

การกำจัดฟีนอลโดยใช้เบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับปรุง

REMOVAL OF PHENOL BY MODIFIED BENTONITE

อภรดี นามมีฤทธิ์

APIRADEE NAMMEERIT

วิทยานิพนธ์เสนอเป็นผลงานหนึ่งของการศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 074-15-1118-3

การกำจัดฟีนอลโดยใช้เบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับปรุง

REMOVAL OF PHENOL BY MODIFIED BENTONITE

อภิรดี นามมีฤทธิ์

APIRADEE NAMMEERIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2547

ISBN 974-15-1118-3

REMOVAL OF PHENOL BY MODIFIED BENTONITE

APIRADEE NAMMEERIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2004
ISBN 974-15-1118-3

COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดฟีนอลโดยใช้เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุง
นักศึกษา	นางสาวอภิรดี นามมีฤทธิ์
รหัสประจำตัว	45064505
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
พ.ศ.	2547

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับฟีนอลโดยใช้เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว เบนซิลโทรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (BTAB) และเบนซาโคเนียมคลอไรด์ จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ พีเอช 7 ความเร็วรอบในการกวน 60 รอบต่อนาที ใช้เวลานาน 10 นาที ความเข้มข้นฟีนอลเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว BTAB เท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ของค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกของเบนโทไนด์ สามารถกำจัดฟีนอลได้เกือบ 90 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว BDAC เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกของเบนโทไนด์ สามารถกำจัดฟีนอลได้ 36 เปอร์เซ็นต์ การดูดซับฟีนอลเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง และแบบจำลองที่เหมาะสมในการดูดซับ คือแบบจำลองของฟรุนลิช และแลงมัวร์ จากสภาวะนี้สามารถกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษได้ 100 เปอร์เซ็นต์

Thesis Title	Removal of Phenol by modified bentonite
Student	Ms.Apiradee Nammeeerit
Student ID	45064505
Degree	Master of Science
Program	Environmental Chemistry
Year	2547
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Arune Kongsakphaisal

ABSTRACT

Experiment investigation were conducted on the adsorption characteristics of phenol by modified bentonite. The modified bentonite were prepared by benzyl trimethyl ammonium bromide (BTAB) and benzalkoniumchloride (BDAC). The appropriate operating condition was pH 7, 60 rpm for 10 min phenol concentration was 50 ppm, BTAB concentration was 75% 's CEC of Bentonite, nearly 90% phenol removed and BDAC concentration was 100% 's CEC of Bentonite, nearly 36% phenol uptake. The adsorption of phenol could be fitted to a pseudo-second-order rate law. The freundlich and langmuir isotherm model was employed and well represented the experimental data. Phenol remove 100% for waste water from paper industry.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายๆ ท่าน ดังนี้

รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ดูแลเอาใจใส่ให้คำแนะนำ เสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหา เป็นกำลังใจ รวมทั้งตรวจแก้รายงานทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และผศ. ดร. สุนทร พูนพิพัฒน์ ที่กรุณาสละเวลาในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ตลอดจนให้คำแนะนำในเรื่องความถูกต้องและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของรายงานรวมทั้งข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ บุคคลในครอบครัว ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์และขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวอภิรดี นามมีฤทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เบนโทไนต์.....	4
2.1.1 ขนาดและรูปร่างของเบนโทไนต์.....	5
2.1.2 สมบัติการบวมตัวและทริโซโทปี	5
2.1.3 การวิเคราะห์ทางเคมี.....	5
2.2 การดูดซับ.....	6
2.2.1 สารดูดติดผิว.....	7
2.2.2 ลักษณะการดูดซับ.....	7
2.2.3 แรงดึงดูดที่ใช้ในการดูดซับ.....	8
2.2.4 กลไกการดูดซับ.....	9
2.2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ.....	10
2.2.6 ไอโซเทอมการดูดซับ.....	11
2.3 การบ่งบอกลักษณะและคุณสมบัติของฟีนอล.....	15
2.3.1 การบ่งลักษณะ.....	15
2.3.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพ.....	15

2.3.3 การวิเคราะห์.....	16
2.3.4 ผลิตภัณฑ์และการนำไปใช้.....	16
2.3.5 ฟีนอลในสิ่งแวดล้อม.....	16
2.3.6 ผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม.....	16
2.3.7 การกำจัดฟีนอลจากสิ่งแวดล้อม.....	17
2.4 โครงสร้างและคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว.....	17
2.4.1 ลักษณะของสารลดแรงตึงผิว.....	18
2.4.2 ความสามารถในการละลายของสารลดแรงตึงผิว.....	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	23
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	23
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	23
3.3 ดำเนินการทดลอง.....	24
3.3.1 สมบัติทางกายภาพของเบนโทไนด์ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	24
3.3.1.1 การศึกษาองค์ประกอบของเบนโทไนด์ พื้นที่ผิวจำเพาะ โครงสร้าง ค่าความจุการแลกเปลี่ยนแคตไอออน และความ กว้างของระนาบผลึก.....	24
3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟีนอล.....	24
3.3.2.1 การศึกษาชนิดสารลดแรงตึงผิวและพีเอชที่เหมาะสม.....	24
3.3.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว.....	25
3.3.2.3 การศึกษาเวลาสัมผัส.....	25
3.3.2.4 การศึกษาความเร็วรอบ.....	25
3.3.2.5 ศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลและไอโซเทอมการดูดซับ.....	26
3.3.2.6 การศึกษาความแรงไอออน.....	26
3.3.3 การศึกษาการคายออกจากผิว.....	26
3.3.4 การศึกษาจลนพลศาสตร์.....	27
3.3.5 การศึกษากระบวนการตกตะกอนโดยเทคนิคจาร์เทส.....	27
3.3.6 การศึกษากระบวนการตกตะกอนกับการดูดซับฟีนอลและอนุพันธ์ใน น้ำสังเคราะห์โดยเทคนิคจาร์เทส.....	27

3.3.7 การศึกษากระบวนการตกตะกอนร่วมกับการดูดซับในน้ำทิ้ง.....	28
3.3.8 การศึกษาการระเหยของฟีนอล.....	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	29
4.1 ผลการศึกษาสมบัติเบนโทไนต์.....	29
4.1.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบของเบนโทไนต์	29
4.1.2 ผลการศึกษาความจุการแลกเปลี่ยนประจุบวกของเบนโทไนต์	29
4.1.3 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างของเบนโทไนต์.....	30
4.1.4 ผลการศึกษาความกว้างของระนาบผลึก.....	30
4.1.5 ผลการศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะ.....	31
4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการกำจัดฟีนอล.....	32
4.2.1 ผลการศึกษานิตสารลดแรงตึงผิวและพีเอชที่เหมาะสม.....	32
4.2.2 ผลการศึกษาคอนเซนตรชันของสารลดแรงตึงผิว.....	35
4.2.3 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสม	36
4.2.4 ผลการศึกษาคอนเซนตรชันของพีเอชที่เหมาะสม.....	37
4.2.5 ผลการศึกษาคอนเซนตรชันเริ่มต้นของฟีนอล.....	38
4.2.6 ผลการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์	39
4.3 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ	40
4.4 ผลการศึกษาคายฟีนอล หลังการดูดซับ.....	42
4.5 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์.....	42
4.6 ผลการศึกษาระบวนการตกตะกอนโดยเทคนิคจาร์เทส.....	46
4.7 ผลการศึกษากำจัดฟีนอลและอนุพันธ์.....	46
4.8 ผลการศึกษากำจัดฟีนอลกับน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม.....	48
4.9 ผลการศึกษากการระเหยของฟีนอล.....	48
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลการวิจัย	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	51
เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก ก ผลการศึกษาโครงสร้างเบนโทไนต์.....	56
ภาคผนวก ข ผลการศึกษาคอนเซนตรชันของระนาบผลึก	60

ภาคผนวก ค ผลการศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะ	64
ภาคผนวก ง ตารางแสดงผลการทดลองอิทธิพลที่มีผลต่อประสิทธิภาพการ กำจัดฟีนอล.....	71
ภาคผนวก จ ผลการศึกษาการสลายตัวของฟีนอล.....	88
ภาคผนวก ฉ วิธีวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอล.....	93
ภาคผนวก ช แสดงโครงสร้างสารลดแรงตึงผิว.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	99

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของโซเดียมและแคลเซียมเบนโทไนด์.....	6
2.2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของฟีนอล.....	15
4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเบนโทไนด์	29
4.2 แสดงค่าความกว้างของระนาบผลึก.....	31
4.3 แสดงพื้นที่ผิวจำเพาะของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ.....	31
4.4 ค่าคงที่แลงมัวร์.....	40
4.5 ค่าคงที่ของสมการฟรุนลิช.....	41
4.6 แสดงค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับสอง.....	45
4.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลโดยใช้น้ำจริง.....	48

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของแร่สเมกไทต์.....	4
2.2 แสดงกลไกการดูดซับ.....	9
2.3 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์.....	11
2.4 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช.....	13
4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลเมื่อใช้ตัวดูดซับต่างๆกัน.....	32
4.2 สปีชีส์ของฟีนอล.....	33
4.3 %ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวและ%การกำจัดฟีนอล.....	35
4.4 เปอร์เซ็นต์การกำจัดกับเวลา(นาที).....	36
4.5 เปอร์เซ็นต์การกำจัดและความเร็วรอบต่อนาที.....	37
4.6 เปอร์เซ็นต์การกำจัดกับความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล.....	38
4.7 เปอร์เซ็นต์การกำจัดและความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์.....	39
4.8 ไอโซเทอมแลงมัวร์.....	40
4.9 ไอโซเทอมฟรุนดลิช.....	41
4.10 เปอร์เซ็นต์การคายฟีนอลออกจากผิว.....	42
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา(นาที)กับปริมาณฟีนอลที่ถูกกำจัด(มิลลิกรัมต่อกรัม).....	43
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดฟีนอลต่อเวลา $\frac{1}{2}$	44
4.13 กราฟความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับ 2.....	44
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว.....	46
4.15 เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลและอนุพันธ์เมื่อใช้เบนโทไนต์ที่ปรับปรุง.....	47

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

BTAB	เบนซิลไทรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์
BDAC	เบนซาโคเนียมคลอไรด์
SDS	โซเดียมลอริลซัลเฟต
LBS	โดเดซิลเบนซีนซัลโฟนิกแอซิด
Tween 20	ทวิน 20
t	เวลา
mg/l	มิลลิกรัมต่อลิตร
q	ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้
Ce	ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่จุดสมดุล
qm	ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวของตัวดูดซับ
K	ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับ
1/n	ค่าคงที่แสดงถึงการขึ้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ในปัจจุบันการขยายตัวของอุตสาหกรรมต่างๆ ก่อให้เกิดมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง อากาศ น้ำ และดิน โดยเฉพาะปัญหาจากชุมชนและอุตสาหกรรมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำซึ่ง มีปริมาณมากขึ้นทุกปี แม้จะมีข้อกำหนดการบำบัดน้ำทิ้งและมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมก่อน ปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติก็ยังคงพบสารอินทรีย์ที่เป็นสารพิษปะปนอยู่ในน้ำทิ้ง เช่น เบนซิน โทลูอิน ฟีนอล และคลอโรฟีนอล ฯลฯ โดยจะพบในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมพลาสติก ปีโตรเคมี เคมีภัณฑ์ และ อุตสาหกรรมสีย้อม เป็นต้น เนื่องจากฟีนอลเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากและมีความ เป็นพิษสูง เมื่อปล่อยสารฟีนอลลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณ 5-10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลกระทบต่อ สัตว์น้ำและสามารถทำลายกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายต่อมนุษย์ และเป็นสารก่อมะเร็ง เมื่อฟีนอลเปลี่ยนเป็นสารประกอบคลอโรน (chlorophenol) [1] จึงมีการค้นคว้าเพื่อหาแนวทางในการกำจัดฟีนอลในน้ำเสียอุตสาหกรรม เทคนิคของกระบวนการบำบัดทาง เคมีที่ใช้ในปัจจุบันคือ การดูดซับซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับกันมาก โดยทั่วไปมักบำบัดด้วย ผงถ่านกัมมันต์ เนื่องจากเป็นตัวดูดซับที่ดีมีคุณภาพสูงและได้มีการนำวัสดุธรรมชาติมาประยุกต์ ใช้เป็นตัวดูดซับ เช่น เปลือกสน เปลือกถั่ว และ เปลือกไข่ เป็นต้น [2] เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาง่าย และมีราคาถูก

เบนโทไนด์เป็นดินชนิดหนึ่งในกลุ่มแร่สเมกไทต์ใช้กันมากในอุตสาหกรรมน้ำมัน สี และ เครื่องสำอางค์ พบมากในหลายๆทวีปทั่วโลก มีราคาถูกและเป็นตัวดูดซับที่ดี สามารถดูดซับ ยาฆ่าแมลง และมลพิษอื่นๆ แต่เมื่อนำมากำจัดฟีนอลในน้ำพบว่ามีการกำจัดได้น้อย [3] มีการ ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพเบนโทไนด์ด้วยสารลดแรงตึงผิว พบว่าสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ไม่มี ประจุ [4-7] และดินที่ปนเปื้อนเพนตะคลอโรฟีนอลได้ [8] เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวประกอบไปด้วย ส่วนหัวที่มีประจุและส่วนหางที่เป็นไฮโดรคาร์บอน [9] จะเข้าไปแทรกอยู่ในระนาบผลึกดินเป็น แบบชั้นเดียว(monolayer) สองชั้น(bilayer) หรือมากกว่าสองชั้น(parafinlayer) [10,11] การดูดซับสารอินทรีย์ที่ไม่มีประจุในน้ำ เมื่อใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวบางชนิด เป็นตัวดูดซับ พบว่าการดูดซับเกิดได้น้อย เนื่องจากมีแรงต้านระหว่างขั้วของน้ำและขั้วที่ผิว เบนโทไนด์ [12,13] เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุง เป็นผลจากการปรับปรุงคุณภาพด้วยการ แลกเปลี่ยนประจุของสารอินทรีย์กับประจุของสารอินทรีย์ที่ผิวดิน ความสามารถในการ

