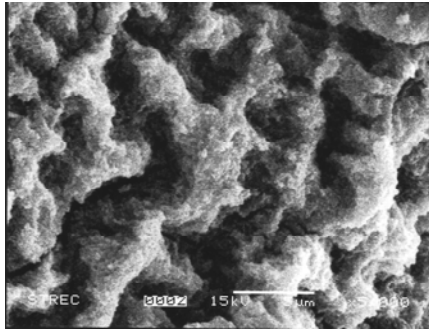
จากรูป 4.13 พบว่า ที่พีเอชปกติของน้ำเสียจริง และที่พีเอช 3 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นเรียงตามลำดับ คือ CSM มากกว่า CS มากกว่า C



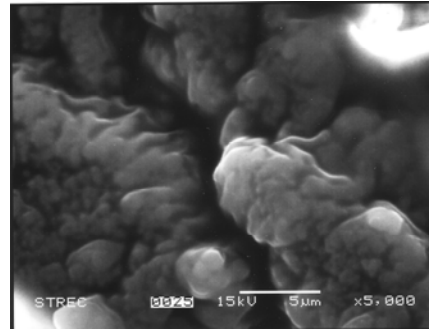
รูปที่ 4.13 พีเอชกับความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับน้ำหนัก 6 กรัม ในน้ำเสียจริงที่พีเอช 3 และพีเอช 6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 2.44 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 1320 นาที

4.8 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นจากการถ่ายภาพด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)

จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) (ดังแสดงในรูปที่ 4.14 - 4.16) พบว่า ก่อนการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นพื้นผิวของตัวดูดซับจะมีลักษณะขรุขระ มีช่องว่างและมีรูพรุน หลังจากดูดซับน้ำมันหล่อเย็นแล้วพื้นผิวของตัวดูดซับจะมีลักษณะเหมือนรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและมีความเรียบเนียนขึ้น เพราะบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับถูกปกคลุมด้วยน้ำมันหล่อเย็นซึ่งน้ำมันหล่อเย็นจะไหลผ่านไปยังบริเวณช่องว่างและรูพรุนของตัวดูดซับนั้น จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบได้ว่าก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นนั้น พื้นผิวของตัวดูดซับจะมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน



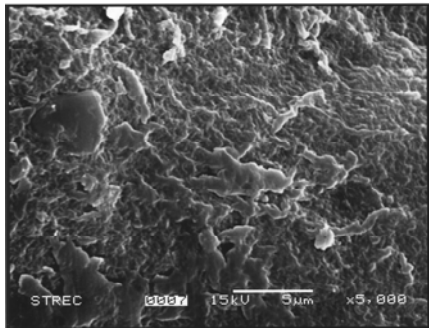
(ก)



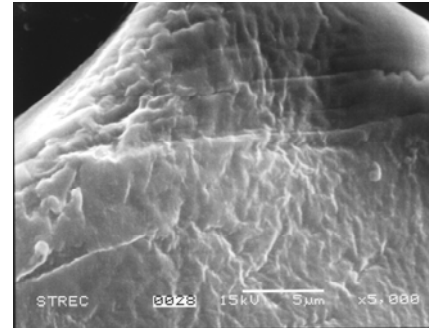
(ข)

รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายของไคโตซานบีด (C) ก่อน (ก) และหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (ข)

(กำลังขยาย 5,000 เท่า)



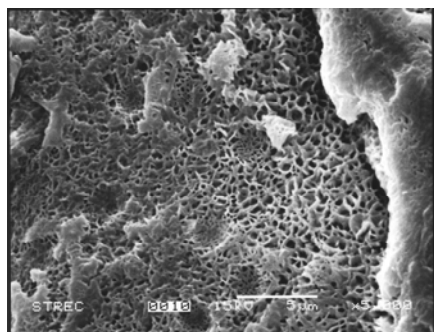
(ก)



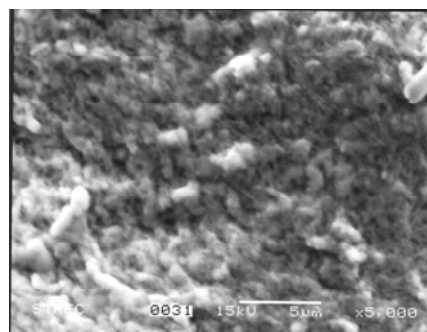
(ข)

รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายของไคโตซานผสมโซเดียมลอริลซัลเฟต (CS) ก่อน (ก) และหลังการดูดซับ

น้ำมันหล่อเย็น (ข) (กำลังขยาย 5,000 เท่า)



(ก)



(ข)

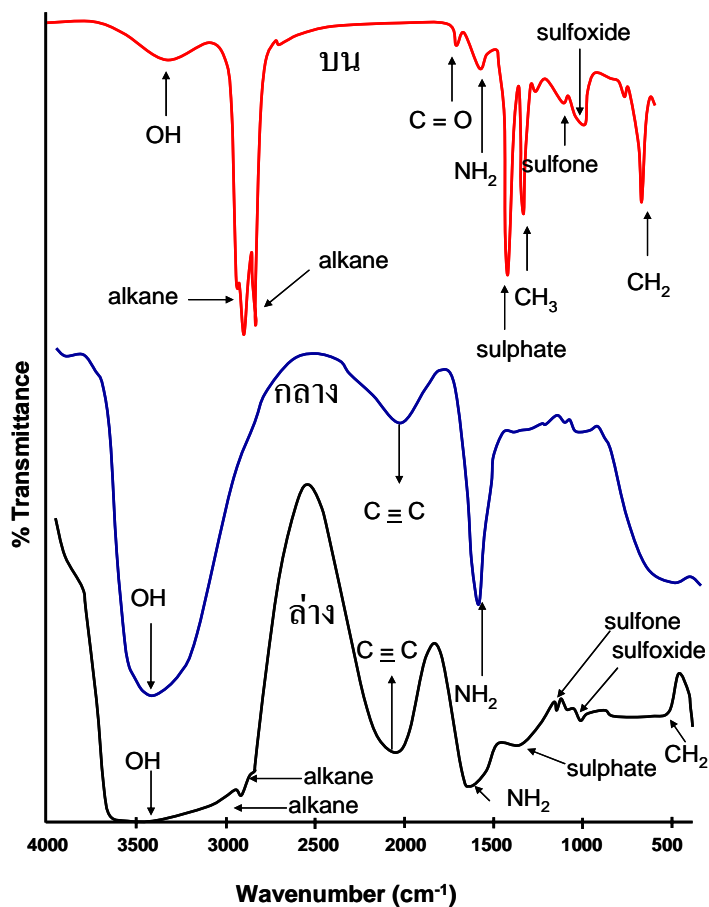
รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายของโคโคซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และ โซเดียมลอริลซัลเฟต (CSM) ก่อน (ก) และหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (ข) (กำลังขยาย 5,000 เท่า)

4.9 เปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลงของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

เมื่อตัวดูดซับดูดซับน้ำมันหล่อเย็นแล้วจะปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันหล่อเย็นบนตัวดูดซับ สามารถวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ดังแสดงในรูปที่ 4.17-4.19

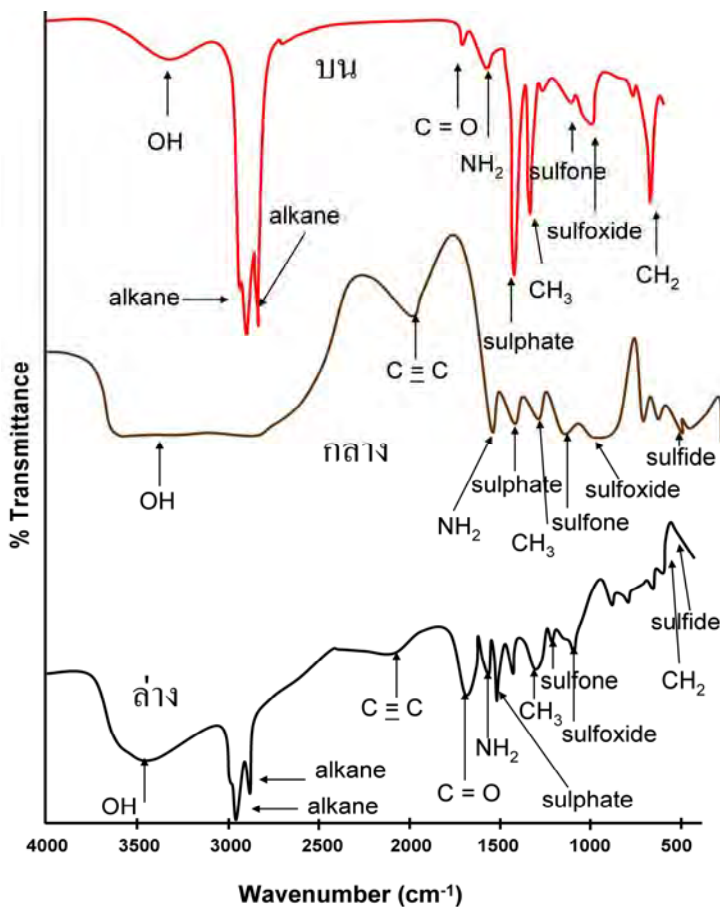
องค์ประกอบหลักของน้ำมันหล่อเย็นเป็น mineral oil ปรากฏพีคหมู่ O-H ที่ 3400 cm^{-1} หมู่แอลเคนที่ 2925 และ 2855 cm^{-1} หมู่ C=O ที่ 1700 cm^{-1} หมู่ NH_2 ที่ 1550 cm^{-1} หมู่ S=O (ซัลเฟต ซัลโฟน ซัลฟอกไซด์ 1450 , 1150 และ 1050 cm^{-1} ตามลำดับ) หมู่ CH_3 ที่ 1375 cm^{-1} และ หมู่ CH_2 ที่ 720 cm^{-1}