แลกเปลี่ยนประจุขึ้นอยู่กับประจุและขนาดของสารลดแรงตึงผิว [14] มีผู้ศึกษาพบว่า ดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโดเดซิลไพริดีเนียม (dodezylpyridinium) และเฮกซะเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียม (hexadezyltrimethyl ammonium cation) สามารถนำมาใช้ในการป้องกันการปนเปื้อนของสารอินทรีย์สู่แหล่งน้ำใต้ดิน [15]

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดฟีนอลโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ มาปรับปรุงเบนโทไนต์และเลือกสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมมาดูดซับฟีนอลโดยศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอล พีเอช ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว เวลาสัมผัส และความแรงของไอออน ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม โดยทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดผ่านกระบวนการตกตะกอน (coagulation-flocculation) โดยใช้จารัท วิธีบำบัดนี้นับเป็นวิธีการที่ง่าย และสามารถแก้ไขปัญหการปนเปื้อนของฟีนอลได้อย่างเหมาะสม และนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาชนิดสารลดแรงตึงผิวและสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟีนอลโดยใช้เบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับปรุง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอล โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์และน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเบนโทไนต์ก่อนและหลังปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว 5 ชนิด เช่น การหาความกว้างของระนาบผลึกโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ (XRD) หาพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้เครื่องออโทซอป (BET) ดูโครงสร้างของเบนโทไนต์ก่อนและหลังปรับปรุงโดยใช้เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) หาองค์ประกอบของเบนโทไนต์โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์สเปกโทมิเตอร์ (XRF) และหาค่าความจุการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)
2. ศึกษาการปรับปรุงเบนโทไนต์ด้วยสารลดแรงตึงผิว โดยทำการศึกษาเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอล โดยใช้เบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับปรุง ได้แก่ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว พีเอชของสารละลาย ผลของเวลาสัมผัส ความเร็วรอบ

4. ศึกษากระบวนการตกตะกอนและการดูดซับฟีนอลในน้ำสังเคราะห์และน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม

5. ศึกษาการระเหยของฟีนอลโดยการใช้เครื่องเทอมอล กราวิที อนาไลเซอร์ (TGA)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

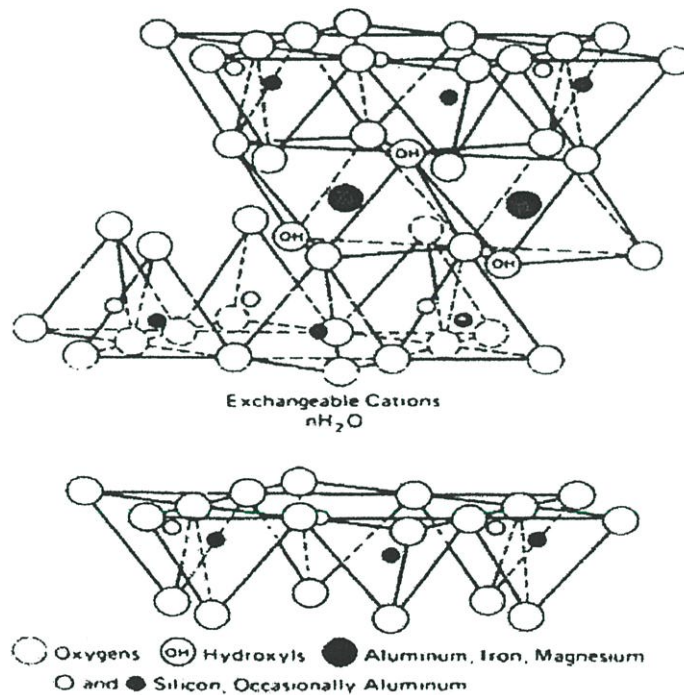
1. นำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดฟีนอลที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
2. เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ชนิดอื่นโดยใช้เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว
3. เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

2.1 เบนโทไนต์

เบนโทไนต์เป็นดินเหนียวเนื้อละเอียดมาก ประกอบด้วยแร่กลุ่มสเมกไทต์เป็นหลัก ซึ่งสเมกไทต์เป็นกลุ่มแร่ซิลิโคซิลิเกตที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลเป็นแผ่น (phyllosilicates) ประกอบด้วยแรมอลมอริลโลไนต์เป็นหลัก ซึ่งมีอลมอริลโลไนต์แปรมาจากเก้าภูเขาไฟ มีธาตุออกซิเจน ไฮโดรเจน ซิลิกอน อลูมิเนียมและแมกนีเซียมเชื่อมเป็นองค์ประกอบ

แร่ในกลุ่มสเมกไทต์ทุกตัว มีโครงสร้างเกิดจากการรวมตัวกันของโครงสร้างย่อย ซึ่งมีลักษณะเป็นหน่วยประกอบด้วยชั้น 3 ชั้น (three layer unit) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแร่สเมกไทต์ [16]

โดยปกติแล้วแร่สเมกไทต์จะมีส่วนประกอบที่แตกต่างไปจากทฤษฎี เนื่องจากการแทนที่ของไอออนชนิดต่างๆ ในโครงสร้าง การแทนที่ด้วยไอออนที่มีวาเลนซ์ไม่เท่ากันทำให้ประจุมีโครงสร้างเป็นลบและเกิดความไม่สมดุลขึ้น เพื่อให้ประจุทั้งหมดเป็นกลาง จะมีแคตไอออนจากภายนอกมาเกาะ ทั้งบริเวณขอบรอบนอกและภายในระหว่างหน่วยย่อยแต่ละหน่วย แคตไอออนเหล่านี้

มาเกาะ ทั้งบริเวณขอบรอบนอกและภายในระหว่างหน่วยย่อยแต่ละหน่วย แคลต์ไอออนเหล่านี้สามารถเปลี่ยนตำแหน่งแทนที่กันได้ เรียกว่า Exchangeable cation เช่น การแทนที่ของ Na^+ Ca^{2+} Mg^{2+} หรือ H^+ ใน Si^{4+} และ Al^{3+} และจากคุณสมบัติดังกล่าวจึงแบ่งเบนโทไนต์เป็น โซเดียม เบนโทไนต์ และแคลเซียมเบนโทไนต์

2.1.1 ขนาดและรูปร่างของเบนโทไนต์

พิจารณารูปที่ 2.1 โครงสร้างสเมกไทต์ เกิดการรวมตัวกันของ silica tetrahedral 2 ชั้นประกบ gibbsite octahedral layer 1 ชั้นทำให้การซ้อนกันของหน่วยโครงสร้างไม่มีพันธะไฮโดรเจน เนื่องจากที่ผิวด้านนอกทั้งคู่เป็น silica layer และไม่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ผิวดังนั้นแรงยึดจึงมีแต่แรงวานเดอร์วาล์วอย่างเดียว ชั้นของสเมกไทต์จึงบางมากทำให้มองไม่เห็นขอบผลึก

2.1.2 สมบัติการบวมตัวและการแขวนลอย

เนื่องจากแรงที่ยึดกันระหว่างแผ่นของสเมกไทต์มีค่าอ่อนมาก น้ำหรือโมเลกุลมีขั้ว โมเลกุลอื่นๆสามารถแทรกเข้าไปอยู่ระหว่าง unit layer ก่อให้เกิดการขยายตัว สมบัติการบวมตัวนี้ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของประจุใน silicate layer และเป็นสมบัติเฉพาะในสารละลายก่อให้เกิดความกว้างของระนาบผลึกชั้นซึ่งความกว้างของระนาบผลึกนี้แปรค่าระหว่าง 11-60 อังสตรอม ขึ้นกับชนิดปริมาณของเหลวที่แทรกอยู่

ทิไซโทรปี (thixotropy) หมายถึง สมบัติการแขวนลอยซึ่งมีค่าความหนืดเปลี่ยนไปตามแรงเฉือน เช่น สีทาบ้านเมื่อกวาดใหม่ๆจะมีความหนืดอยู่ค่าหนึ่งและลดลง แต่เมื่อหยุดกวาดหรือทิ้งไว้นาน ๆ ความหนืดจะเพิ่มขึ้นและลดลงอีก สมบัติทิไซโทรปีที่พอดีและควบคุมได้เป็นสิ่งสำคัญที่นำเบนโทไนต์ไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สีทาบ้าน งานเซรามิก เพราะจะช่วยพยุงตัวไม่ให้ส่วนผสมตกตะกอน มีความชื้นใสปอดีเหมาะ

นอกจากนี้สมบัติทิไซโทรปีที่เกิดในเบนโทไนต์ เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างประจุประจุเหล่านี้เกิดที่ผิวของแร่ โดยตามขอบจะมีประจุบวกและที่ผิวหน้ามีประจุลบ เมื่อตอนหยุดนิ่งผลึกเบนโทไนต์จะอยู่ในรูป house of cards structure ซึ่งสามารถผุยุบสารอื่นให้แทรกในโครงสร้างได้ เมื่อมีการกวาดเท่ากับเป็นการทำลายโครงสร้างโมเลกุลของน้ำและการบวมตัวของสารจะช่วยในการผลึกตันให้อนุภาคห่างจากกันจนกว่าจะมีการหยุดกวาดอีก

2.1.3 ผลการวิเคราะห์ทางเคมี

ส่วนประกอบของแคลเซียม หรือโซเดียมเบนโทไนต์จะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงผลวิเคราะห์ทางเคมีของโซเดียมและแคลเซียมเบนโทไนต์[16]

ออกไซด์	โซเดียมเบนโทไนต์ (ที่มีการบวมตัวมาก)	แคลเซียมเบนโทไนต์ (ที่มีการบวมตัวน้อย)	
	เบนโทไนต์ไวโอมิง	เบนโทไนต์เทกซัส	เบนโทไนต์ซาอุดีอาระเบีย
SiO ₂	54.34	49.72	49.23
Al ₂ O ₃	19.92	16.39	16.54
Fe ₂ O ₃	3.28	4.10	11.08
TiO ₂	0.11	0.58	1.09
CaO	0.33	4.19	2.10
MgO	2.21	2.56	1.99
Na ₂ O	2.65	0.66	1.40
K ₂ O	0.45	1.55	0.58
MnO	0.01	0.01	0.13
SO ₃	0.18	-	0.79
Lol	16.23	17.92	16.12

2.2 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นวิธีการหนึ่งที่ยอมรับกันมากในด้านการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถกำจัดสารปนเปื้อนขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลที่ไม่สามารถกำจัดได้โดยวิธีการตกตะกอนหรือกรองแบบธรรมดา โดยอาศัยความสามารถเฉพาะตัวของสารในการดึงโมเลกุลสารปนเปื้อน ให้เกาะที่ผิวของตัวดูดซับเรียก ปรากฏการณ์ที่สารปนเปื้อนมาเกาะที่ผิวนี้ว่ากระบวนการดูดซับ (adsorption) [17] พื้นที่ผิวที่ทำหน้าที่ดูดซับสารปนเปื้อนเรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) ส่วนโมเลกุลที่มาเกาะติดที่ผิวตัวดูดซับเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ปรากฏการณ์ดูดซับนี้เกิดขึ้นระหว่างสองพื้นผิว โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งได้แก่พื้นผิวระหว่างของเหลวกับของแข็ง พื้นผิวระหว่างของแข็งกับก๊าซ พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็ง และพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว กระบวนการดูดซับเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เช่นสารอินทรีย์หรือโลหะถูกดูดซับในดินหรือตะกอนดินในทะเล มหาสมุทร และแม่น้ำ กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ เช่น การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากอากาศและน้ำ กระบวนการดูดซับนี้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมหลายด้านด้วยกัน เช่น การใช้ดินเหนียวดูดซับยาฆ่าแมลงในดิน หรือดูดซับโลหะหนักจากหลุมฝังกลบ (landfill) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษที่จะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

2.2.1 สารดูดติดผิว

สารดูดติดผิว (adsorbent) ที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่าง ๆ มาติดผิวได้มีหลายชนิด ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1.ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดุก (bond char) ซิลิกาที่ม้มนต์ (activated silica) สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม อย่างไรก็ตามมีข้อเสียคือ สามารถจับโมเลกุลได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดติดผิวจำเพาะมีข้อจำกัดมาก

2.ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) สารดูดติดผิวชนิดนี้อาจจัดว่าเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์ แต่เป็นสารดูดติดผิวที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากเป็นถ่านที่ผ่านการกระตุ้นเพื่อให้ความพรุนมากและมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดยทั่วไปมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 450-1500 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขนาดรูพรุนตั้งแต่ 10-10000 อังสตรอม

3.ประเภทสารอนินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอนินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม (ซึ่งถือว่าต่ำเมื่อเทียบกับแอคทิเวทเดดคาร์บอน) แต่อย่างไรก็ตามเรซินมีข้อได้เปรียบกว่าคือ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่าและสารแทนที่มักเป็นสารที่มีราคาถูกลง เช่น เกลือแกง

2.2.2 ลักษณะการดูดซับ

2.2.2.1. การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) เป็นการดูดซับระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดติดกับผิวของตัวดูดซับด้วยแรงแวนเดอร์วาล (Van Der Waal) ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลขององค์ประกอบในสารละลาย ดังนั้นโมเลกุลของสารจะยึดติดกันแน่นบนพื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวดูดซับ ถ้าตัวดูดซับมีความพรุนสูงของเหลวหรือก๊าซที่ควบแน่นนั้นจะซึมผ่านเข้าสู่ช่องว่างภายในของตัวดูดซับได้ ปฏิกิริยาการนี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ แต่เมื่อลดความดันหรือเพิ่มอุณหภูมิของระบบ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลงเกิดการผันกลับทำให้ตัวถูกดูดซับเคลื่อนออกจากตัวดูดซับนั้น

2.2.2.2. การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption or chemisorption) เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพทุกประการ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดติดอยู่กับผิวของตัวดูดซับด้วยพันธะเคมีที่แข็งแรง ทำให้ปริมาณพื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับบนตัวดูดซับลดลง และเนื่องจากการดูดซับเกิดเฉพาะบนพื้นที่ผิวบางแห่ง ทำให้องค์ประกอบที่ถูกดูดซับไว้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับมีปริมาณน้อยกว่าการดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับแบบนี้

จะไม่สามารถเกิดการคายการดูดซับ (desorption) ได้เพราะองค์ประกอบที่ถูกดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible) ปฏิกิริยาการดูดซับจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าองค์ประกอบบางชนิดที่อุณหภูมิปกติจะไม่เกิดการดูดซับทางเคมี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิก็สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้

2.2.3 แรงดึงดูดที่ใช้ในการดูดซับ

แรงดึงดูดที่ใช้ในการดูดซับโมเลกุลของสารที่สนใจ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.2.3.1. แรงดึงดูดทางกายภาพ (physical force) ประกอบด้วย

1) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waal's force)

อะตอมที่อยู่อย่างอิสระหรือโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้วสามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อนๆได้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ทำให้มีความหนาแน่นของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอน ในแต่ละบริเวณที่อยู่ภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากัน มีผลทำให้เกิดสภาพขั้วขึ้นและสามารถถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำ จึงเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อนๆ ดังนั้นการคายการดูดซับ (desorption) จะเกิดได้ง่ายขึ้น ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย

2) แรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force)

เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว ระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลไม่มีขั้วด้วยกัน หรือระหว่างสารที่มีขั้วกับสารที่ไม่มีขั้ว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้ว เป็นผลจากการจัดเรียงโมเลกุล (orientation effect) ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม

ข. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว เป็นผลจากการกระจาย (dispersion effect) ซึ่งเห็นได้จากการที่โมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลมีขั้วได้เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และเมื่อโมเลกุลไม่มีขั้วที่มีลักษณะเช่นเดียวกันเข้ามา ก็เกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน ซึ่งแรงนี้มักจะเป็นแรงอ่อนๆ เช่น แรงดึงดูดระหว่างสารอินทรีย์และถ่าน

ค. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เป็นผลเนื่องจากการเหนี่ยวนำ (induction effect) โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ตรงกันข้าม ทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน

2.2.3.2. แรงดึงดูดทางเคมี (chemical force) เกิดจากการยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนของสารกับตัวดูดซับเกิดสารประกอบเชิงซ้อน เช่น การดูดซับระหว่างหมู่โลหะทรานซิชันกับหมู่

ฟังก์ชันที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งพันธะเคมีหรือแรงเคมีที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน หรือเกิดจากการให้อิเล็กตรอน หรือการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนซึ่งกันและกัน จึงมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนของตัวถูกดูดซับกับหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับซึ่งแรงนี้จะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดทางกายภาพและจากแรงดึงดูดทางเคมีนี้จะมีผลทำให้ปฏิกิริยาไม่สามารถเปลี่ยนแปลงไปมาได้ ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมีมีดังนี้

1. การดูดซับทางกายภาพไม่มีการถ่ายเทหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันสามารถสลักกันได้ในสภาวะอุณหภูมิเดียวกัน แต่การดูดซับจะผันกลับไม่ได้

2. การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้ทั่วยุ่ไปบนพื้นผิวตัวดูดซับไม่มีบริเวณจำเพาะในกระบวนการดูดซับภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเกิดการดูดซับหลายชั้นได้ การดูดซับทางเคมีจะเกิดในบริเวณจำเพาะเท่านั้นและโดยทั่วไปการดูดซับทางเคมีจะเกิดแบบชั้นเดียวเท่านั้น

3. ความร้อนที่ได้จากการดูดซับทางกายภาพจะน้อยกว่าการดูดซับทางเคมี

2.2.4 กลไกการดูดซับ

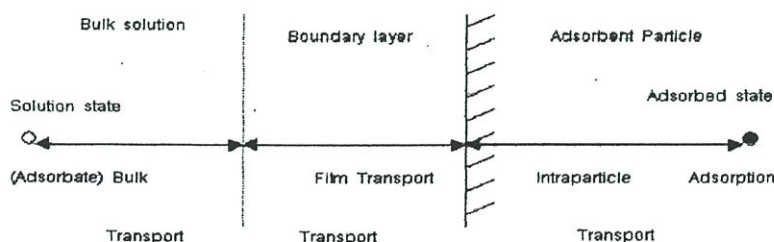
กลไกการดูดซับเป็นการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับเข้าไปในตัวดูดซับเกิดขึ้นเป็นขั้นตอนติดต่อกันดังแสดงในรูปที่ 2.2

ขั้นตอนที่ 1 bulk transport เป็นการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับ (mass transfer) ในสารละลาย(bulk solution)ไปยังฟิล์มหรือโมเลกุลของน้ำล้อมรอบตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 film transport เป็นการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับ (mass transfer) ซ้ำมบริเวณฟิล์มของน้ำที่ล้อมตัวดูดซับไปยังพื้นผิวของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 intraparticle transport หรือ pore transport เป็นการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับ (Mass transfer) เข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 4 adsorption เป็นการดูดซับระหว่างตัวถูกดูดซับกับบริเวณที่ว่างไว (active site) บนผิวตัวดูดซับซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดเร็วมาก และอาจดูดติดพื้นผิวตัวดูดซับผิวด้วยแรงทางกายภาพและแรงทางเคมีหรือทั้ง 2 แรงพร้อมกัน



รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการดูดซับ[17]

2.2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

2.2.5.1. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และ อัตราการดูดซับ เป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ อัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับ เส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับเมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการ เคลื่อนที่เข้าสู่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุม โดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) ดังนั้นอัตราการดูดซับ จะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับ ใน ทางกลับกันถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาค เป็นควบคุมการดูดซับการดูดซับจะเป็นอัตราส่วน ผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวดูดซับ

2.2.5.2. ลักษณะของสารดูดซับ

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายอย่างหนึ่งคือ ความสามารถในการ ละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น ถ้าความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ ขนาดของโมเลกุลตัวถูกละลาย ยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ ภายในโพรง เป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับ ขนาดของโมเลกุลตัวถูกละลาย จะแปรผกผันกับ อัตราการดูดซับ

2.2.5.3. ความปั่นกววน

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ การขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็น ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของอัตราการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นกววน ต่ำ ฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุล เข้าไปหาสารดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นปัจจัยที่กำหนดอัตรา เร็วของการดูดซับ

2.2.5.4. เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการ บำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้ จะต้องมีความเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดี ที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมจะต้องทำการศึกษาในระดับ ปฏิบัติการก่อนจะนำไปใช้งานจริง

2.2.5.5 ค่าพีเอช

ค่าพีเอชของสารละลาย เป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกซิลไอออนสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออน และการละลายของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

2.2.6 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับสามารถอธิบายได้หลายรูปแบบ ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ 2 รูปแบบคือ

2.2.6.1. แลงค์มัวร์ไอโซเทอม (Langmuir Isotherm)

ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงค์มัวร์ (Langmuir) เป็นพื้นฐานไอโซเทอร์มของการดูดซับ ไอโซเทอร์มแบบนี้ใช้อธิบายสมดุลการดูดซับภายใต้สมมติฐานว่า

- (1) การดูดซับสูงสุดสัมพันธ์กับโมเลกุลตัวถูกละลายที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ
 - (2) พื้นที่ของการดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน
 - (3) พลังงานของการดูดซับมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ
 - (4) ไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับในแนวระนาบบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ
- Langmuir isotherm สามารถเขียนอธิบายได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$Q = \frac{Q_m K C_e}{1 + K C_e} \quad (2.1)$$

เมื่อ Q = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (mg/g) = X/M

X = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (mg)

M = ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (g)

Q_m = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ (mg/g)

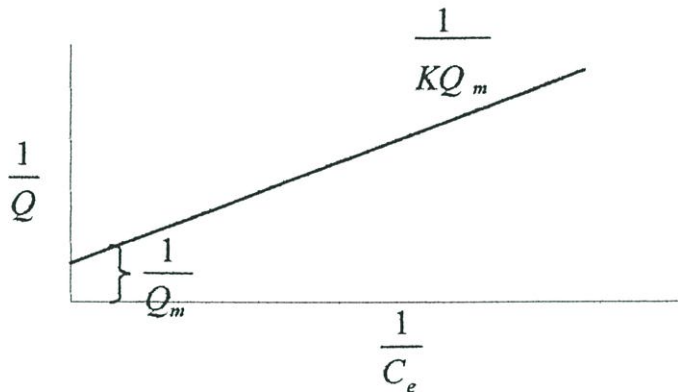
C_e = ความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของตัวถูกดูดซับที่จุดสมดุล (mg/l , M)

K = ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับ

จัดเป็นสมการเส้นตรงจะได้ดังนี้

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{KQ_m C_e} \quad (2.2)$$

ถ้าพลอตกราฟระหว่าง $1/Q$ กับ $1/C_e$ ได้สมการเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/KQ_m$ และจุดตัดบนแกน y เท่ากับ $1/Q_m$ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงคีมัวร์[17]

2.2.6.2. ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนลิช (Freundlich Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนลิชใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการอธิบายการดูดซับในระบบของของเหลวโดยมีสมมุติฐานดังนี้

1. การดูดซับมีลักษณะเป็น monolayer
2. ใช้กับกรณีการถ่ายเทพลังงานผ่านพื้นผิวแบบไม่เป็นเนื้อเดียว
3. ใช้ได้ดีกับตัวถูกดูดซับที่มีแนวโน้มถูกดูดได้ง่ายและมีความเข้มข้นต่ำถึง

ปานกลางซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้คือ

$$Q = \frac{X}{M} = KC_e^{1/n} \quad (2.3)$$

เมื่อ Q = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (mg/g)

X = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (mg)

M = ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (g)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่จุดสมดุล (mg/l, M)

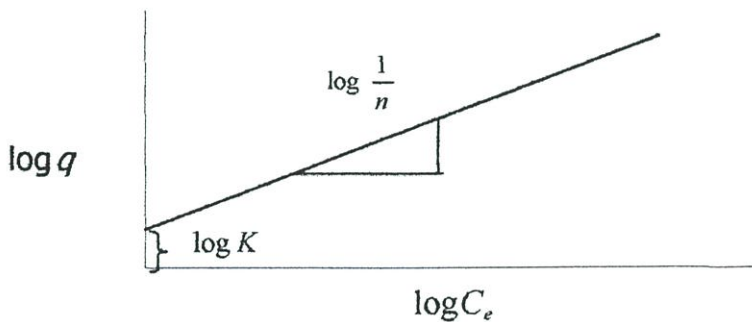
K = ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับ (mg/g)

$1/n$ = ค่าคงที่แสดงถึงการขึ้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย (Concentration Dependence)

จากสมการ 2.3

$$\log \frac{X}{M} = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.4)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log(X/M)$ กับ $\log C_e$ จะได้เส้นตรงซึ่งมีความชันเท่ากับ $1/n$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $\log K$ ดังรูปที่ 2.4 ถ้าค่า K และ $1/n$ มีค่าต่ำปริมาณในการดูดซับจะต่ำในทุกค่าความเข้มข้น แต่ถ้า $1/n$ สูงแสดงว่าความสามารถในการดูดซับนี้จะขึ้นกับความเข้มข้น เช่น หากความเข้มข้นต่ำความสามารถในการดูดซับจะลดลงอย่างรวดเร็ว และในทางตรงข้ามเมื่อความเข้มข้นสูงความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นอย่างมาก



รูปที่ 2.4 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนลิช[17]

2.2.7 แบบจำลองในการศึกษาอัตราในการดูดซับ (Models for Adsorption Rate) [34,35]

2.2.7.1 แบบจำลองการดูดซับอันดับหนึ่ง

สมการแบบจำลองอันดับหนึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (2.5)$$

ทำการอินทิเกรตจาก $t=0 \rightarrow t=t$

$q_t=0 \rightarrow q_t=q_t$

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_t}{2.303}\right)t \quad (2.6)$$

โดยที่ q_e คือ ปริมาณที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวที่ถูกดูดซับที่สภาวะอิ่ม (มิลลิกรัม/กรัม)

q_t คือ ปริมาณที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับที่เวลาต่างๆ (มิลลิกรัม/กรัม)

k_1 คือ ค่าคงที่อัตราสำหรับแบบจำลองการดูดซับอันดับหนึ่ง (1/นาที)

t คือ เวลา (นาที)

เมื่อทำการเขียนกราฟระหว่าง $\log (q_e - q_t)$ กับ t จะได้เส้นตรง ซึ่งสามารถหาค่า k_1 ได้จากความชัน

2.2.7. แบบจำลองการดูดซับอันดับสอง

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_{e2} - q_t)^2 \quad (2.7)$$

สมการแบบจำลองการดูดซับอันดับสองสามารถเขียนได้เป็น

$$\text{ทำการอินทิเกรตจาก } t = 0 \rightarrow t = t$$

$$q_t = 0 \rightarrow q_t = q_t$$

$$\frac{t}{q_t} = \left\{ \frac{1}{(k_2 q_{e2}^2)} \right\} + \left(\frac{1}{q_{e2}} \right) t \quad (2.8)$$

$$\frac{1}{(q_{e2} - q_t)} = \frac{1}{(q_{e2} + k_2 t)} \quad (2.9)$$

โดยที่ q_{e2} คือ ปริมาณที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับที่สภาวะอิ่มตัว (มิลลิกรัม/กรัม)

q_t คือ ปริมาณที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับที่เวลาต่างๆ (มิลลิกรัม/กรัม)

k_2 คือ ค่าคงที่อัตราสำหรับแบบจำลองการดูดซับอันดับสอง (มิลลิกรัม/กรัม

นาที)

เมื่อทำการเขียนกราฟระหว่าง t/q_t กับ t จะได้เส้นตรง ซึ่งสามารถหาค่า k_2 ได้จากจุดตัดแกน y

2.3 การบ่งบอกลักษณะและคุณสมบัติของฟีนอล[18]

2.3.1 การบ่งลักษณะ (identification)

ชื่อสามัญ: phenol

CAS (Chemical Abstracts Service Registry Number) : 108-95-2

ชื่อทางเคมี : phenol

สูตรโมเลกุล : C_6H_6O [C 76.6% , H6.43% , O 17.00 %]

สูตรโครงสร้าง : C_6H_5O

น้ำหนักโมเลกุล : 94.11

2.3.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพ (chemical and physical properties)