รูปที่ 4.17 แสดงองค์ประกอบหลักของโคโคซานปิด (C) ปรากฏพีคหมู่ O-H ที่ 3450 cm^{-1} หมู่ $\text{C}\equiv\text{C}$ ที่ 2100 cm^{-1} หมู่ C=O ที่ 1700 cm^{-1} ภายหลังจากการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นแล้วจะปรากฏพีคแอลเคน หมู่ S=O (ซัลเฟต ซัลโฟน ซัลฟอกไซด์ 1450 , 1150 และ 1050 cm^{-1} ตามลำดับ) และหมู่ CH_2 ที่ 720 cm^{-1} แสดงให้เห็นได้ว่า C สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้เพราะปรากฏพีคของน้ำมันหล่อเย็น



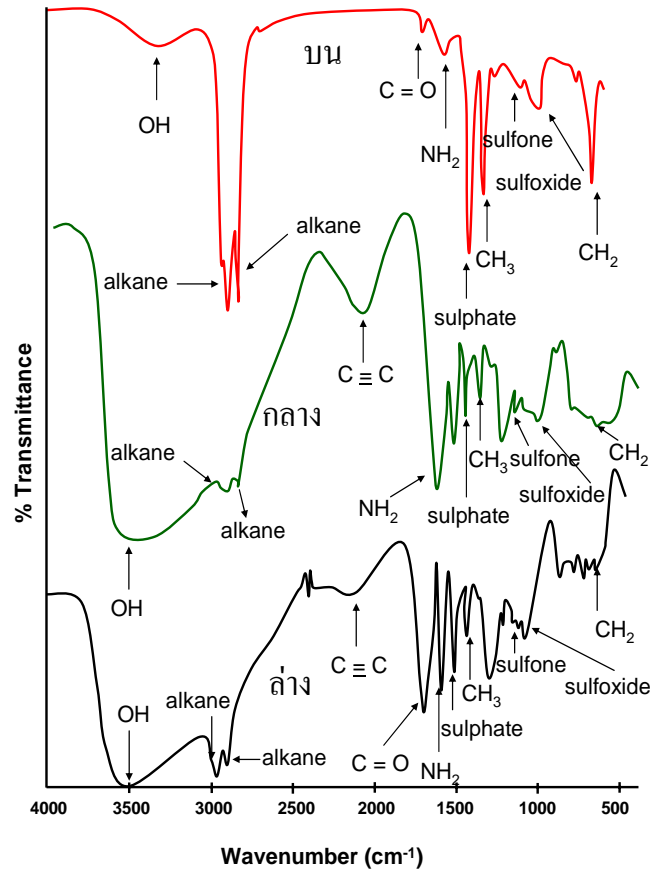
รูปที่ 4.17 หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันหล่อเย็น (บน) หมู่ฟังก์ชันของ C ก่อนการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (กลาง) หมู่ฟังก์ชันของ C หลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (ล่าง)

รูปที่ 4.18 แสดงองค์ประกอบหลักของไคโตซานผสมโซเดียมลอริลซัลเฟต (CS) ปรากฏพีก หมู่ O-H ที่ 3450 cm^{-1} หมู่ $\text{C}\equiv\text{C}$ ที่ 2100 cm^{-1} หมู่ NH_2 ที่ 1550 cm^{-1} หมู่ S=O (ซัลเฟต ซัลโฟน ซัลฟอกไซด์) 1450 1150 และ 1050 cm^{-1} ตามลำดับ) หมู่ CH_3 ที่ 1375 cm^{-1} หมู่ซัลไฟด์ 550 cm^{-1} ภายหลังจากการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นแล้วจะปรากฏพีกแอลเคน ที่ 2925 และ 2855 cm^{-1} หมู่ C=O ที่ 1700 และหมู่ CH_2 ที่ 720 cm^{-1} แสดงให้เห็นได้ว่า CS สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้เพราะปรากฏพีกของน้ำมันหล่อเย็น



รูปที่ 4.18 หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันหล่อเย็น (บน) หมู่ฟังก์ชันของ CS ก่อนการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (กลาง) หมู่ฟังก์ชันของ CS หลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (ล่าง)

รูปที่ 4.19 แสดงองค์ประกอบหลักของไคโตซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และโซเดียมคลอไรด์เฟต (CSM) ปรากฏพีกหมู่ O-H ที่ 3450 cm^{-1} หมู่แอลเคนที่ 2925 และ 2855 cm^{-1} หมู่ $\text{C}\equiv\text{C}$ ที่ 2100 cm^{-1} หมู่ NH_2 ที่ 1550 cm^{-1} หมู่ $\text{S}=\text{O}$ (ซัลเฟต ซัลโฟน ซัลฟอกไซด์ 1450 1150 และ 1050 cm^{-1} ตามลำดับ) หมู่ CH_3 ที่ 1375 cm^{-1} หมู่ CH_2 ที่ 720 cm^{-1} ภายหลังจากการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นแล้วจะปรากฏพีกหมู่ $\text{C}=\text{O}$ ที่ 1700 cm^{-1} แสดงให้เห็นได้ว่า CSM สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้เพราะปรากฏพีกของน้ำมันหล่อเย็น



รูปที่ 4.19 หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันหล่อเย็น (บน) หมู่ฟังก์ชันของ CSM ก่อนการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (กลาง) หมู่ฟังก์ชันของ CSM หลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (ล่าง)

4.10 ค่าความร้อนของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นโดย Bombcalorimeter

ตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ไคโตซานบีด (C) ไคโตซานผสมโซเดียมลอร์ลิซัลเฟต (CS) ไคโตซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และโซเดียมลอร์ลิซัลเฟต (CSM) หลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นแล้วจะมีค่าความร้อนมากกว่าก่อนการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น (ดังแสดงในตารางที่ 4.2) และตัวดูดซับ CSM มีค่าความร้อนหลังจากดูดซับน้ำมันหล่อเย็นมากที่สุด รองลงมา คือ CS และ C ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนหลังการดูดซับมาก แสดงว่า ตัวดูดซับสามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากนั่นเอง

ตารางที่ 4.2 ค่าความร้อนของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ชนิด ตัวดูดซับ	ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกรัม)		เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์	
	ก่อนดูดซับ น้ำมันหล่อเย็น	หลังดูดซับ น้ำมันหล่อเย็น	ก่อนดูดซับ น้ำมันหล่อเย็น	หลังดูดซับ น้ำมันหล่อเย็น
C	13.159	14.053	0.000	0.010
CS	15.015	37.615	0.150	0.290
CSM	15.312	42.538	0.190	0.340

4.11 การวิเคราะห์ระบบการดูดซับโดยอาศัยพื้นฐานทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษารูปแบบไอโซเทิร์มการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir) และฟรูนดลิช (Freundlich)

จากตาราง 4.3 พบว่า ตัวดูดซับ C และ CS มีไอโซเทิร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์ มีค่า R_L ที่ได้จากสมการแลงเมียร์ เท่ากับ 0.333 ค่าที่ได้บ่งบอกถึงลักษณะไอโซเทิร์มของแลงเมียร์ว่าชอบไอโซเทิร์มแบบแลงเมียร์ เพราะค่า $0 < R_L < 1$ ซึ่งตัวดูดซับ CS มีปริมาณน้ำมันหล่อเย็นที่ถูกดูดซับได้สูงสุดถึง 133.3 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนตัวดูดซับ CSM มีไอโซเทิร์มของการดูดซับแบบฟรูนดลิช ค่า n ของ CSM จากสมการที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 3.690 ซึ่งค่าความชันสามารถบอกถึงความสามารถในการดูดซับได้ โดยสมการไอโซเทิร์มของฟรูนดลิชที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ นั้น ถ้า $n > 1$ แสดงถึงว่า ตัวดูดซับที่ใช้มีความสามารถในการดูดซับตัวถูกละลายหรือตัวถูกดูดซับได้ดีเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น และถ้า $1 < n < 10$ แสดงว่าปฏิกิริยาการดูดซับกำลังดำเนินไปได้ด้วยดี แต่ถ้า $1/n$ มีค่าน้อยกว่า 1 มากๆ ($1/n \ll 1$) ความสามารถในการกำจัดจะค่อยๆลดลงตามความเข้มข้นที่น้อยลงด้วย (Samul และ Osman, 1987) จะเห็นว่า ตัวดูดซับ CSM และ CS มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้ดี