ฟีนอลเป็นผลึกไม่มีสีหรือสีขาว ถ้าไม่บริสุทธิ์จะมีสีชมพูอ่อนๆ มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว ดูดความชื้น ละลายน้ำได้ดี สารละลายที่ได้มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนจึงมีชื่อเรียกเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า กรดคาร์บอลิก (carbolic acid) สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของฟีนอลแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของฟีนอล [18]

สมบัติ	
จุดหลอมเหลว(°C)	40.85
จุดเดือด(°C)	182
จุดวาบไฟ(°C) (Open up)	85
(Closed up)	79
อุณหภูมิติดไฟได้เอง(°C)	715
ช่วงความเข้มข้นติดไฟได้% (ในอากาศ)	3-10
ความดันไอ(มม.ปรอท (ที่ 25 °C))	0.3513
การละลายน้ำ(กรัม/ลิตร (ที่ 16°C))	93
ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1)	3.24
ความถ่วงจำเพาะ	1.071
ดัชนีหักเหแสง(ที่ 41 °C)	1.5408

2.3.3 การวิเคราะห์

พินอลสามารถตรวจวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas chromatography) เป็นตัวแยก (separator) โดยใช้ flame ionization หรือ electron capture เป็นเครื่องตรวจวัด หรืออาจใช้เทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟีแบบสมรรถนะสูง (High Pressure liquid chromatograph, HPLC) ซึ่งจำกัดในการตรวจวัดความเข้มข้นของพินอลในอากาศเท่ากับ 0.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและในยูรีนเท่ากับ 0.5 ไมโครกรัมต่อลิตร

2.3.4 ผลกระทบและการนำไปใช้

ในปี พ.ศ.2544 พินอลเป็นวัตถุอันตรายที่ประเทศไทยนำเข้าเป็นอันดับที่ 10 [19] ในโรงงานส่วนใหญ่ใช้พินอลในการผลิต พินอลเรซิน บิสพินอลเอ คาโปแลกทัม และผลิตภัณฑ์ตัวอื่นๆ เช่น อัลคิลพินอล ไชนันอล ครีซอลและกรดอะดิพิคหรือมีการนำเอาพินอลมาผลิตยา สีย้อม อินดิเคเตอร์ ในห้องปฏิบัติการจะใช้พินอลเป็นรีเอเจนต์หรือสารช่วยล้างอุปกรณ์เพื่อใช้ฆ่าเชื้อโรค

2.3.5 พินอลในสิ่งแวดล้อม

พินอลพบได้ในการเผาไหม้ของควันบุหรี่และการระเหยของเบนซีน และในบรรยากาศทั่วไปจะพบปริมาณพินอลน้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับตัวเมืองใหญ่จะพบพินอลได้ 0.1-0.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร บริเวณแหล่งนิคมอุตสาหกรรมจะพบพินอลในปริมาณ 2 เท่า ของปริมาณพินอลที่พบปกติ พินอลสามารถสะสมในตะกอนดินและในน้ำใต้ดิน สำหรับควันบุหรี่และควันจากการปิ้งหรือย่างอาหารก็เป็นแหล่งกำเนิดพินอลที่ทำให้เกิดการกระจายตัวในอากาศ พินอลเข้าสู่สิ่งแวดล้อมจากแหล่งต่างๆ เช่น

1. จากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมและการใช้พินอลในการผลิตสารเคมีชนิดต่างๆ
2. จากบ้านเรือนและห้องปฏิบัติการจากการใช้พินอลเป็นสารฆ่าเชื้อ
3. จากไอเสียรถยนต์ที่มีพินอลปนอยู่เล็กน้อยที่มีความเข้มข้น 1.2-7.7 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

บาศก์เมตร

4. จากการย่อยสลายของเบนซีนโดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl)

ในอากาศ

2.3.6 ผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

โดยส่วนมากมักได้รับพินอลจากการหายใจสูดดมเข้าไป มีเพียงส่วนน้อยที่ได้รับพินอลจากการรับประทาน โดยผ่านการดื่มน้ำหรือควันของอาหาร หากได้รับพินอลจากการ

รับประทานจะมีผลต่อระบบทางเดินหายใจ และอาจกระทบกระเทือนการทำงานของระบบหายใจ ระบบไต ระบบประสาท อาจเกิดอาการช็อคอันตรายเป็นอันตรายถึงชีวิต หากได้รับจากการหายใจเข้าไปจะมีอาการวิงเวียนศีรษะ กระหายน้ำ น้ำหนักตัวลดลงและอาจมีปัสสาวะเป็นสีดำ แต่ไม่พบกรณีนี้ที่ผู้ป่วยได้รับฟีนอลโดยการหายใจเป็นอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต มีข้อเสนอแนะว่ามนุษย์ไม่ควรได้รับฟีนอลเกิน 60-200 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน หากได้รับเกินค่านี้หรือได้รับเป็นระยะเวลาเวลานานจะมีผลทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ นอกจากนี้ในแหล่งน้ำที่มีฟีนอลจะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำเมื่อมีความเข้มข้นของฟีนอลมากกว่า 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนในพืชและในสัตว์บกไม่ค่อยพบ ฟีนอลเคลื่อนย้ายโดยการพัดพาของลม การกัดเซาะและการชะของดิน ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะพบฟีนอลในระบบนิเวศวิทยาทั้งทางน้ำและทางบก แต่พบว่าในสัตว์น้ำหรือน้ำทะเลมีความเสี่ยงที่จะพบฟีนอลปนเปื้อนอยู่สูงมากกว่า

2.3.7 การกำจัดฟีนอลจากสิ่งแวดล้อม

โดยส่วนมากฟีนอลในบรรยากาศถูกกำจัดโดยปฏิกิริยาโฟโตเคมีเป็นไฮโดรเบนซีน ไนโตรฟีนอล เกิดการแตกวงเบนซีนหรือถูกกำจัดโดยการชะล้างของฝน ฟีนอลที่สะสมในน้ำใต้ดินจะถูกกำจัดทางปฏิกิริยาชีวภาพและกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ซึ่งจะเกิดเป็นไฮโดคาร์บอนและมีเทน

2.4 โครงสร้างและสมบัติของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว (surfactant) เป็นสารซึ่งมีสมบัติทั้งชอบน้ำและชอบน้ำมัน (amphiphilic compound) เพราะโครงสร้างของสารมีทั้งกลุ่มชอบน้ำ (hydrophilic group) และกลุ่มที่ชอบน้ำมัน (lipophilic group) ในโมเลกุลเดียวกัน ทำให้สามารถเชื่อมรอยต่อระหว่างวัฏภาคของน้ำ (hydro phase) และวัฏภาคน้ำมัน (lipid phase) ได้เป็นอย่างดี จึงทำหน้าที่เป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ได้ [20] ซึ่งสารลดแรงตึงผิวนี้ เป็นสารที่เกิดอยู่บริเวณผิวหน้าของสารละลาย แต่ก็ไม่ได้สะสมอยู่ แต่เพียงบริเวณผิวหน้าของสารเพียงอย่างเดียว แต่ยังทำการเปลี่ยนแปลงสมบัติของผิวหน้าของสารบริเวณนั้นๆ ด้วย สารลดแรงตึงผิวมีมากมายทั้งสังเคราะห์ขึ้นและที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น phospholipids ซึ่งเป็นส่วนประกอบในผนังเซลล์ และมีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยาเคมีในการดำรงชีวิต สารลดแรงตึงผิวมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุล ประกอบด้วยหมู่ที่มีแรงดึงดูดของสารละลายนั้นน้อยมาก เรียกว่าหมู่ lyophobic group (hydrophobic group หรือ tail group) มักประกอบด้วย หมู่อัลคิล (alkyl) หรือ alkylaryl hydrocarbon แต่ก็อาจมีหมู่ fluoroalkyl, silaalkyl, thiaalkyl , oxaalkyl ประกอบด้วย อีกตัวหนึ่งคือโครงสร้างของหมู่ที่มีแรงดึงดูดกับสารละลายได้

มากเรียกว่า lyophilic group (hydrophilic group หรือ Head group) เรียกหมู่ทั้งสองนี้รวมกัน ว่า amphipathic structure โครงสร้างแอมฟิพาติก (amphipathic) ของสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นเพียงอย่างเดียวไม่ได้เป็นสาเหตุของการทำปฏิกิริยาของสารลดแรงตึงผิวที่บริเวณผิวน้ำ และการลดลงของแรงตึงผิวของน้ำ แต่จะขึ้นอยู่กับกาห็นเห โมเลกุลที่บริเวณผิวน้ำกับพวก hydrophilic group ในรูปของของเหลว และหมู่ hydrophobic group ที่อยู่ทางขวาก็จะหลุดออกไป

hydrophobic group จะเป็นสาย hydrocarbon ต่อกันเป็นสายยาว และบางครั้งก็อาจจะ เป็น halogenated หรือ oxygenated hydrocarbon หรืออาจเป็นสาย siloxane ส่วน hydrophilic group จะเป็น ionic หรือหมู่ที่มีความเป็นขั้วสูง ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของหมู่ hydrophilic group และสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้คือ [21]

- 1) Anionic surfactant ตำแหน่งที่ทำปฏิกิริยาบนผิวน้ำสารละลาย มีประจุเป็นลบ เช่น $C_{12}H_{25}SO_4Na$ (Sodium dodecyl sulfate)
- 2) Cationic surfactant ตำแหน่งที่ทำปฏิกิริยาบนผิวน้ำสารละลายมีประจุเป็นบวก เช่น $RNH^+_3Cl^-$, $RN(CH_3)^+_3Cl^-$ (Quaternary ammonium chloride)
- 3) Zwitterionic surfactant ตำแหน่งที่ทำปฏิกิริยาบนผิวน้ำสารละลาย อาจมีประจุเป็นลบ หรือประจุบวกก็ได้ เช่น $RN^+H_2CH_2COO^-$ (Long-chain amino acid)
- 4) Noionic surfactant ตำแหน่งที่ทำปฏิกิริยาบนผิวน้ำสารละลาย ไม่มีประจุ เช่น $RCOOCH_2CHOHCH_2OH$ (Monoglyceride of long-chain fatty acid)

2.4.1 ลักษณะของสารลดแรงตึงผิว

ลักษณะของไมเซลล์ (micelle) หรือ micellization เป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อสมบัติต่างๆ ของสารลดแรงตึงผิว เช่น การลดลงของแรงตึงผิวภายใน เป็นต้น ความคงตัวของไมเซลล์ (micelle) ในสารละลาย จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว เช่น คุณสมบัติในการชะล้างสิ่งสกปรก และคุณสมบัติในการละลาย

ในสภาวะที่สารละลายมีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่ำนั้น โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะไม่ไหลไปรวมตัวกัน แต่ ณ จุดที่ความเข้มข้นพิเศษหรือเรียกว่าความเข้มข้น ณ จุดวิกฤต (Critical micelle concentration (CMC)) จะเกิดการไหลไปรวมกันของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะถูกรเรียกว่า ไมเซลล์ first form ถ้าสารละลายมีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงมากกว่าจุด CMC พวก monomer จะเหลืออยู่น้อยมาก การที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มจำนวนขึ้นเป็นการสร้าง ไมเซลล์ ให้มีมากขึ้นด้วย สารลดแรงตึงผิวที่รู้จักกัน

ทั่วไป เช่น Sodium dodezyl sulfate หรือ SDS ซึ่งมี $CMC = 8.3 \times 10^{-3} M$ และเกิดเป็นไมเซลล์ ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมที่ขรุขระ ไมเซลล์จะมีไฮโดรโฟบิกล้อมรอบภายในซึ่งสายอัลคิล (alkyl) ของสารลดแรงตึงผิวนั้น จะละลายได้ในน้ำมัน ทำให้หมู่ของ SDS นั้นถูกเปลี่ยนแปลงที่บริเวณผิวน้ำของไมเซลล์ซึ่งส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างที่เป็นทรงกลม (จำนวนที่รวมตัวกันน้อยกว่า 100 โมเลกุล) โดยมีลักษณะที่เป็นรูปทรงกระบอกต่อกัน สำหรับสารลดแรงตึงผิวที่ถูกละลายในรูปของสารละลาย โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว จะเปลี่ยนแปลงได้โดยหมู่ ไฮโดรโฟบิกจะหลุดออกจากมัน [20]

รูปแบบไมเซลล์ ของ ionic surfactants ในสารละลายของเหลว เป็นผลของแรงที่ตรงกันข้ามสองแรงลดน้อยลงนั่นคือ ไฮโดรโฟบิก สนับสนุนให้เกิดการรวมตัวกันของสารลดแรงตึงผิวและเกิดแรงผลักทางประจุไฟฟ้าระหว่างหมู่ของประจุทางหัวและประจุที่ตรงข้ามกัน ดังนั้น ถ้าความยาวของหางไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) นั้นยาวมากขึ้น จะส่งผลให้ไฮโดรโฟบิกแข็งแรงมากขึ้น แต่ค่า CMC จะลดลงและ ไมเซลล์ที่ถูกสร้างขึ้นจะมีขนาดใหญ่มากขึ้น บางครั้งถ้ามีการเติมเกลือบางชนิดลงไป ก็เป็นการลดแรงผลักระหว่างหมู่ทางหัว และค่า CMC ก็ลดลง

2.4.2 ความสามารถในการละลายของสารลดแรงตึงผิว

ความสามารถในการละลาย เป็นคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับลักษณะของไมเซลล์ ซึ่งมันเป็นสิ่งสำคัญเมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรม เช่น ใช้ในการเคลื่อนย้ายของเสียประเภทน้ำมัน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนั้น ถูกกำหนดขึ้นโดยสมบัติเฉพาะตัวของสารตั้งต้นที่เป็นปฏิริยาย้อนกลับได้ สารอินทรีย์ใช้เวลาในการละลายในสารลดแรงตึงผิวสูงกว่าสารลดแรงตึงที่ละลายในน้ำ ณ ความเข้มข้นที่จุด CMC