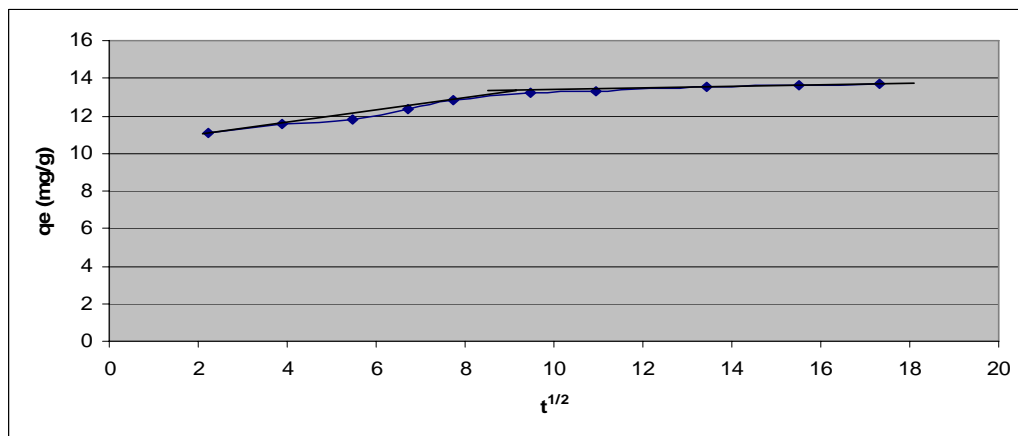
ตารางที่ 4.3 ผลข้อมูลจากการศึกษาไอโซเทิร์มของการดูดซับ

ชนิดตัวดูดซับ	Langmuir constants ($\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_0} + \frac{C_e}{q_0}$)			Freundlich constants ($q_e = KC_e^{\frac{1}{n}}$)		
	q_0 (mg/g)	R_L	R^2	K	n	R^2
C	20.5	0.333	0.965	11.1	1.299	0.2825
CS	133.3	0.333	0.9734	98.3	3.554	0.7877
CSM	76.9	0.011	0.6507	87.7	3.690	0.9944

4.12 การแพร่ผ่านของตัวถูกดูดซับไปยังอนุภาคภายในของตัวดูดซับ (Intraparticle diffusion)

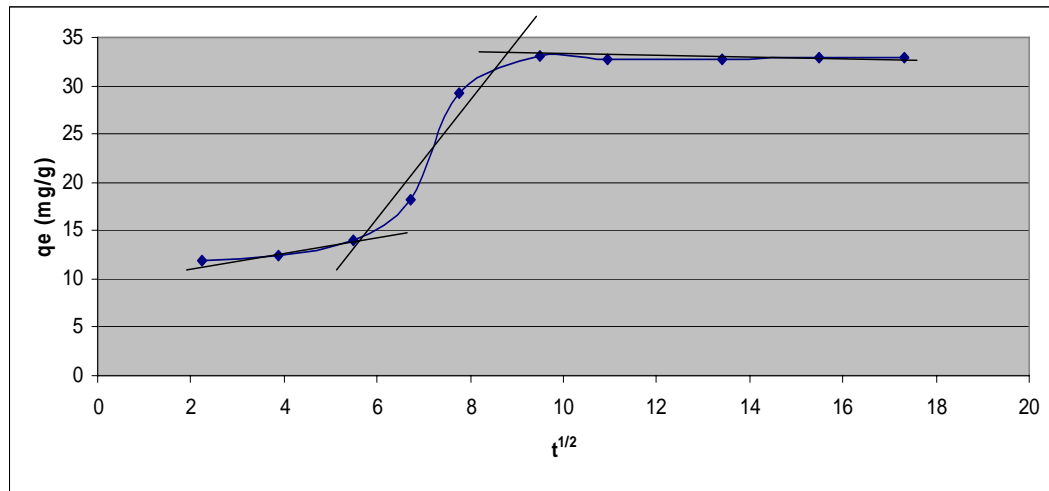
การศึกษาการแพร่ผ่านของตัวถูกดูดซับไปยังอนุภาคภายในของตัวดูดซับทำให้ทราบว่าตัวดูดซับมีขั้นตอนที่ใช้ในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นอย่างไรเป็นการดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับหรือเป็นการดูดซับไปถึงอนุภาคภายในของตัวดูดซับชนิดนั้นๆ

การดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของโคโตซานบีด (C) มีขั้นตอนในการดูดซับ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก เป็นขั้นตอนในการแพร่ผ่านของน้ำมันหล่อเย็นไปที่พื้นผิวภายนอกของตัวดูดซับซึ่งเป็นการดูดซับที่ผิว ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนที่การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลของการดูดซับ (ดังแสดงในรูปที่ 4.20)



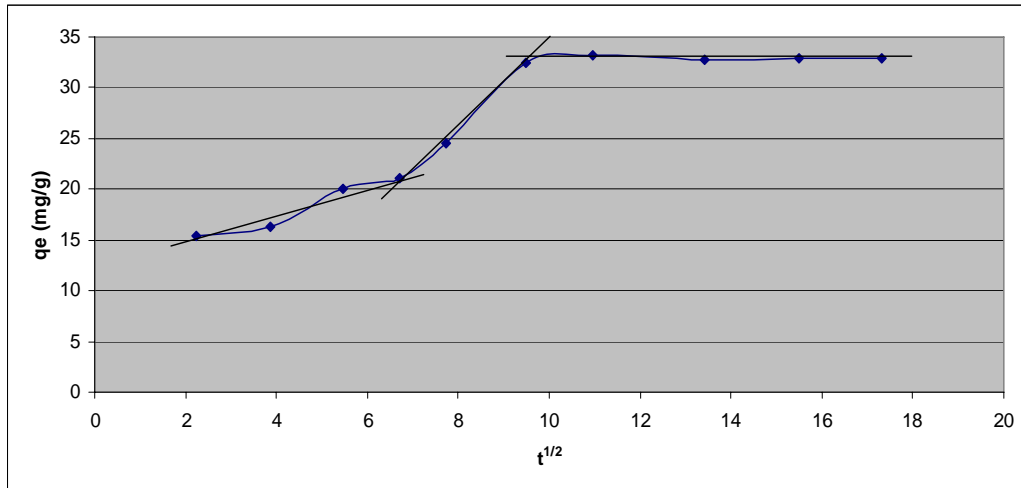
รูปที่ 4.20 ขั้นตอนในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของ C น้ำหนัก 6 กรัม ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที ในน้ำเสียสังเคราะห์

การดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของไคโตซานผสมโซเดียมลอริลซัลเฟต (CS) มีขั้นตอนในการดูดซับ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก เป็นขั้นตอนในการแพร่ผ่านของน้ำมันหล่อเย็นไปที่พื้นผิวภายนอกของตัวดูดซับอย่างรวดเร็ว (ที่เวลาเพียง 30 นาที เมื่อเทียบกับ C ที่เวลา 60 นาที) ซึ่งเป็นการดูดซับที่ผิว ขั้นตอนที่สองเป็นการแพร่ผ่านของน้ำมันหล่อเย็นไปยังอนุภาคภายในของตัวดูดซับ ซึ่งจัดเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราการดูดซับ และจัดเป็นขั้นตอนการดูดซับที่เสร็จสิ้นสมบูรณ์ โดยที่ขั้นตอนนี้ไม่ได้มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับแต่อย่างใด ขั้นตอนที่สามเป็นขั้นตอนที่การดูดซับเข้าสู่ภาวะสมดุลของการดูดซับ (ดังแสดงในรูปที่ 4.21)



รูปที่ 4.21 ขั้นตอนในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของ CS น้ำหนัก 6 กรัม ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที ในน้ำเสียสังเคราะห์

การดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของไคโตซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และโซเดียมลอริลซัลเฟต (CSM) มีขั้นตอนในการดูดซับ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก เป็นขั้นตอนในการแพร่ผ่านของน้ำมันหล่อเย็นไปที่พื้นผิวภายนอกของตัวดูดซับซึ่งเป็นการดูดซับที่ผิว ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนที่การดูดซับเข้าสู่ภาวะสมดุลของการดูดซับ (ดังแสดงในรูปที่ 4.22)



รูปที่ 4.22 ขั้นตอนในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของ CSM น้ำหนัก 6 กรัม ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที ในน้ำเสียสังเคราะห์

4.13 การศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์ของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด โดยศึกษาที่ระดับพีเอชต่างๆ (3, 5, 7, 8 และ 9) ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น (0.5, 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์) น้ำหนักตัวดูดซับ (0.5, 1, 2, 4 และ 6 กรัม) อุณหภูมิในการดูดซับ (30, 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส)

4.13.1 พลังงานกิบบส์ของโคโคซานบีด (C)

ที่พีเอช 3, 5, 7, 8 และ 9 ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในน้ำเสียสังเคราะห์ ตัวดูดซับ C มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -6.0, -5.7, -5.3, -5.9 และ -5.5 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.4) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยที่พีเอช 3 มีค่าพลังงานกิบบส์มากที่สุด เนื่องจากที่สภาวะนี้ตัวดูดซับ C จะถูกโปรโตเนตให้เป็นประจุบวกทำให้ที่พีเอช 3 ดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุด

ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่ 0.5, 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในน้ำเสียสังเคราะห์ ตัวดูดซับ C มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -5.6, -5.3, -5.1, -3.7 และ -1.6 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.5) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยที่ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานกิบบส์มากที่สุด

ตารางที่ 4.4 พลังงานกิบบส์ของ C ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 3 เปอร์เซนต์ น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	pH				
สถานะควบคุม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 3 เปอร์เซนต์ น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที				
ระดับ pH	pH 3	pH 5	pH 7	pH 8	pH 9
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-6.0	-5.7	-5.3	-5.9	-5.5

ตารางที่ 4.5 พลังงานกิบบส์ของ C พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์				
สถานะควบคุม	พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที				
ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น	0.5%	1%	3%	5%	10%
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-5.6	-5.3	-5.1	-3.7	-1.6

น้ำหนัก C ที่ 0.5, 1, 2, 4 และ 6 กรัม พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในน้ำเสียดังเคราะห์ ตัวดูดซับ C มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -7.4, -7.5, -6.2, -6.1 และ -6.1 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.6) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง

ตารางที่ 4.6 พลังงานกิบบส์ของ C ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์

3 เปอร์เซนต์ พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	น้ำหนักตัวดูดซับ				
สถานะควบคุม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 3 เปอร์เซนต์ พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที				
ระดับน้ำหนักตัวดูดซับ	0.5 กรัม	1 กรัม	2 กรัม	4 กรัม	6 กรัม
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-7.4	-7.5	-6.2	-6.1	-6.1

ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซนต์ ที่อุณหภูมิ 30, 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส พีเอช 3 ในน้ำเสียดังเคราะห์ ตัวดูดซับ C มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -5.1, -18.3, -15.9, -3.3 และ -7.3 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.7) แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีค่าพลังงานกิบบส์มากที่สุด มีค่าปริมาณความร้อนเท่ากับ 305.4 กิโลจูลต่อโมล ($H > 0$) แสดงว่าเป็นกระบวนการดูดความร้อน สำหรับค่าเอนโทรปีมีค่าเป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบนี้มีความไม่เป็นระเบียบมากขึ้น

ที่พีเอช 3 และ 6 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในน้ำเสียดังเคราะห์ ตัวดูดซับ C มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -9.9 และ -9.5 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยที่พีเอช 3 มีค่าพลังงานกิบบส์มากกว่าที่พีเอช 6 (พีเอชของน้ำเสียดังเคราะห์) เพราะที่พีเอช 3 ตัวดูดซับ C จะถูกโปรโตเนตเป็นประจุบวกทำให้สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้ดี

ตารางที่ 4.7 พลังงานกิบบส์ของ C ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	อุณหภูมิในการดูดซับ				
สภาวะควบคุม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม เวลาในการดูดซับ 300 นาที				
ระดับอุณหภูมิในการดูดซับ	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-5.1	-18.3	-15.9	-3.3	-7.3
ปริมาณความร้อน (H) (kJ/mol)	305.4	305.4	305.4	305.4	305.4
เอนโทรปี (S) (kJ/mol*1/K)	1.027	1.051	1.027	0.971	0.968

ตารางที่ 4.8 พลังงานกิบบส์ของ C ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 2.44 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	พีเอช	
สภาวะควบคุม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 2.44 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที	
ระดับพีเอช	pH 3	pH 6
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-9.9	-9.5

4.13.2 พลังงานกิบบส์ของไลโคซานผสมโซเดียมลอริลซัลเฟต (CS)

ที่พีเอช 3, 5, 7, 8 และ 9 ความเข้มข้นน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในน้ำเสียดังเคราะห์ ตัวดูดซับ CS มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -18.7, -9.2, -7.0, -7.2 และ -6.7 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.9) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยที่พีเอช 3 มีค่าพลังงานกิบบส์มากที่สุด เนื่องจากที่

สภาวะนี้ตัวดูดซับ CS จะถูกโปรโตเนตเป็นประจุบวกทำให้ที่พีเอช 3 ดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.9 พลังงานกิบบส์ของ CS ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	pH				
สภาวะควบคุม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที				
ระดับ pH	pH 3	pH 5	pH 7	pH 8	pH 9
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-18.7	-9.2	-7.0	-7.2	-6.7

ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่ 0.5, 1, 3, 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในน้ำเสียสังเคราะห์ ตัวดูดซับ CS มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -9.5, -11.0, -15.6, -20.4, -15.2, -16.2 และ -15.3 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.10) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยที่ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานกิบบส์มากที่สุด

น้ำหนัก CS ที่ 0.5, 1, 2, 4 และ 6 กรัม พีเอช 3 ความเข้มข้นน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในน้ำเสียสังเคราะห์ตัวดูดซับ CS มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -11.9, -12.0, -11.1, -17.7 และ -17.5 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.11) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง

ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30, 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส ตัวดูดซับ CS มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -15.6, -16.2, -17.6, -16.4 และ -22.4 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.12) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าพลังงานกิบบส์มากที่สุด มีค่าปริมาณความร้อนเท่ากับ 115.4 กิโลจูลต่อโมล ($H > 0$) แสดงว่าเป็นกระบวนการดูดความร้อน สำหรับค่าเอนโทรปีมีค่าเป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยาในระบบนี้มีความไม่เป็นระเบียบมาก

ตารางที่ 4.10 พลังงานกิบบส์ของ CS พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น ในน้ำเสียสังเคราะห์						
สภาวะควบคุม	พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิ ในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที						
ระดับความเข้มข้น เริ่มต้นของน้ำมัน หล่อเย็น	0.5%	1%	3%	5%	10%	15%	20%
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-9.5	-11.0	-15.6	-20.4	-15.2	-16.2	-15.3

ตารางที่ 4.11 พลังงานกิบบส์ของ CS ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	น้ำหนักตัวดูดซับ				
สภาวะควบคุม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที				
ระดับน้ำหนัก ตัวดูดซับ	0.5 กรัม	1 กรัม	2 กรัม	4 กรัม	6 กรัม
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-11.9	-12.0	-11.1	-17.7	-17.5

ตารางที่ 4.12 พลังงานกิบบส์ของ CS ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	อุณหภูมิในการดูดซับ				
สภาวะควบคุม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 เวลาในการดูดซับ 300 นาที				
ระดับอุณหภูมิในการดูดซับ	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-15.6	-16.2	-17.6	-16.4	-22.4
ปริมาณความร้อน (H) (kJ/mol)	115.4	115.4	115.4	115.4	115.4
เอนโทรปี (S) (kJ/mol*1/K)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

ที่พีเอช 3 และ 6 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในน้ำเสียดังเคราะห์ ตัวดูดซับ CS มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -11.2 และ -10.2 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.13) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยที่พีเอช 3 มีค่าพลังงานกิบบส์มากกว่าที่พีเอช 6 (พีเอชของน้ำเสียดังเคราะห์) เพราะที่พีเอช 3 ตัวดูดซับ CS จะถูกโปรโตเนตเป็นประจุบวกทำให้สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้ดี

ตารางที่ 4.13 พลังงานกิบบส์ของ CS ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 2.44 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	พีเอช	
สภาวะควบคุม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 2.44 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที	
ระดับพีเอช	pH 3	pH 6
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-11.2	-10.2

4.13.3 พลังงานกิบบส์ของไคโตซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และโซเดียมลอร์ลิซัลเฟต (CSM)