ตำแหน่งในไมเซลล์ทำให้สารลดแรงตึงผิวมีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันไปโดยจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารนั้นๆ และขึ้นอยู่กับชนิดของปฏิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารลดแรงตึงผิว และความสามารถในการละลาย การศึกษาความสามารถในการละลายโดยมากจะศึกษาโดยใช้ X-ray spectrometry และ NMR spectrometry เป็นต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการละลายนั้น อาจเกิดขึ้นจากความแตกต่างของตำแหน่งของไมเซลล์ เช่น บริเวณผิวน้ำของไมเซลล์ บริเวณผิวน้ำภายในของไมเซลล์บริเวณระหว่างหมู่ hydrophobic และอะตอมของคาร์บอนลำดับแรกของหมู่ hydrophobic หรือจะเป็นบริเวณที่ลึกลงไปใน ชั้น ไมเซลล์ และ ภายในแกนของ ไมเซลล์

ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดการหักเหแสง เช่น สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวมีสายสั้น ๆ เช่น benzene, isopropyl benzene โดยเริ่มแรกสารจะเกิดการดูดซับที่บริเวณระหว่างผิวน้ำของ micelle หรือ บางทีก็จะซึมผ่านไปยังแกนภายนอกของ micelle ปิดล้อมบริเวณส่วนหัวที่มีขั้ว แต่ ถ้ายังมีการละลายของสารเพิ่มมากขึ้นอีกเรื่อยๆ ก็จะมีการซึมย้อนกลับเข้าไปบริเวณ palisade

layer หรือก็คือตำแหน่งภายในแกนของไมเซลล์ ความสามารถในการเกิดการหักเหแสงของกลุ่มหมอกของพวย อิลิกโตรอน (π) ในนิวเคลียสของสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นวง ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกของหมู่แอมโมเนียม ที่บริเวณระหว่างผิวหน้าของไมเซลล์ ซึ่งนี่อาจจะเป็นสาเหตุให้ไฮโดรคาร์บอนเกิดการดูดซับ ณ บริเวณนั้นๆ

ส่วนโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีความเป็นขั้วมาก เช่น แอลกอฮอล์ที่ต่อกันเป็นสายยาว หรือสารที่ใช้ในการย้อมสีผ้าต่าง ๆ มีความเป็นขั้วมาก ซึ่งสารพวกนี้เชื่อกันว่า สามารถละลายในสารละลายตัวกลางได้ ความสามารถในการละลายที่เกิดขึ้นนั้น อาจเกิดจากพันธะไฮโดรเจน หรือแรงดึงดูดระหว่างขั้วซึ่งเกิดระหว่างหมู่ที่มีขั้วของสารละลายกับสารลดแรงตึงผิว แสงที่ส่องผ่านสารละลายจะแสดงให้เห็นว่าบางส่วนของสารละลายจะถูกล้อมรอบด้วยขั้ว เมื่อเกิดการละลายหรือการผ่านลึกลงไปในชั้นของไมเซลล์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างโครงสร้างที่มีขั้วต่อโครงสร้างที่ไม่มีขั้วในโมเลกุลของสารละลาย ถ้าโมเลกุลของสารต่อกันเป็นโซ่ยาวมาก ๆ และสารประกอบนั้นมีความเป็นขั้วน้อยจะสามารถผ่านได้ลึกมากกว่าโมเลกุลของสารต่อกันเป็นสายสั้น ๆ มีความเป็นขั้วน้อย

โมเลกุลที่มีความเป็นขั้วน้อยในสารละลายโดยทั่วไป เมื่อถูกละลายก็จะปิดล้อมบริเวณผิวหน้าในชั้นไมเซลล์ หรือดูดซับอยู่บริเวณระหว่างผิวน้ำของไมเซลล์ เมื่อส่องแสงผ่านสารละลาย จะพบว่าสามารถเกิดการละลายได้อย่างสมบูรณ์ในสารละลายที่มีสารลดแรงตึงผิวที่เจือจางนั้น จะเกิดเป็นไมเซลล์ได้ยากโดยโมเลกุลที่มีความเป็นขั้วส่วนใหญ่จะละลายอยู่บริเวณภายนอกของโครงสร้างของ micellar ส่วนพวกสารละลายที่ไม่มีขั้ว จะอยู่บริเวณภายใน [20]

สำหรับสารลดแรงตึงผิวประเภทไอออนิกความสามารถในการละลายนั้นมีอยู่ 3 แบบ คือ

1. พวกโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจะละลายในแกนของ micellar ซึ่งเป็นบริเวณที่ส่วนหางของไฮโดรคาร์บอนจะไหลไปรวมกันซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการละลาย

2. โมเลกุลที่มีขั้วจะประกอบไปด้วยสายไฮโดรคาร์บอนและหมู่ชอบน้ำ (hydrophilic) อ่อนๆ เช่นสายโซ่ของแอลกอฮอล์ หรือของเอมีน จะถูกรวมเข้าไปในไมเซลล์กับส่วนหางของไฮโดรคาร์บอนในชั้นไมเซลล์และส่วนหัวของหมู่ชอบน้ำ (hydrophilic) จะยื่นออกมาในสารละลายตัวกลางบริเวณรอบนอกของ micellar

3. สารละลายบางตัวก็จะไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอนหรือน้ำ เช่น dimethylphthalate แต่เชื่อกันว่าจะเกิดการดูดซับที่บริเวณ ไมเซลล์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Banat F.A. และคณะ [3] ศึกษาการดูดซับฟีนอลในสารละลายโดยใช้เบนโทไนด์ ทำการศึกษาแบบไม่ต่อเนื่อง และศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโดยศึกษาเวลาสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้นพีเอช ตัวทำละลาย และการคายออกจากผิว การดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายฟีนอลและลดลงเมื่อเพิ่มพีเอช กระบวนการดูดซับจะเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปลี่ยนตัวทำละลายของฟีนอลพบว่า การกำจัดฟีนอลเมื่อใช้ไซโคลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย มีค่าการกำจัดมากกว่าใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย และการกำจัดต่ำที่สุดเมื่อใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ซึ่งเมทานอลนี้ใช้เป็นตัวสกัดฟีนอลออกจากเบนโทไนด์ ค่าการสกัดนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนฟีนอลที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวเบนโทไนด์ จากการศึกษาโดยใช้เอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ พบว่ามีความเป็นผลึกของเบนโทไนด์ถูกทำลายเมื่อใช้ไซโคลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ความสามารถในการดูดซับฟีนอลในไซโคลเฮกเซนลดลง เมื่ออัตราส่วนของน้ำต่อไซโคลเฮกเซนเพิ่มขึ้น จากการศึกษาการคายออกจากผิวพบว่าไม่เกิดขึ้นและการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับพบว่าเหมาะกับไอโซเทอมฟรุนลิชและแลงคัมัวร์ การกำจัดฟีนอลนี้ศึกษาโดยไม่ได้มีการปรับปรุงผิวของเบนโทไนด์

Zhu Lizhong และคณะ [22] ศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวภายนอกและพื้นผิวภายในเบนโทไนด์ โดยใช้ cetyltrimethyl ammonium bromide (ซีทริลไตรเมทิล แอมโมเนียมโบรไมด์) (CTAB) ซึ่งใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีขี้ในน้ำ การกำจัด เบนซีน โทลูอีน และเอทิลเบนซีน มีไอโซเทอมเป็นเส้นตรงแสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสของสารอินทรีย์ในน้ำกับสารอินทรีย์ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันใน CTAB ฟีนอล และพาราไนโตรฟีนอลมีไอโซเทอมการดูดซับเป็นเส้นโค้ง ส่วนไนโตรเบนซีนและแอนนิลีน ถูกดูดซับได้น้อยและมีไอโซเทอมเป็นเส้นตรง ดังนั้นการกำจัดจึงเป็นไปได้ทั้งการดูดซับและการเปลี่ยนแปลงเฟสของสารซึ่งดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของน้ำและออกทานอลของสารอินทรีย์

Zhu Lizhong และคณะ [23] ศึกษาการปรับปรุงเบนโทไนด์โดยเติมควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไอออนที่มีหมู่ไฮโดรคาร์บอนโซยาว (quaternary ammonium cation) เช่น โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมไอออน (dodecyltrimethyl ammonium (DTMA)) และเติมควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไอออนที่มีหมู่ไฮโดรคาร์บอนโซสั้น (quaternary ammonium cation) เช่น เทตระเมทิลแอมโมเนียมไอออน (tetramethyl ammonium (TMA)) โดยศึกษาปัจจัย กลไก และลักษณะความเข้มข้นของสาร ความแรงของไอออนของสารอินทรีย์ เช่น พาราไนโตรฟีนอล ฟีนอลและแอนนิลีน การดูดซับโดยใช้เบนโทไนด์ที่มีสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด แปรค่าสภาวะที่เหมาะสมโดยแปรค่า พีเอช เวลาสัมผัส โครงสร้างของเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุง เช่น ความกว้างของระนาบผลึก และองค์ประกอบของสารอินทรีย์ รวมถึงคุณสมบัติของสารอินทรีย์ เช่น

ค่าสัมประสิทธิ์การละลายของออกธานอลต่อน้ำ ไอโซเทอมการดูดซับของ พาราไนโตรฟีนอล ฟีนอลและแอนนิลีน เป็นเส้นโค้ง กลไกการกำจัดเกิดทั้งการดูดซับและการเปลี่ยนเฟสของสาร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นต่ำๆเกิดการดูดซับและความเข้มข้นสูงๆเกิดการเปลี่ยนเฟสของสาร ดังนั้นเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดในช่วงความเข้มข้นที่กว้าง

Yun-Hwei Shen [24] ศึกษาการปรับปรุงเบนโทไนด์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีหมู่ไฮโดรคาร์บอนที่สั้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ กระบวนการกำจัดรวมถึงการกระจายตัวของเบนโทไนด์ในน้ำแล้วเติมสารลดแรงตึงผิวเพื่อให้เบนโทไนด์เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน (floc) และจับสารอินทรีย์ในน้ำ กลุ่มของเบนโทไนด์นี้สามารถกำจัดออกจากน้ำโดยการทำให้ตกตะกอน (sedimentation) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเบนซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (benzyltrimethyl ammonium bromide (BTAB)) สามารถกำจัดฟีนอลได้มากที่สุด เนื่องจากฟีนอลเกิดพันธะไฮโดรเจนกับวงเบนซีน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมสามารถกำจัดฟีนอลได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์และสามารถนำเบนโทไนด์กลับมาใช้ได้ใหม่เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการเผาไล่สารอินทรีย์ออกไปและจากกระบวนการนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการกำจัดน้ำเสียอุตสาหกรรมได้

Max M Mortland และคณะ [25] พบว่า สารประกอบดินมักจะมีประจุลบโดยเติมควอเทอร์นารีแอมโมเนียมไอออน (quaternary ammonium) บนผิวสเมกไทต์ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก และได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับฟีนอลและอนุพันธ์ฟีนอล สารอินทรีย์ที่มีประจุบวกที่ใช้คือ เฮกซะเดซิลไพริดีเนียม (hexadecylpyridinium) และไตรเมทิลฟีนิลแอมโมเนียมไอออน (trimethyl phenyl ammonium) สารประกอบดินจะมีหมู่อัลคิลที่ยาวซึ่งจะทำให้มีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น และการดูดซับฟีนอลและอนุพันธ์ขึ้นอยู่กับความไม่ชอบน้ำ ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีหมู่คลอรีนเพิ่มขึ้น เมื่อใช้อร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ความแตกต่างของการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดและแรงระหว่างสารอินทรีย์กับสารประกอบดิน การดูดซับฟีนอลขึ้นอยู่กับพลังงานของตัวดูดซับ ตัวถูกดูดซับ และตัวทำละลาย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เบนโทไนต์ (Bentonite) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทซิกมา(Sigma)
2. เบนซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (BTAB) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทฟลูกา(Fluka)
3. เบนซาโคเนียมคลอไรด์ (BDAC) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทฟลูกา(Fluka)
4. ทวิน20 (Tween 20) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทฟลูกา(Fluka)
5. โดเดคซิลเบนซีนซัลโฟนิกแอซิด (LBS) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทเอครอส ออแกนิก(Acros organic)
6. โซเดียมลอลิวซัลเฟต (SDS) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทคาร์โลเอออบารีเอเจนต์(Carlo erba reagent)
7. ฟีนอล (C_6H_5O) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทเมอร์ค(Merck)
8. 2 คลอโรฟีนอล(C_6H_4OCl) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทเมอร์ค(Merck)
9. 2,4 คลอโรฟีนอล($C_6H_3OCl_2$) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทเมอร์ค(Merck)
10. โพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต ($K_3Fe(CN)_6$) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทฟลูกา (Fluka)
11. 4-อะมิโนแอนติไพรีนเกรดวิเคราะห์ของบริษัทฟลูกา(Fluka)
12. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (NH_4OH) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทเมอร์ค(Merck)
13. ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจน ฟอสเฟต (K_2HPO_4) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทเมอร์ค(Merck)
14. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทเมอร์ค(Merck)
15. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทเมอร์ค(Merck)
16. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ของบริษัทเมอร์ค(Merck)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Spectrophotometer) รุ่นUV-1601ยี่ห้อ Shimadzu พร้อมเซลล์ควอดรuple 1 อัน
2. เครื่องเขย่าสาร (shaker) รุ่น Orbital Shaker SGM.300 ยี่ห้อ GALLENKAMP
3. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น 320ยี่ห้อ Mettler toledo
4. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น 202 ยี่ห้อซิกมา (Sigma) และหลอดปั่นเหวี่ยง

3. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น 320 ยี่ห้อ Metler toledo
4. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น 202 ยี่ห้อซิกมา (Sigma) และหลอดปั่นเหวี่ยง
5. เครื่องวัดความขุ่น รุ่น 6035 ยี่ห้อเจนเวย์ (Jenway)
6. เครื่องจาร์เทส รุ่น JARTEST F.4/S ยี่ห้อ VELP SCIENTIFICA made in Italy
7. เครื่องออโตซอร์บ (Autosorb) รุ่น 1 ยี่ห้อ Quantumchrome
8. เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโทมิเตอร์ (XRD) รุ่น D8 Advance บริษัท Bruker A.G.
9. เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรมิเตอร์ (X-Ray Fluorescence Spectrometer)
10. เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope) รุ่น JSM 5410 ยี่ห้อ JEOL