ที่พีเอช 3, 5, 7, 8 และ 9 ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ตัวดูดซับ CSM มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -17.8, -8.6, -6.6, -7.9 และ -7.2 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.14) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยที่พีเอช 3 มีค่าพลังงานกิบบส์มากที่สุด เนื่องจากที่สภาวะนี้ตัวดูดซับ CSM จะถูกโปรโตเนตเป็นประจุบวกทำให้สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.14 พลังงานกิบบส์ของ CSM ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	pH				
สภาวะควบคุม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียสังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที				
ระดับ pH	pH 3	pH 5	pH 7	pH 8	pH 9
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-17.8	-8.6	-6.6	-7.9	-7.2

ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่ 0.5, 1, 3, 5, 10, 15, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในน้ำเสียสังเคราะห์ ตัวดูดซับ CSM มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -9.1, -7.6, -16.6, -17.8, -16.2, -16.7, -16.0 และ -16.0 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.15) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยที่ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานกิบบส์มากที่สุด

น้ำหนัก CSM ที่ 0.5, 1, 2, 4 และ 6 กรัม ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในน้ำเสียสังเคราะห์ ตัวดูดซับ CSM มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -11.0, -11.1, -10.4, -19.0 และ -17.9 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.16) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง

ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30, 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส พีเอช 3 ในน้ำเสียสังเคราะห์ มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -16.6, -22.0, -17.6, -16.2 และ -20.2 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.17) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีค่าพลังงานกิบบส์

สูงที่สุด ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ปฏิกิริยาเกิดได้ดีที่สุด ค่าปริมาณความร้อนเท่ากับ 36.9 กิโลจูลต่อโมล ($H > 0$) แสดงว่าเป็นกระบวนการดูดความร้อน สำหรับค่าเอนโทรปีมีค่าเป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยาในระบบนี้มีความไม่เป็นระเบียบมาก

ตารางที่ 4.15 พลังงานกิบบส์ของ CSM พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น ในน้ำเสียดังเคราะห์							
สถานะควบคุม	พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม อุณหภูมิ ในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที							
ระดับความเข้มข้น เริ่มต้นของน้ำมัน หล่อเย็น	0.5%	1%	3%	5%	10%	15%	20%	30%
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-9.1	-7.6	-16.6	-17.8	-16.2	-16.7	-16.0	-16.0

ตารางที่ 4.16 พลังงานกิบบส์ของ CSM ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	น้ำหนักตัวดูดซับ				
สถานะควบคุม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที				
ระดับน้ำหนัก ตัวดูดซับ	0.5 กรัม	1 กรัม	2 กรัม	4 กรัม	6 กรัม
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-11.0	-11.1	-10.4	-19.0	-17.9

ตารางที่ 4.17 พลังงานกิบบส์ของ CSM ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	อุณหภูมิในการดูดซับ				
สภาวะควบคุม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังเคราะห์ 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 เวลาในการดูดซับ 300 นาที				
ระดับอุณหภูมิในการดูดซับ	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-16.6	-22.0	-17.6	-16.2	-20.2
ปริมาณความร้อน (H) (kJ/mol)	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9
เอนโทรปี (S) (kJ/mol*1/K)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

ที่พีเอช 3 และ 6 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในน้ำเสียดังจริง ตัวดูดซับ CSM มีค่าพลังงานกิบบส์เท่ากับ -12.0 และ -14.9 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นลบ (ดังแสดงในตารางที่ 4.18) แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยตัวของมันเอง โดยที่พีเอช 6 (พีเอชของน้ำเสียดังจริง) มีค่าพลังงานกิบบส์มากกว่าที่พีเอช 3 แสดงให้เห็นว่าตัวดูดซับ CSM สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นจากน้ำเสียดังจริงที่สภาวะปกติของน้ำเสียดังจริงได้ดี

ตารางที่ 4.18 พลังงานกิบบส์ของ CSM ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังจริง 2.44 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตัวแปร	พีเอช	
สภาวะควบคุม	ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียดังจริง 2.44 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พีเอช 3 อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที	
ระดับพีเอช	pH 3	pH 6
พลังงานกิบบส์ (G) (kJ/mol)	-12.0	-14.9

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาการประยุกต์ใช้ไคโตซาน และไคโตซานดัดแปรในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น ในการทดลองเตรียมตัวดูดซับทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ไคโตซานบีด (C) ไคโตซานผสมโซเดียมลอริลซัลเฟต (CS) ไคโตซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และโซเดียมลอริลซัลเฟต (CSM) มีตัวแปรที่ใช้การศึกษา ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ค่าพีเอช ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น น้ำหนักของตัวดูดซับ ชนิดของตัวดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับในน้ำเสียดังเคราะห์

5.1.1.1 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

เวลาที่ใช้ในการดูดซับเพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุลนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับนั้นๆ และขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น ถ้าความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นสูงจะใช้เวลาในการดูดซับนานขึ้น และจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับนั้นๆ ด้วย

5.1.1.2 ค่าพีเอช

ค่าพีเอชมีผลต่อความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ซึ่งจะดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 3 เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรดหมู่อะมิโนของไคโตซานถูกโปรโตเนตให้มีประจุเป็น NH_3^+ (รับ H^+ จากกรด) ซึ่งทำให้มีประจุเป็นบวก จึงมีความสามารถในการดูดซับได้ดี และผลจากค่าซีต้าโพเทนเชียลของน้ำมันหล่อเย็นที่พีเอช 3 เสถียรภาพของน้ำมันหล่อเย็นจะลดลงมากที่สุด จึงเป็นเหตุผลเสริมกันทำให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด โดยเฉพาะที่พีเอช 3

5.1.1.3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น

ตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ C, CS และ CSM มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นเท่ากับ 3, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5.1.1.4 น้ำหนักของตัวดูดซับ

ที่น้ำหนักตัวดูดซับ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ ตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ C, CS และ CSM มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นมากที่สุด

5.1.1.5 ชนิดของตัวดูดซับ

ที่เวลา 300 นาที pH 3 ความเข้มข้นน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส CSM มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นมากที่สุด รองลงมา คือ CS และ C ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาค่าความชอบน้ำมันของตัวดูดซับ ค่าความร้อนของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น โดย Bombcalorimeter สามารถใช้ SEM, FTIR และ ค่าความร้อนของตัวดูดซับก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น เป็นหลักฐานยืนยันได้ว่าตัวดูดซับสามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้จริง ซึ่งก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นสามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของก่อนและหลังการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้

5.1.1.6 อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ

อุณหภูมิมีผลต่อความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ โดยตัวดูดซับที่สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ จัดว่าเป็นกระบวนการดูดความร้อน โดยตัวดูดซับ C สามารถดูดความร้อนได้ในช่วงอุณหภูมิ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส

5.1.2 การดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับในน้ำเสียจริง

ที่ pH ปกติของน้ำเสียจริง (พีเอช 6) ตัวดูดซับ CSM 6 กรัม สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุด รองลงมา คือ CS และ C ตามลำดับ โดยมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่ 39.0, 31.9, 29.8 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อใช้เวลาในการดูดซับ 1320 นาที ส่วนที่พีเอช 3 พบว่า ตัวดูดซับ CSM 6 กรัม สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นได้มากที่สุด รองลงมา คือ CS และ C ตามลำดับ โดยมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นที่ 35.9, 34.3, 31.0 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อใช้เวลาในการดูดซับ 1320 นาที จะเห็นได้ว่า CSM สามารถดูดซับน้ำมันหล่อเย็นในน้ำเสียจริงที่พีเอช 6 ได้ดีกว่าที่พีเอช 3

5.1.3 ไอโซเทิร์มของการดูดซับ

จากผลการศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับพบว่า ตัวดูดซับ C และ CS สอดคล้องกับไอโซเทิร์มของแลงเมียร์ ส่วนตัวดูดซับ CSM สอดคล้องกับไอโซเทิร์มของฟรุนดลิช

5.1.4 เทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics)

พลังงานกิบบส์ของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ C, CS และ CSM มีค่าเป็นลบ แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้เอง ที่ระดับอุณหภูมิ 30, 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส พีเอช 3 ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักตัวดูดซับ 6 กรัม เวลาในการดูดซับ 300 นาที ค่าปริมาณความร้อนของตัวดูดซับ C, CS และ CSM มีค่าเป็นบวก แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน และค่าเอนโทรปีจะมีค่าเป็นบวก อธิบายได้ว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีความไม่เป็นระเบียบมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตัวคูดซัฟที่ผ่านการคูดซัฟน้ำมันหล่อเย็นแล้วกลับไปใช้ใหม่
2. ศึกษาพัฒนาการเตรียมตัวคูดซัฟเพื่อประยุกต์ใช้โกลโทซานคัดแปรในการคูดซัฟน้ำมันหล่อเย็นต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กมลศิริ พันธนีย์. 2546. ไคติน-ไคโตซาน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.nicaonline.com/articles/9/site/view_article.asp?idarticle=158 [5 พฤศจิกายน 2549].
- กฤษญา เหมบุรุษ ชวัลณัฐ บุญภักดี และสุรทิน วัฒนว. 2549. วัสดุธรรมชาติ Biopolymer ไคติน – ไคโตซานจากเปลือกหอยเชอรี่. โครงการต่อยอดนวัตกรรมและเทคโนโลยี. โรงเรียนนครไทย อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาพิษณุโลก เขต 3.
- ชนาภรณ์ ธนภาพรังสรรค์ และผกาวัลย์ กมลชัยวานิช. 2547. การบำบัดน้ำทิ้งอิมัลชันของน้ำมันหล่อเย็นโดยวิธีโคแอกกูเลชัน. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิตติมา มณีกุล. 2545. ศึกษาการเตรียมไบคไคโตซานเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับ. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีรวิทย์ ทับทอง. 2541. การดูดซับไอออนโลหะหนักในน้ำเสียด้วยวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งที่ถูกตรึงเป็นเม็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- บุญชัย โชติวิริยวานิชย์. 2533. การปรับปรุงสมการความสัมพันธ์ของการดูดซับก๊าซผสมโดยวิธีทางเทอร์โมไดนามิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ประภัสสร สุรพัฒน์วารรณ. 2540. ไคติน-ไคโตซาน[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.gpo.or.th/rdi/htmls/chitin.html>. [1 พฤศจิกายน 2549].
- มันสิน ตันฑุลเวศน์. 2537. วิศวกรรมการประปา เล่ม 1 พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เขาวภา ไหวพริบ. 2534. การผลิตไคติน และไคโตซานจากเปลือกกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วินัย สมบูรณ์. 2541. การบำบัดโลหะหนักด้วยพอลิเมอร์ธรรมชาติ. รายงานสัมมนาระดับปริญญา เอกสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 10-18.
- สาลินี เอี่ยมมงคล .2550. กระบวนการกำจัดน้ำมันหล่อเย็นโดยวิธีการทางเคมี [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://202.28.17.1/article/atc42/atc00254.html> [12 ตุลาคม 2550].

- ศูนย์วัสดุชีวภาพไคตินและไคโตซาน. 2549. ของเหลือจากทะเลสูไคตินและไคโตซาน [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: http://www.material.chula.ac.th/chitosan/CCB_thai_p9.htm [11 พฤศจิกายน 2549].
- ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ. 2543. สมบัติของไคตินและไคโตซาน. ใน Chitin Chitosan. หน้า 5-7. กรุงเทพมหานคร.
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. 2550. สินค้าส่งออกสำคัญ 15 รายการแรกของไทย ปี 2546-2550 (ม.ค.-พ.ย.) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www2.ops2.moc.go.th/export/export_topn_5y/report.asp [3 ธันวาคม 2549].

ภาษาอังกฤษ

- Abuzaid N.S, Nakhla G.F, Farooq S. and Osei-Twum E. 1995. Activated carbon adsorption in oxidizing environments. Water Research. 29: 653–60.
- Abuzaid N.S. and Nakhla G.F. 1996. Effect of solution pH on the kinetics of phenolics uptake on granular activated carbon. J Haz Mater. 49: 217–30.
- Ahmad A.L., Sumathi S. and Hameed B.H. 2006. Coagulation of residue oil and suspended solid in palm oil mill effluent by chitosan, alum and PAC. Chemical Engineering Journal. 118: 99-105.
- Ahmad A.L., Sumathi S. and Hameed B.H. 2005 a. Adsorption of residue oil from palm oil mill effluent using powder and flake chitosan: Equilibrium and kinetic studies. Water Research 39: 2483-2494.
- Ahmad A.L., Sumathi S. and Hameed B.H. 2005 b. Residual oil and suspended solid removal using natural adsorbents chitosan, bentonite and activated carbon: A comparative study. Chemical Engineering Journal. 108: 179-185
- Baker C.A., Claus G.W. and Taylor P.A. 1983. Predominant bacteria in an activated sludge reactor for the degradation of cutting fluids. Appl. Environ. Microbiol. 46: 1214–1223.
- Bensadok K., Belkacem M. and Nezzal G. 2007. Treatment of cutting oil/water emulsion by coupling coagulation and dissolved air flotation. Desalination 206: 440-448.
- Byers J.P. 1994. Metalworking Fluids. Maecel Dekker. Inc., pp. 1-23.
- Castrol. 2002a. Syntilo 22 Safety Data Sheet. Castrol (UK) Limited.
- Castrol. 2002b. Hysol Safety Data Sheet. Castrol (UK) Limited.
- Danals S.L..1995. Environmental Soil Chemistry. pp.99-139. USA: Academic press.

- Eckenfelder W.W.. 1996. Industrial Water Pollution Control 2nd.ed. pp.263-291. New York: CBI Publishing.
- El-Dessouky S.I.. 2007. Studies on the sorption of praseodymium (III), holmium (III) and cobalt (II) from nitrate medium using TVEX-PHOR resin. Hazardous Materials. 143: 17-23.
- Faust S.D. and Aly O.M. 1987. Adsorption Process for water Treatment. New York: Butterworth.
- Geier J., Lessmann H., Frosch P.J., Pirker C., Koch P., Aschoff R., Richter G., Becker D., Eckert C., Uter W., Schnuch A., Fuchs T. 2003. Patch testing with components of water-based metal working fluids. Contact Dermatitis 49: 85–90.
- Hall K.R., Eagleton L.C., Acrivos A., Vermeulen T. 1966. Pore and solid diffusion kinetics in fixed bed adsorption under constant pattern conditions. Ind. Eng. Chem. Fundam. 5: 212–218.
- Hilal N., Busca G., Talens-Alession F. and Atkin B.P. 2004. Treatment of waste coolants by coagulation and membrane filtration. Chemical Engineering and Processing. 43:811-821.
- Hon D. N. S. 1996. Chitin and Chitosan: Medical Application. In Polysacchsrides in Application. pp. 631-649. New York: Marcel dekker.
- Jian W., Kitanaka A., Nishijima W., Baes U. and Okada M. 1999. Removal of oil pollutants in seawater as pre-treatment of reverse osmosis desalination process. Water Research. 33: 1857–63.
- Jill R.P., Chihpin H.S.C. and Ying C.C. 1999. Evaluation of a modified chitosan biopolymer for coagulation of colloidal particles. Colloids Surf 147: 359-364.
- Kong J. and Li K. 1999. Oil removal from oil-in-water emulsions using PVDF membranes. Separation and Purification Technology.16: 83–93.
- Ma Ming-Heng and Lin Chun-I. 2004. Adsorption kinetics of β -carotene from soy oil using regenerated clay. Separation and Purification Technology.39: 201–209.
- Misra S.K. and Skold R.O. 2000. Lubrication Studies of Aqueous Mixtures of inversery soluble components. Colloids and surface A.107: 91-106.
- Miyoshi H., Shimura K., Watanabe K. and Kasuki O. 1992. Characterization of some fungal chitosans. Bioscience Biotechnology and Biochemistry. 56(12): 1901-1905.
- Muzzarelli R.A.A. 1977. Chitin. Great Britain. Pergamon Press. 309 pp.
- Noll K.E., Gounaris V. and Hou W.S. 1992. Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control. United States.