3.3 ดำเนินการทดลอง

3.3.1 สมบัติทางกายภาพของเบนโทไนด์ก่อนและหลังการปรับปรุง

3.3.1.1 การศึกษาองค์ประกอบของเบนโทไนด์ พื้นที่ผิวจำเพาะ โครงสร้างค่าความจุการแลกเปลี่ยนแคตไอออน และความกว้างของระนาบผลึกของเบนโทไนด์

ศึกษาองค์ประกอบโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer) ศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้เครื่องออโตซอร์บ ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการระเหยของสารลดแรงตึงผิว ศึกษาโครงสร้างโดยใช้เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) และศึกษาความกว้างของระนาบผลึกโดยใช้เอกซเรย์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และศึกษาค่าความจุการแลกเปลี่ยนแคตไอออน โดยวิธีแอมโมเนียมอะซิเตต [26]

3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟีนอล

3.3.2.1 การศึกษาชนิดสารลดแรงตึงผิวและพีเอชที่เหมาะสม

ศึกษาการดูดซับฟีนอลโดยใช้สารลดแรงตึงผิว 5 ชนิด คือสารลดแรงตึงผิวประเภทที่มีประจุบวกได้แก่ BTAB และ BDAC ประเภทที่เป็นกลางได้แก่ Tween20 และประเภทที่มีประจุลบได้แก่ SDS และ LBS ทำการศึกษาแบบครั้ง (batch) โดยชั่งเบนโทไนด์ 0.2 กรัมต่อสารละลาย 20 มิลลิลิตร เติมสารลดแรงตึงผิวเข้มข้น 0.134 มิลลิโมล ความเข้มข้นฟีนอลเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชสารละลายให้เท่ากับ 3 7 9 และ 11 ด้วย 0.1 นอร์มอลไฮโดรอกไซด์ และ 0.1 นอร์มอลกรดซัลฟิวริก เขย่านาน 1 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที จากนั้นนำสารละลายไปปั่นเหวี่ยง 4000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที กรองสารละลายส่วน

ใส่ด้วยซินเตอร์กลาสเบอร์ 4 และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลที่เหลือด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine [27] คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดและทำชุดควบคุมด้วยทุกครั้ง

3.3.2.2 การศึกษาของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว

ทำการทดลองโดยใช้สารลดแรงตึงผิว BTAB และ BDAC (จากการทดลองที่

3.3.2.1) ทำการศึกษาแบบครั้ง(batch) โดยชั่งเบนโทไนด์ 0.2 กรัมต่อสารละลาย 20 มิลลิลิตร เติมสารลดแรงตึงผิว เข้มข้น 0.067 0.1005 0.134 และ 0.201 มิลลิโมล ให้ความเข้มข้นฟีนอลเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชสารละลายให้เท่ากับ 7 (จากการทดลองที่ 3.3.2.1) ด้วย 0.1 นอร์มอลโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 0.1 นอร์มอลกรดซัลฟิวริก เขย่านาน 1 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที จากนั้นนำสารละลายไปปั่นเหวี่ยง 4000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที กรองสารละลายส่วนใสด้วยซินเตอร์กลาสเบอร์ 4 และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลที่เหลือด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine [27] คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดและทำชุดควบคุมด้วยทุกครั้ง

3.3.2.3 การศึกษาของเวลาสัมผัส

ทำการทดลองโดยใช้สารลดแรงตึงผิว BTAB และ BDAC ทำการศึกษาแบบครั้ง(batch) โดยชั่งเบนโทไนด์ 0.2 กรัมต่อสารละลาย 20 มิลลิลิตร ความเข้มข้นฟีนอลเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของ BTAB เท่ากับ 0.1005 มิลลิโมล และความเข้มข้นของ BDAC เท่ากับ 0.134 มิลลิโมล (จากการทดลองที่ 3.3.2.2) ปรับพีเอชสารละลาย ให้เท่ากับพีเอช 7 ด้วย 0.1 นอร์มอลโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 0.1 นอร์มอลกรดซัลฟิวริก เขย่านาน 0 5 10 20 30 60 120 180 และ 240 นาที ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที จากนั้นนำสารละลายไปปั่นเหวี่ยง 4000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที กรองสารละลายส่วนใสด้วยซินเตอร์กลาสเบอร์ 4 และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลที่เหลือด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine [27] คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดและทำชุดควบคุมด้วยทุกครั้ง

3.3.2.4 การศึกษาของความเร็วยรอบ

ทำการทดลองโดยใช้สารลดแรงตึงผิว BTAB และ BDAC ทำการศึกษาแบบครั้ง(batch) โดยชั่งเบนโทไนด์ 0.2 กรัมต่อสารละลาย 20 มิลลิลิตร ความเข้มข้นฟีนอลเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของ BTAB เท่ากับ 0.1005 มิลลิโมล และความเข้มข้นของ BDAC เท่ากับ 0.134 มิลลิโมล ปรับพีเอชสารละลาย ให้เท่ากับพีเอช 7 ด้วย 0.1 นอร์มอลโซเดียม

ไฮดรอกไซด์ และ 0.1 นอร์มอลกรดซัลฟิวริก เขย่าโดยใช้เวลา 10 นาที (จากผลการทดลองที่ 3.3.2.3) ความเร็วรอบ 0 60 120 180 และ 240 รอบต่อนาที จากนั้นนำสารละลายไปปั่นเหวี่ยง 4000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที กรองสารละลายส่วนใสด้วยซินเตอร์กลาสเบอร์ 4 และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลที่เหลือด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine [27] คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดและทำชุดควบคุมด้วยทุกครั้ง

3.3.2.5 ศึกษาของความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลและไอโซโทมการดูดซับ

ทำการทดลองโดยใช้สารลดแรงตึงผิว BTAB และ BDAC ทำการศึกษาแบบครั้ง(batch) โดยซิงเบนโทไนด์ 0.2 กรัมต่อสารละลาย 20 มิลลิลิตร ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้น 20 50 100 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของ BTAB เท่ากับ 0.1005 มิลลิโมล และความเข้มข้นของ BDAC เท่ากับ 0.134 มิลลิโมล ปรับพีเอชสารละลายให้เท่ากับพีเอช 7 ด้วย 0.1 นอร์มอลโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 0.1 นอร์มอลกรดซัลฟิวริก เขย่าโดยใช้เวลา 10 นาที ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที (จากการทดลองที่ 3.3.2.4) จากนั้นนำสารละลายไปปั่นเหวี่ยง 4000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที กรองสารละลายส่วนใสด้วยซินเตอร์กลาสเบอร์ 4 และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลที่เหลือด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine [27] คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดและทำชุดควบคุมด้วยทุกครั้ง

3.3.2.6 การศึกษาความแรงไอออน

ทำการทดลองโดยใช้สารลดแรงตึงผิว BTAB และ BDAC ทำการศึกษาแบบครั้ง(batch) โดยซิงเบนโทไนด์ 0.2 กรัมต่อสารละลาย 20 มิลลิลิตร ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้นเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของ BTAB เท่ากับ 0.1005 มิลลิโมล และความเข้มข้นของ BDAC เท่ากับ 0.134 มิลลิโมล แปรค่าความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์เป็น 0.001 0.01 0.05 0.1 และ 0.9 โมลต่อลิตร ปรับพีเอชสารละลายให้เท่ากับพีเอช 7 ด้วย 0.1 นอร์มอลโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 0.1 นอร์มอลกรดซัลฟิวริก เขย่าโดยใช้เวลา 10 นาที ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที จากนั้นนำสารละลายไปปั่นเหวี่ยง 4000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที กรองสารละลายส่วนใสด้วยซินเตอร์กลาสเบอร์ 4 และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลที่เหลือด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine [27] คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดและทำชุดควบคุมด้วยทุกครั้ง

3.3.3 การศึกษาการคายออกจากผิว

ทำการศึกษาโดยซิงเบนโทไนด์ที่ผ่านการดูดซับที่สภาวะการทดลองที่ 3.3.3 มา 0.2 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที นาน 60 นาที จากนั้นนำสารละลายไปปั่นเหวี่ยง 4000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที กรองสารละลายส่วนใสด้วยซินเตอร์กลาสเบอร์ 4 และกระดาษกรอง

Whatman เบอร์ 42 วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลที่เหลือด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine [27] คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดและทำชุดควบคุมด้วยทุกครั้ง

3.3.4 การศึกษาจลนพลศาสตร์

ทำการทดลองโดยใช้สารลดแรงตึงผิว BTAB และ BDAC ทำการศึกษาแบบครั้ง (batch) โดยชั่งเบนโทไนด์ 0.2 กรัมต่อสารละลาย 20 มิลลิลิตร ความเข้มข้นฟีนอล 20 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของ BTAB เท่ากับ 0.1005 มิลลิโมล และความเข้มข้นของ BDAC เท่ากับ 0.134 มิลลิโมล ปรับพีเอชสารละลายให้เท่ากับพีเอช 7 ด้วย 0.1 นอร์มอลโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 0.1 นอร์มอลกรดซัลฟิวริก เขย่าโดยใช้เวลา 0 5 10 20 30 60 120 และ 180 นาที ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที จากนั้นนำสารละลายไปปั่นเหวี่ยง 4000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที กรองสารละลายส่วนใสด้วยซินเตอร์กลาสเบอร์ 4 และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลที่เหลือด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine [27] คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดและทำชุดควบคุมด้วยทุกครั้ง

3.3.5 การศึกษากระบวนการตกตะกอนโดยเทคนิคจาร์เทส

ทำการทดลองโดยชั่งเบนโทไนด์ 1 กรัม ลงบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่นลงไป 550 มิลลิลิตรกวนให้เข้ากันที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที นาน 2 นาที ปรับพีเอชสารละลายให้เท่ากับพีเอช 7 ด้วย 0.1 นอร์มอลโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 0.1 นอร์มอลกรดซัลฟิวริก แปรค่าความเข้มข้นของ BTAB และ BDAC เป็น 0.067 0.1005 0.134 และ 0.201 มิลลิโมล กวนที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที นาน 2 นาที จากนั้น กวนที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที นาน 15 นาที ทิ้งสารละลายให้ตกตะกอนนาน 60 นาที ปิเปตสารละลายส่วนใสไปวัดความขุ่น

3.3.6 การศึกษากระบวนการตกตะกอนกับการดูดซับฟีนอลและอนุพันธ์ในน้ำสังเคราะห์โดยเทคนิคจาร์เทส

ทำการทดลองโดยชั่งเบนโทไนด์ 1 กรัมลงบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตรเติมฟีนอลเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป กวนให้เข้ากันที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที นาน 2 นาที ปรับพีเอชสารละลายให้เท่ากับพีเอช 7 ด้วย 0.1 นอร์มอลโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 0.1 นอร์มอลกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นของ BTAB เท่ากับ 0.1005 มิลลิโมล และความเข้มข้นของ BDAC เท่ากับ 0.134 มิลลิโมล (จากการทดลองที่ 3.3.6) กวนที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที นาน 2 นาที จากนั้น กวนที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที นาน 15 นาที ทิ้งสารละลายให้ตกตะกอนนาน 60 นาที วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลที่เหลือด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine [27] คำนวณหาเปอร์เซ็นต์

การกำจัดและทำชุดควบคุมเหมือนการทดลองที่ 3.3.6 ด้วยทุกครั้ง ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนฟีนอลเป็น 2 คลอโรฟีนอลและ 2,4 ไดคลอโรฟีนอล

3.3.7 การศึกษากระบวนการตกตะกอนร่วมกับการดูดซับในน้ำทิ้ง

1. ทำการกลั่นหาความเข้มข้นเริ่มต้นของฟีนอลทั้งหมดของน้ำทิ้ง
2. ทำการทดลองโดยชั่งเบนโทไนด์ 1 กรัมลงบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำทิ้งตัวอย่างลงไป 550 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากันที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาทีนาน 2 นาที ปรับพีเอชสารละลายให้เท่ากับพีเอช 7 ด้วย 0.1 นอร์มอลโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 0.1 นอร์มอลกรดซัลฟิวริก เดิม BTAB ซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.1005 มิลลิโมล กวนที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีนาน 2 นาที จากนั้น กวนที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที นาน 15 นาทีที่ทั้งสารละลายให้ตกตะกอนนาน 60 นาที ปิเปตสารละลายส่วนใสไปกลั่นหาความเข้มข้นและวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลที่เหลือด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine [27] ดำเนินการเปอร์เซ็นต์การกำจัดและทำชุดควบคุมเหมือนการทดลองที่ 3.3.6 ด้วยทุกครั้ง

3.3.8 การศึกษาการระเหยของฟีนอล

ศึกษาน้ำหนักที่หายไป เมื่อทำการให้ความร้อนจากอุณหภูมิห้องจนถึง 300 องศาเซลเซียส ของสารตัวอย่าง 4 ตัวคือ เบนโทไนด์ เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB และผ่านการดูดซับฟีนอล และBTAB โดยใช้เครื่องเทอมอลกราวิที อนุไลเซอร์ (TGA) ภายใต้สภาวะไนโตรเจน

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 ผลการศึกษาสมบัติเบนโทไนต์

4.1.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเบนโทไนต์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเบนโทไนต์ ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรมิเตอร์ พบว่ามีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักถึงร้อยละ 67.5 อลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 21 และองค์ประกอบอื่นๆแสดงในตารางที่ 4.1 สอดคล้องกับการศึกษาการปรับปรุงมอลโมริลโลไนต์ ส่วนที่ 1 การเตรียม ลักษณะ และการดูดซับฟีนอลโดย Jai-Qian Jiang [32] พบว่าองค์ประกอบหลักคือ SiO_2 ซึ่งมีถึงร้อยละ 69.31 และ Al_2O_3 มีร้อยละ 14.93

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเบนโทไนต์

ชนิดตัวอย่าง	ปริมาณธาตุ(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)							
	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	MgO	Fe_2O_3	CaO	SO_3	K_2O
เบนโทไนต์	67.5	21.0	3.54	2.84	2.77	1.10	0.78	0.293