- Ozer Dursun, Dursun Gulbeyi and Ozer Ahmet. 2007. Methylene blue adsorption from aqueous solution by dehydrated peanut hull. Hazardous Materials. 144: 171-179.
- Paprowicz J.T. 1990. Activated carbons for phenols removal from wastewaters. Environment Technology. 11: 71-82.
- Polak L. 1986. Biological treatability of industrial wastewater and waste machine tool coolants at John Dubuque works. In Proceedings of the 41 st Annual Industrial Waste Conference.
- Prado A.G.S., Julio L. Macedo J.L., Dias S.C.L. and Dias J.A. 2004. Calorimetric studies of the association of chitin and chitosan with sodium dodecyl sulfate. Colloids and Surfaces. 35: 23-27.
- Said O.B., Shalmon M.B. and Egila J.N. 1993. A Note on the Binding of Nickel and Copper Ions by Cellulose Materials. Bioresource and Technology. 43:63-65.
- Samuel D.F. and Osman M.A. 1987. Adsorption process for water treatment. Butterworth Publisher.
- Schreyer H.B., and Coughlin R.W. 1999. Effects of stratification in a fluidized bed bioreactor during treatment of metalworking wastewater. Biotechnol. Bioeng. 63: 129-140.
- Sherburn R.E. and Large P.J. 1999. The degradation of sodium O, O-diethyl dithiophosphate by bacteria from metalworking fluids. Lett. Appl. Microbiol. 28: 61-65.
- Shubkin R.L. 1993. Synthetic Lubricants and High-Performance Functional Fluids. Marcel Dekker. Inc. 453-491.
- Slejko F.L. 1985. Adsorption Technology. A Step-by-step Approach to Process Evaluation and Application. New York: Marcel Dekker.
- Sutton P.M., Kothair D., Mishra P.N. and Hachigian L. 1985. Biological treatment of metalworking fluids: a new application for fluidized bed technology. In: Proceedings of the 58 th Annual Water Pollution Control Federation Conference. pp. 19-30
- The Nalco Water Handbook. 1988. Emulsion Breaking. Second Edition. McGraw-Hill. International Edition Chemical International Series. 11.1-11-10.
- Tomita S. and Fujita K. 1990. Oil adsorbents. J Water Reuse Technology. 16: 38-45.
- Zouboulis A. I. and Avrans A. 2000. Treatment of oil-in-water emulsions by coagulation and dissolved-air flotation. Colloids and Surface A. 172: 153-161.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 ร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนของตัวดูดซับ

ตัวดูดซับ	%C เฉลี่ย	%H เฉลี่ย	%N เฉลี่ย
C	37.450	6.764	7.382
CS	47.063	8.571	3.622
CSM	47.358	9.104	3.116

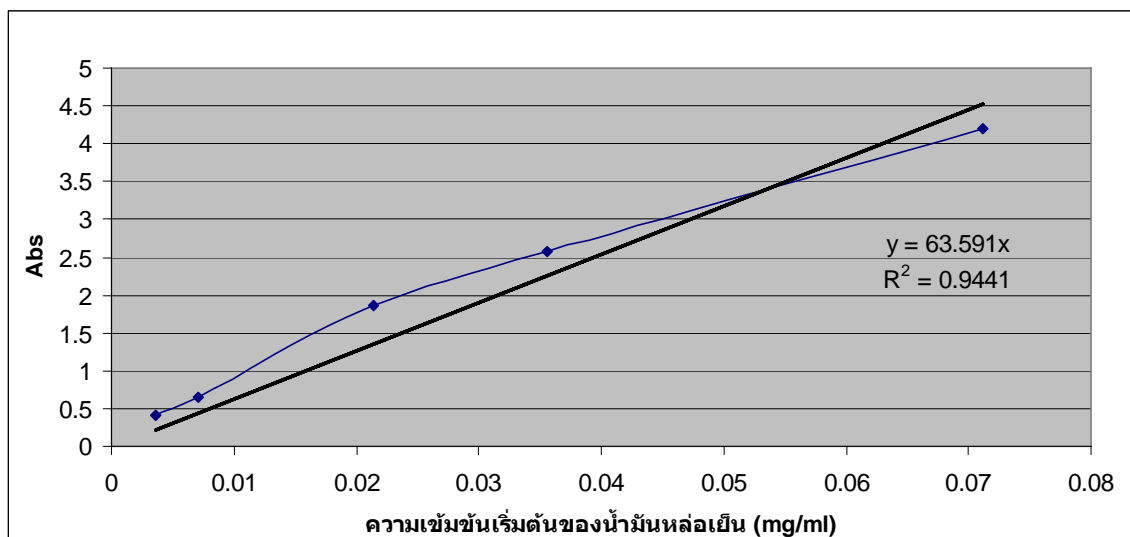
ภาคผนวก ข

การดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของตัวดูดซับ

ทำการทดลองหาค่า abs 4 ครั้ง โดยเลือกค่า abs ที่ค่าสูงที่สุดกับต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ ข-1

ตารางที่ ข-1 Calibration curve ของการดูดซับน้ำมันหล่อเย็น

ความเข้มข้นเริ่มต้นของ น้ำมันหล่อเย็น (%)	abs ครั้งที่ 1	abs ครั้งที่ 2	abs เฉลี่ย	ความเข้มข้นเริ่มต้นของ น้ำมันหล่อเย็น (mg/ml)
0.5	0.551	0.253	0.402	0.004
1	0.843	0.449	0.646	0.007
3	2.55	1.159	1.855	0.021
5	3.123	2.048	2.586	0.036
10	4.189	4.189	4.189	0.071



รูปที่ ข-1 Calibration curve ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็นกับค่าการดูดกลืนแสง

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ

ตารางที่ ค-1 ไคโตซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และ โซเดียมลอร์ลิซัลเฟต (CSM) น้ำหนัก 6 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

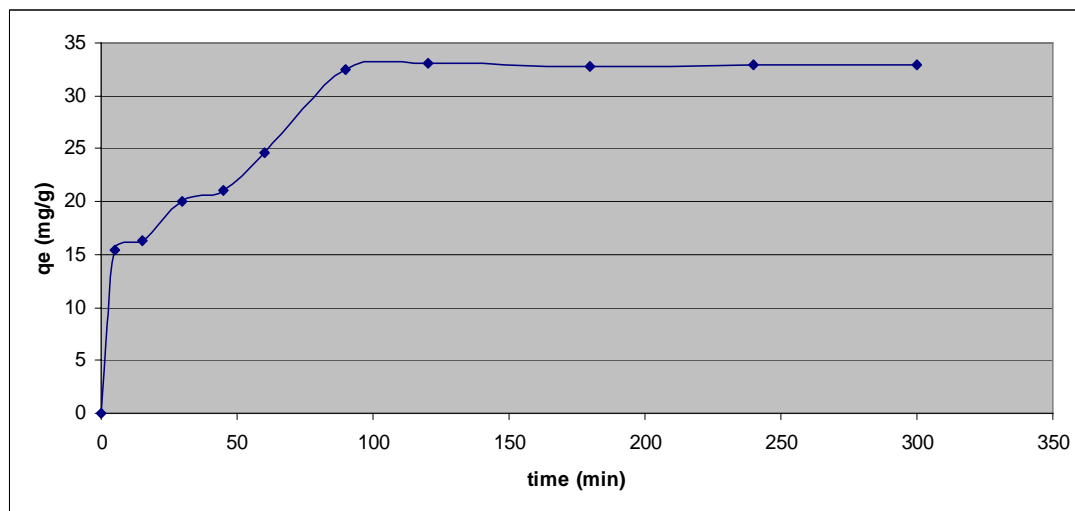
เวลา (นาที)	$t^{1/2}$	ค่า abs เฉลี่ย	C_t (mg/ml)	q_e (mg/g)	% removal
0	0.000	2.550	2.005	0	0
5	2.236	1.387	1.091	15.4	45.6
15	3.873	1.329	1.045	16.3	47.9
30	5.477	1.046	0.822	20.0	59.0
45	6.708	0.969	0.762	21.0	62.0
60	7.746	0.694	0.545	24.6	72.8
90	9.487	0.071	0.055	32.5	97.2
120	10.954	0.022	0.017	33.1	99.1
180	13.416	0.056	0.044	32.7	97.8
240	15.492	0.043	0.033	32.9	98.3
300	17.321	0.037	0.029	33.0	98.6

เมื่อ

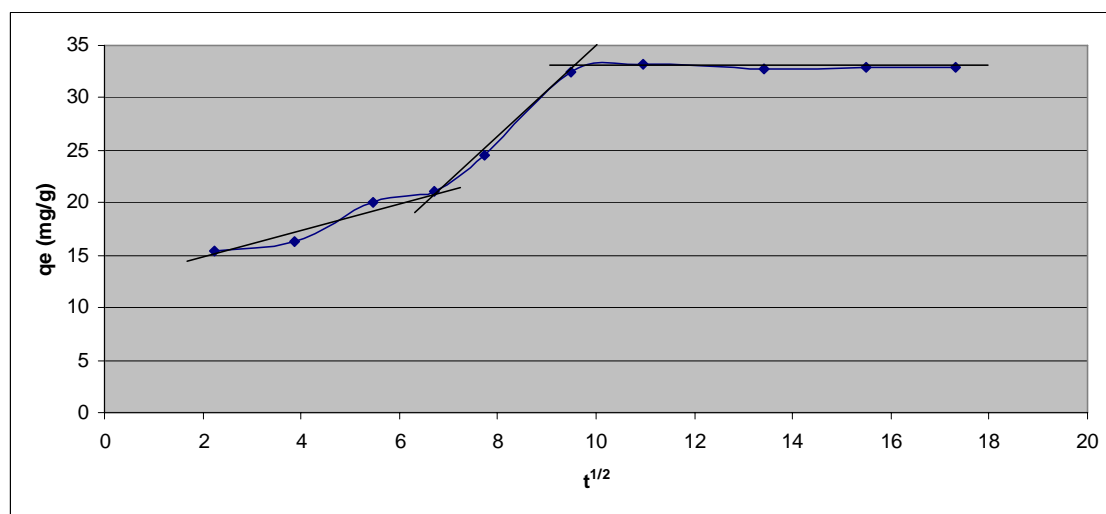
$$C_t = \left(\frac{abs - 0}{63.591} \right) * 50$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_t) * V}{m}$$

$$\% \text{ Removal} = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) * 100$$



รูปที่ ค-1 ความสามารถในการดูดซับของ CSM 6 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



รูปที่ ค-2 ขั้นตอนในการดูดซับน้ำมันหล่อเย็นของ CSM 6 กรัม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ก-2 ไอโซเทิร์มการดูดซับของไคโตซานผสมแมกนีเซียมเปอร์คลอเรต และโซเดียมลอริล ซัลเฟต (CSM) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

CSM (g)	C_o (mg/ml)	C_f (mg/ml)	$C_o - C_f$ (mg/ml)	x/m	$\log C_f$	$\log x/m$	$1/(x/m)$	$1/C_f$
6	2.005	0.027	1.978	32.971	-1.573	1.518	0.030	37.406
4	2.005	0.026	1.979	49.467	-1.579	1.694	0.020	37.965
2	2.005	0.916	1.089	54.430	-0.038	1.736	0.018	1.091
1	2.005	1.139	0.866	86.647	0.056	1.938	0.012	0.878
0.5	2.005	1.494	0.511	102.216	0.174	2.010	0.010	0.669

เมื่อ

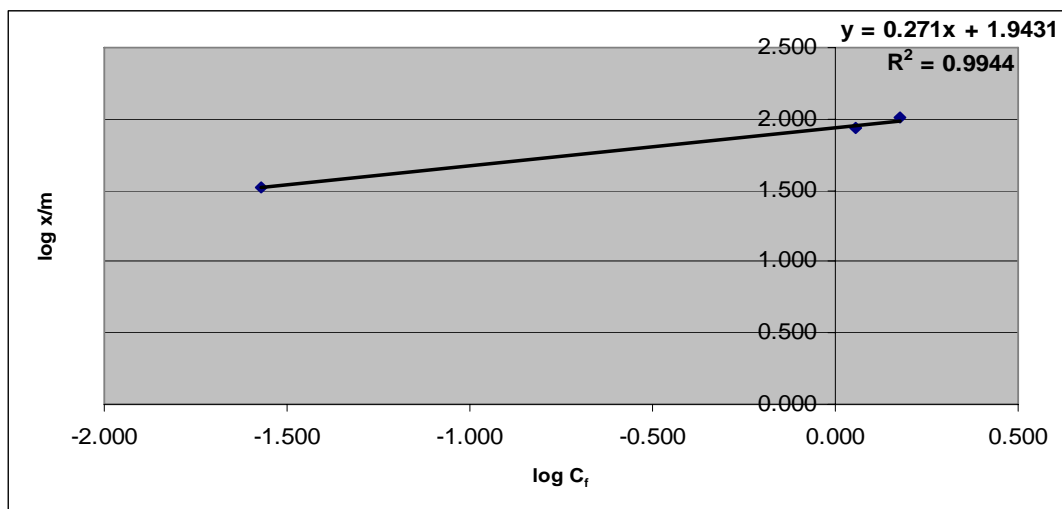
C_o = ความเข้มข้นเริ่มต้นของ CSM

C_f = ความเข้มข้นสุดท้ายของ CSM

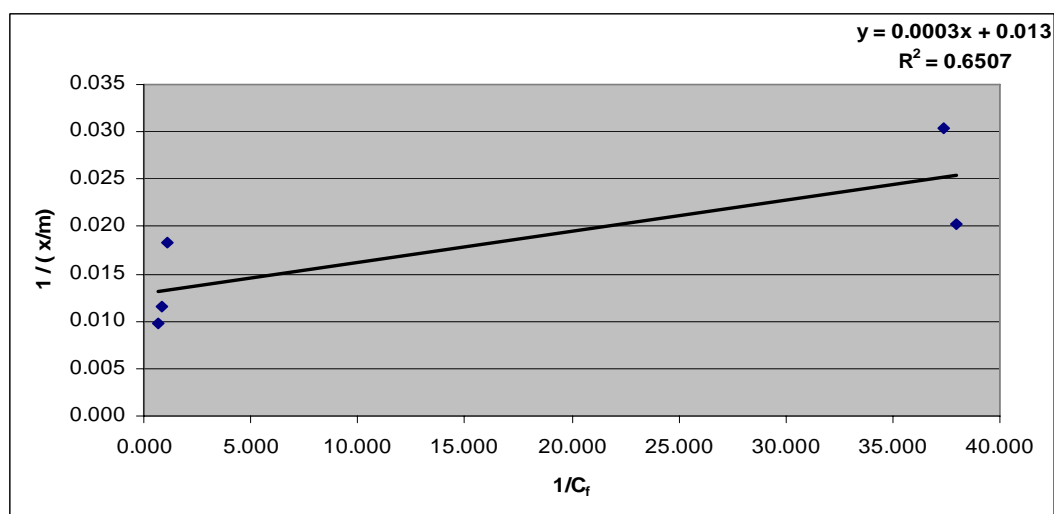
V = ปริมาตร

m = น้ำหนัก

$$\frac{x}{m} = \frac{(C_o - C_f) * V}{m}$$



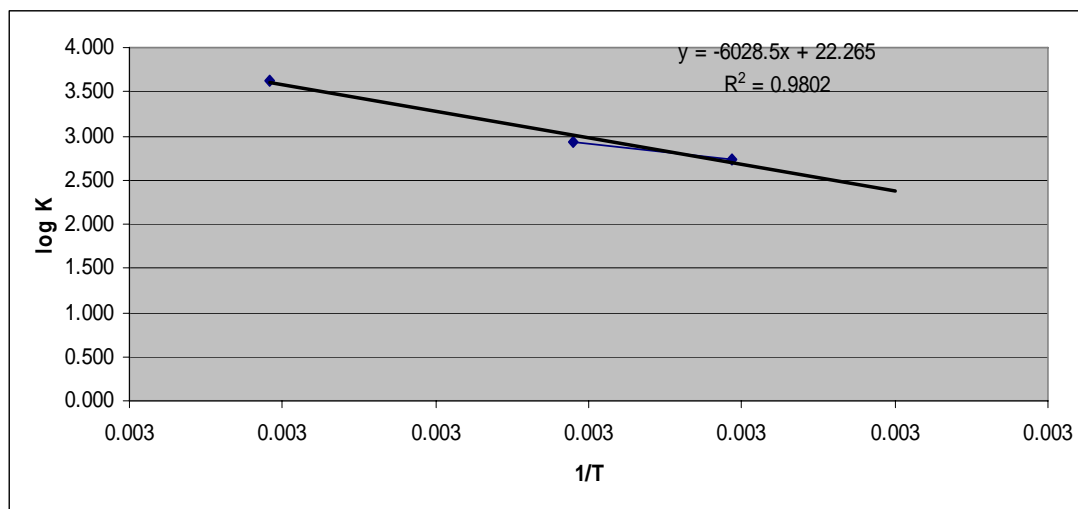
รูปที่ ค-3 ไอโซเทิร์มการดูดซับของ CSM ตามแบบจำลองฟรุนดลิช ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที



รูปที่ ค-4 ไอโซเทิร์มการดูดซับของ CSM ตามแบบจำลองแลงเมียร์ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 3 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลาในการดูดซับ 300 นาที

ตารางที่ ค-3 พลังงานกับบสของ CS น้ำหนัก 6 กรัม ความเข้มข้นน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 30, 35, 40 และ 45 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	q_e (mg/g)	C_e (mg/ml)	K (ml/g)	ln K	log K	T (องศาเซลเซียส)	1/T	G (kJ/mol)	H (kJ/mol)	S (kJ/mol*1/K)
30	32.940	0.066	498.734	6.212	2.698	303	0.003	-15.649	115.429	0.433
35	32.488	0.059	550.917	6.312	2.741	308	0.003	-16.162	115.429	0.427
40	32.810	0.039	851.597	6.747	2.930	313	0.003	-17.558	115.429	0.425
45	32.376	0.066	490.202	6.195	2.690	318	0.003	-16.378	115.429	0.414
50	33.293	0.008	4234.250	8.351	3.627	323	0.003	-22.426	115.429	0.427



รูปที่ ค-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log k$ กับ $1/T$ ของตัวดูดซับ CS น้ำหนัก 6 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมันหล่อเย็น 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30, 35, 40, 45 และ 50 องศาเซลเซียส

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพันธทิพา โห้ไย เกิดเมื่อวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ. 2524 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี วุฒิการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี การศึกษา 2549