4.1.2 ผลการศึกษาความจุการแลกเปลี่ยนประจุบวกของเบนโทไนต์

ผลการวิเคราะห์ความจุการแลกเปลี่ยนประจุบวกของเบนโทไนต์ด้วยวิธีแอมโมเนียมอะซิเตท [26] มีค่าเท่ากับ 67 มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Lizhong และคณะ [22] ศึกษาการใช้ซิทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์กำจัดสารอินทรีย์มีขั้วออกจากน้ำ พบว่าค่าความจุการแลกเปลี่ยนประจุบวกของเบนโทไนต์มีค่าเท่ากับ 74.64 มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม และการศึกษาของ S.H Lin และคณะ [36] ศึกษาการดูดซับฟีนอลและเมทาคลอโรฟีนอลโดยใช้เบนโทไนต์ที่ปรับปรุงและนำกลับมาใช้ใหม่โดยการผ่านความร้อน พบว่าค่าความจุการแลกเปลี่ยนประจุบวกของเบนโทไนต์มีค่าเท่ากับ 58 มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม

4.1.3 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างของเบนโทไนด์

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของเบนโทไนด์ โดยเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) พบว่าเบนโทไนด์มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยมวางซ้อนกันเป็นชั้นและเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆมีโครงสร้างคล้ายกันดังแสดงผลในภาคผนวก ก

4.1.4 ผลการศึกษาความกว้างของระนาบผลึก (d spacing)

จากการศึกษาความกว้างของระนาบผลึก (d spacing) โดยใช้เอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์พบว่า เบนโทไนด์มีความกว้างของหลืบดินเท่ากับ 12.81 อังสตรอม และจากกราฟดังแสดงในภาคผนวก ข จะเห็นว่าเบนโทไนด์มีการจัดเรียงตัวที่เป็นอสัณฐาน(amorphous) คือมีการจัดเรียงตัวไม่แน่นอนไม่มีความเป็นผลึก จากการศึกษาคความกว้างของระนาบผลึกโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ พบว่าดินที่ผ่านการปรับปรุงโดยใช้ BTAB มีการจัดเรียงตัวเป็นผลึก (crystalline) มากขึ้น และค่าความกว้างของระนาบผลึกเพิ่มขึ้นเป็น 14.84 อังสตรอม เมื่อใช้ BDAC ปรับปรุง พบว่ามีการจัดเรียงตัวเป็นผลึกเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับเบนโทไนด์ และค่าความกว้างของระนาบผลึกเพิ่มขึ้นเป็น 16.20 อังสตรอม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการปรับปรุงโดยใช้ Tween20 ในขณะที่ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดที่เป็นลบสองตัวคือ SDS และ LBS พบว่าการจัดเรียงตัวยังคงเป็นอสัณฐานอยู่ และค่าความกว้างของดินมีค่าเท่ากับ 12.27 และ 12.71 อังสตรอม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าของเบนโทไนด์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sameer Al-Asheh และคณะ [28] โดยใช้เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงหลายชนิดมากำจัดฟีนอล พบว่าผลจากการศึกษาเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน แสดงให้เห็นว่าความกว้างของระนาบผลึกของเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวทั้งหมดเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับเบนโทไนด์ ยกเว้นเบนโทไนด์ที่ผ่านการเผา ซึ่งการเพิ่มความกว้างของระนาบผลึก แสดงให้เห็นถึงพื้นผิวของตัวดูดซับที่ฟีนอลสามารถเข้าไปจับได้ และการศึกษาของ Lizhong และคณะ [22] ศึกษาการใช้ซิทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์กำจัดสารอินทรีย์มีขั้วออกจากน้ำ พบว่า การที่ความกว้างของระนาบผลึกเพิ่มขึ้นแสดงว่าสารลดแรงตึงผิวเกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุเข้าไปอยู่ภายในรูเล็กๆ (micropore) ของเบนโทไนด์ ส่วนความกว้างของระนาบผลึกเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นๆ แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความกว้างของระนาบผลึก

ชนิดตัวอย่าง	ความกว้างของระนาบผลึก(องศาตรอม)
เบนโทไนด์ปรับปรุงด้วย BTAB	14.84
เบนโทไนด์ปรับปรุงด้วย BDAC	16.20
เบนโทไนด์ปรับปรุงด้วย Tween20	16.98
เบนโทไนด์ปรับปรุงด้วย LBS	12.27
เบนโทไนด์ปรับปรุงด้วย SDS	12.71
เบนโทไนด์	12.81

4.1.5 ผลการศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะ

จากการหาพื้นที่ผิวจำเพาะของเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว 5 ชนิดลงไปได้แก่ เบนซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (BTAB) เบนซาโคเนียมคลอไรด์ (BDAC) ทวิน 20 (Tween 20) โดเดซิลเบนซีนซัลโฟนิคแอซิด (LBS) และ โซเดียมลอลิวซัลเฟต (SDS) โดยใช้ไนโตรเจนเป็นก๊าซที่ดูดซับบนพื้นผิวของตัวอย่าง อุณหภูมิในการไล่ก๊าซให้เป็นสุญญากาศ คือ 100 องศาเซลเซียส แสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงพื้นที่ผิวจำเพาะของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ

ชนิดตัวอย่าง	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อกรัม)
เบนโทไนด์ปรับปรุงด้วย BTAB	40.30
เบนโทไนด์ปรับปรุงด้วย BDAC	38.40
เบนโทไนด์ปรับปรุงด้วย Tween20	21.39
เบนโทไนด์ปรับปรุงด้วย LBS	65.59
เบนโทไนด์ปรับปรุงด้วย SDS	34.60
เบนโทไนด์	72.77

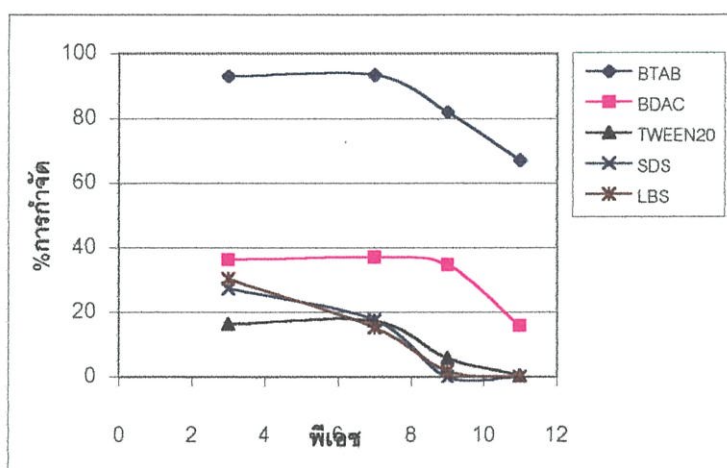
ผลการศึกษาจากตารางที่ 4.3 พบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเบนโทไนด์ธรรมชาติ แสดงผลในภาคผนวก ค ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ S.H.Lin และคณะ [36] พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของควอเทอร์นารีแอมโมเนียมพื้นที่ผิวจำเพาะจะลดลง แสดงว่าควอเทอร์นารีแอมโมเนียมเข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างของ

เบนโทไนด์ ซึ่งพบว่าเมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวมากขึ้น พื้นที่ผิวจำเพาะของเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงมีค่าลดลงเป็นสัดส่วนกัน อาจเกิดจากการที่สารลดแรงตึงผิวเข้าไปอุดในช่องของดินทำให้ก๊าซไนโตรเจนไม่สามารถแทรกผ่านเข้าไปได้ ซึ่งการอุดตันนี้เกิดขึ้นที่ผิวภายนอกของเบนโทไนด์เท่านั้น

4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่มีเหมาะสมต่อการกำจัดฟีนอล

4.2.1 ผลการศึกษาชนิดของสารลดแรงตึงผิวและพีเอชที่เหมาะสม

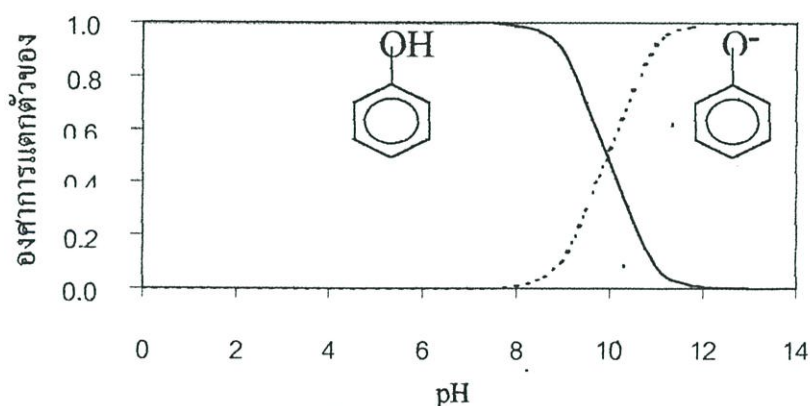
จากการศึกษาชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมโดยใช้สารลดแรงตึงผิวทั้ง 5 ชนิด เมื่อนำมากำจัดฟีนอลดังแสดงผลในตารางผนวกที่ ง-1 ในภาคผนวก ง สามารถนำมาแสดงผลความสัมพันธ์เป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลเมื่อใช้ตัวดูดซับต่างๆกัน

จากรูปเมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลที่ค่าพีเอชต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่าเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย BTAB ดูดซับฟีนอลได้ดีเมื่อพีเอชมีค่า 3 และพีเอช 7 โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นฟีนอลเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร กำจัดฟีนอลได้ 93.04 และ 93.41 ตามลำดับจากตารางผนวกที่ ง-1 และรูปที่ 4.1 เมื่อพีเอชของสารละลายสูงขึ้นพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลลดลงเล็กน้อย ที่พีเอช 9 และ 11 ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 81.89 และ 67.01 ตามลำดับ เมื่อใช้เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย BDAC พบว่าที่พีเอช 3 และพีเอช 7 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงสุดเท่ากับ 36.23 และ 36.94 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้นเป็นพีเอช 9 และ 11 พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดค่อยๆลดลงเป็น 34.68 และ

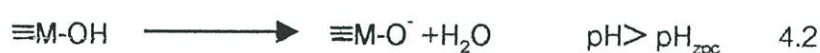
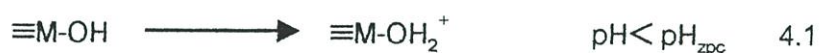
15.86 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่เบนโทไนด์ซึ่งปรับปรุงด้วย LBS และ SDS ที่พีเอช 3 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลสูงที่สุดคือ 27.13 และ 30.39 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นพบว่าเปอร์เซ็นต์ การกำจัดฟีนอลลดลง ซึ่งเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย LBS มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเท่ากับ 17.35 ที่พีเอชเท่ากับ 7 และไม่สามารถกำจัดฟีนอลได้ที่พีเอช 9 และ 11 (เปอร์เซ็นต์การกำจัดเป็น 0) เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลโดยใช้เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย SDS ที่พีเอช 7 9 และ 11 มีค่าเท่ากับ 15.28 1.78 และ 0 ตามลำดับ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลโดยใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย Tween 20 มีแนวโน้มใกล้เคียงกับการปรับปรุงด้วย BTAB และ BDAC ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.40 17.36 5.68 และ 0.39 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อพีเอชสูงขึ้นถึงพีเอช 9 และ 11 เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวทั้ง 5 ชนิด มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากที่พีเอชมากกว่าค่า pKa ของฟีนอล (9.96) ฟีนอลในสารละลายจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของฟีนอเลต ($C_6H_5O^-$) ที่พีเอชมากกว่า pKa (9.96) ที่พีเอชต่ำกว่า 9.96 ฟีนอลจะอยู่ในรูปฟีนอล (C_6H_5OH) ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สปีซีของฟีนอล

จากรูปที่ 4.2 เมื่อฟีนอลเปลี่ยนไปอยู่ในรูปฟีนอเลต ความมีขั้วเพิ่มมากขึ้นการละลายน้ำสูงขึ้น ค่าการละลายในสารอินทรีย์ลดลงดังนั้นกลไกการเปลี่ยนเฟสลดลง เปอร์เซ็นต์การกำจัดจึงลดลงด้วย อีกเหตุผลคือ ลักษณะประจุบนผิวดินเมื่อพีเอชสูงขึ้น จากผลการศึกษาเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์พบว่า ส่วนประกอบหลักของเบนโทไนด์เป็นสารออกไซด์ ซึ่งสารประเภทออกไซด์หรือออกซีไฮดรอกไซด์ เช่น ซิลิกา (SiO_2) ยิบไซต์ ($Al(OH)_3$) เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชต่าง ๆ จะเกิดการโปรโตเนต และการดีโปรโตเนตโปรตรอนที่พื้นผิวขึ้น ทำให้พื้นผิวแสดงประจุบวกและประจุลบ ทั้งนี้พื้นผิวของออกไซด์จะแสดงประจุบวกหรือประจุลบขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลาย โดยค่าพีเอชของสารละลายที่พื้นผิวของออกไซด์แสดงปริมาณของสปีซี $\equiv M-OH_2^+$ เท่า

กับ สปีซี $\equiv M-O^-$ พื้นผิวของออกไซด์จะไม่แสดงประจุหรือมีประจุเป็นศูนย์ เรียก ค่าพีเอชของสารละลายที่ทำให้พื้นผิวออกไซด์ไม่แสดงประจุนี้ว่า พีเอช ออฟ ซีโร พอย ออฟ ชาต (pH of zero point of charge) หรือ pH_{zpc} เมื่อสารออกไซด์อยู่ในสารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำกว่าค่า pH_{zpc} ของออกไซด์นั้นๆ พื้นผิวของออกไซด์จะมีสปีซี $\equiv M-OH_2^+$ มากกว่า สปีซี $\equiv M-O^-$ พื้นผิวออกไซด์จะแสดงประจุบวก แต่เมื่อค่าพีเอชของสารละลายมีค่าพีเอชสูงกว่าค่า pH_{zpc} ของออกไซด์พื้นผิวของออกไซด์จะมีสปีซี $\equiv M-O^-$ มากกว่า $\equiv M-OH_2^+$ พื้นผิวออกไซด์จะแสดงประจุลบ [31] ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2



เมื่อ $\equiv M$ แทนอะตอมของ Si Fe และ Al

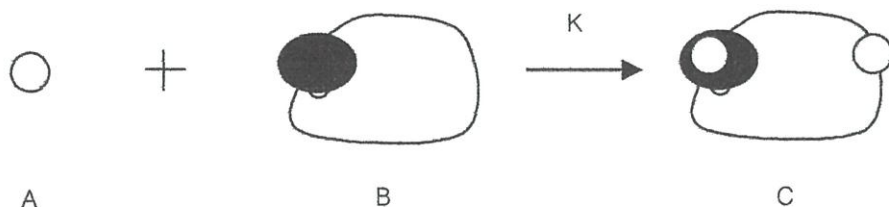
pH_{zpc} ของเบนโทไนต์มีค่าประมาณ 2.5 [31] ดังนั้นในสารละลายที่มีพีเอชสูงกว่า 2.5 พื้นผิวเบนโทไนต์แสดงประจุลบ ในสารละลายที่พีเอชเท่ากับ 9 และ 11 แสดงว่าพื้นผิวเบนโทไนต์จะเกิดลักษณะ $\equiv M-O^-$ มากขึ้นในขณะที่พื้นผิวจะอยู่ในรูปฟิโนเลตซึ่งเป็นประจุลบเช่นกัน ดังนั้นจะเกิดการผลักกันที่พื้นผิวทำให้การดูดซับลดลง

ด้วยเหตุผลเดียวกันเมื่อที่พีเอชต่ำ เช่นพีเอช 3 เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเพิ่มขึ้น เมื่อใช้เบนโทไนต์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว LBS และ SDS เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ตัวนี้เป็นสารลดแรงตึงผิวประจุลบ ที่พีเอชมีค่าต่ำ ๆ พื้นผิวเบนโทไนต์จะแสดงประจุบวก $\equiv M-OH_2^+$ ดังนั้น LBS และ SDS สามารถเข้าไปสู่ผิวเบนโทไนต์มากขึ้น เปอร์เซ็นต์การกำจัดจึงเพิ่มขึ้น

กลไกการกำจัดฟีนอลอาจมีกลไกหลัก ๆ 2 กลไกคือ [36]

1. การเปลี่ยนเฟสของสาร (partition) เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีขนาดใหญ่ กลไกนี้เป็นกลไกสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ กลไกนี้เหมือนกับการแยกสารอินทรีย์เข้าไปสู่ตัวทำละลายอินทรีย์ บริเวณพื้นผิวของเบนโทไนต์จะเปลี่ยนจากหมู่ชอบน้ำเป็นหมู่ไม่ชอบน้ำ เนื่องจากส่วนหางของสารลดแรงตึงผิวเป็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นกลุ่มไม่ชอบน้ำ จึงทำให้พื้นผิวเบนโทไนต์มีลักษณะไม่ชอบน้ำ
2. การดูดติดพื้นผิว เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีขนาดเล็ก กลไกนี้เป็นกลไกสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ บริเวณพื้นผิวของเบนโทไนต์จะมีสารลดแรงตึงผิวกระจายอยู่ทั่วไปตามระนาบของอลูมิโนซิลิเกต อนุภาคของตัวถูกดูดซับจะแทรกเข้าไปอยู่ตามระนาบผลึกนี้

สามารถอธิบายกลไกได้ดังรูป [37]



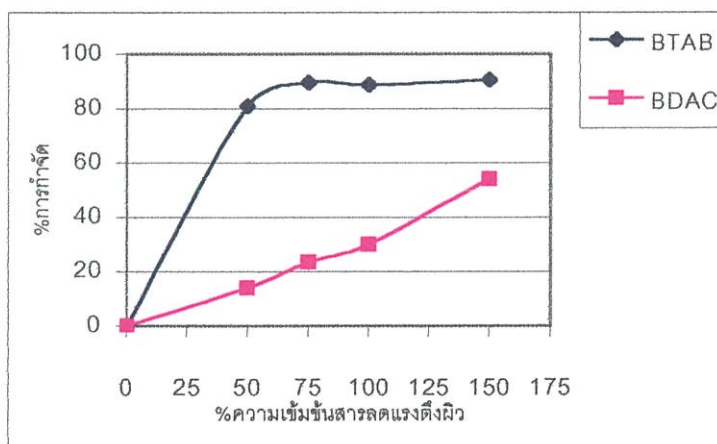
A คือ สารอินทรีย์ในน้ำ

B คือ เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว

C คือ เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวที่ดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำ (ส่วนสีดำเกิดการเปลี่ยนแปลง (partition) ส่วนสีขาวคือการดูดซับบนพื้นผิวเบนโทไนด์)

4.2.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว

จากผลการทดลองการกำจัดฟีนอลโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด BTAB และ BDAC โดยแปรค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกตั้งแสดงผลตาราง ง-2 ในภาคผนวก ง สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดและเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวได้รูปที่ 4.3



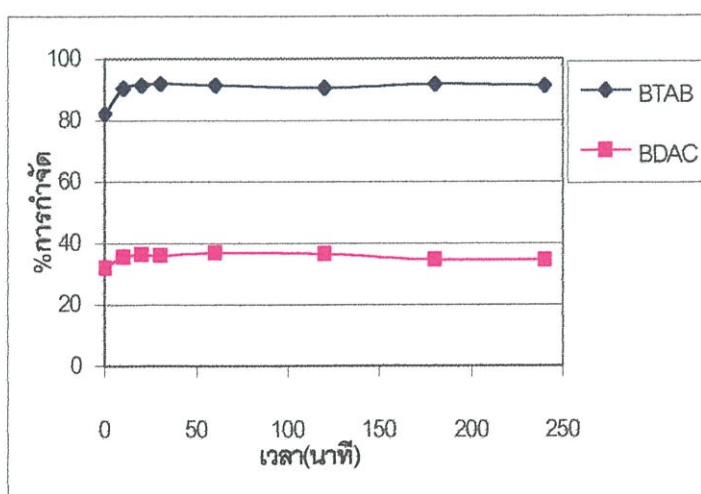
รูปที่ 4.3 %ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวและ%การกำจัดฟีนอล

จากกราฟของสารลดแรงตึงผิวชนิด BTAB พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ของค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกสารสามารถกำจัดฟีนอลได้ 80.86 เปอร์เซ็นต์เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเป็น 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเป็น 89.62 และ 88.80 ตามลำดับจะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดไม่แตกต่างกันมากนักและเมื่อใช้ความเข้มข้น

สารลดแรงตึงผิวเป็น 150 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การกำจัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากสารลดแรงตึงผิวที่มากเกินไปจะแทรกเข้าไปในช่องว่างของดิน จะรวมตัวกันเป็นไมเซลล์ (Micell) ขึ้นในสารละลายและจะจับฟีนอลที่เหลืออยู่ในสารละลายออกไปทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดเพิ่มขึ้นเป็น 90.57 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ใช้ BDAC กำจัดฟีนอล พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัด เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์เท่ากับ 13.99 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเป็น 75 100 และ 150 เปอร์เซ็นต์พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเป็น 23.51 30.07 และ 53.98 ตามลำดับ จะเห็นว่าการที่เปอร์เซ็นต์การกำจัดที่ความเข้มข้น 150 เปอร์เซ็นต์มีค่าสูงสุด เนื่องมาจากการที่สารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่ในสารละลายเกิดการรวมตัวกันเป็นไมเซลล์ขึ้น ฟีนอลที่เหลืออยู่ในสารละลายจะเข้าไปจับกับไมเซลล์ ซึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลสูงขึ้น จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลสูงสุด เมื่อใช้ BTAB เข้มข้นเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ และ BDAC เข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการศึกษาการกำจัดฟีนอลโดยใช้ขบวนการดูดซับร่วมกับการตกตะกอนของ Yun-Hwei Shen [23] ซึ่งกำจัดฟีนอลโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด BTAB พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลคงที่เมื่อใช้ BTAB เข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์

4.2.3 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดฟีนอล

จากผลการศึกษาเวลาสัมผัสที่เวลา 0 5 10 20 30 60 120 180 และ 240 นาทีแสดงผลในตารางผนวกที่ ง-3 ในภาคผนวก ง นำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและเปอร์เซ็นต์การกำจัดได้ดังรูปที่ 4.4

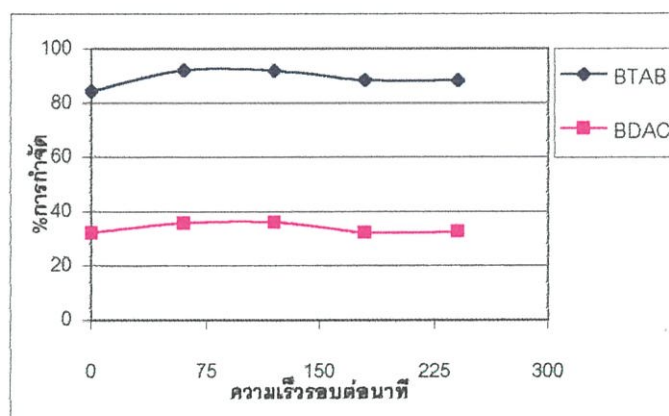


รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การกำจัดและเวลา(นาที)

จากกราฟเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลที่เวลาต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.05$) จากรูปที่ 4.4 พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลโดยใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB และ BDAC เริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 10 นาที ต่อจากนั้นเปอร์เซ็นต์การกำจัดเริ่มคงที่ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าเท่ากับ 82.24 ที่เวลา 0 นาทีและเพิ่มขึ้นเป็น 90.47 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 10 นาที เริ่มคงที่ที่เวลา 20 30 ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 91.39 และ 91.41 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการกำจัดฟีนอล โดยใช้ขบวนการดูดซับร่วมกับการตกตะกอนของ Yun-Hwei Shen [23] ซึ่งพบว่ากลไกการดูดซับเข้าสู่สมดุลที่ 5 นาทีแรก ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับการกำจัดฟีนอลด้วยกระบวนการดูดซับเนื่องจากใช้เวลาสั้นเป็นการประหยัดพลังงานและเวลา

4.2.4 ผลการศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการกำจัดฟีนอล

จากการศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมโดยใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 0 60 120 180 และ 240 รอบต่อนาที แสดงผลในตารางผนวกที่ ง-4 ในภาคผนวก ง นำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและเปอร์เซ็นต์การกำจัดได้ดังรูปที่ 4.5



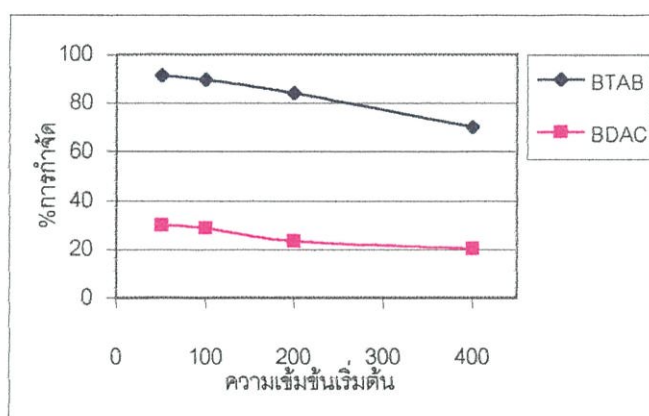
รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การกำจัดและความเร็วรอบต่อนาที

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลและความเร็วรอบต่อนาที เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลที่ความเร็วรอบต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.05$) จากการทดลองพบว่า การกำจัดฟีนอลเกิดได้อย่างรวดเร็ว เมื่อความเร็วรอบเป็น 0 เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเมื่อใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB มีค่าเท่ากับ 84.39 เปอร์เซ็นต์และเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเมื่อใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC มีค่าเท่ากับ 32.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอล มีค่าเข้าสู่สมดุลเมื่อใช้ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที

เปอร์เซ็นต์การกำจัดคองที่แสดงว่าเมื่อมีการใช้ความเร็วรอบเล็กน้อย ฟินอลสามารถแพร่ผ่านชั้นน้ำได้อย่างรวดเร็วและเข้าสู่สมดุล ซึ่งเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟินอลเมื่อใช้เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย BTAB มีค่าเท่ากับ 92.09 เปอร์เซ็นต์และเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 35.67 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC แต่เมื่อใช้ความเร็วรอบสูงพบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดลดลงเล็กน้อยเป็น 88.32 และ 32.56 เปอร์เซ็นต์อาจเกิดเนื่องจากโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวบางส่วนหลุดออกมาจากพื้นผิวของเบนโทไนด์ทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดลดลง

4.2.5 ผลการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นฟินอล

จากผลการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นเมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 50 100 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงผลในตารางผนวกที่ ง-5 ในภาคผนวก ง นำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและเปอร์เซ็นต์การกำจัดได้ดังรูปที่ 4.6



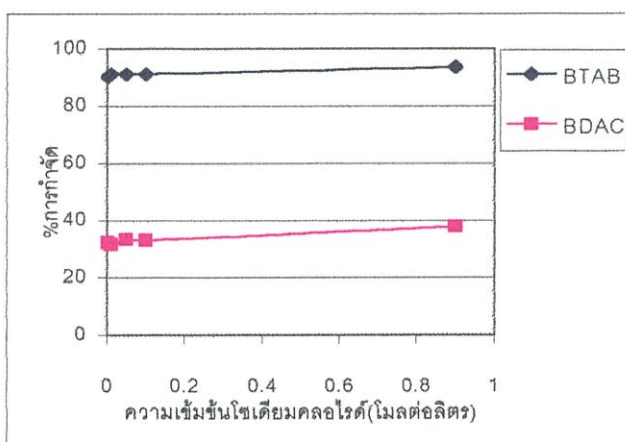
รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การกำจัดกับความเข้มข้นเริ่มต้นของฟินอล

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟินอลและความเข้มข้นเริ่มต้นฟินอล เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฟินอลที่ความเร็วรอบต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้น เปอร์เซ็นต์การกำจัดลดลง เมื่อใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB ความเข้มข้นฟินอลเริ่มต้นเป็น 50 100 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 91.41 89.64 84.04 และ 70.16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC ความเข้มข้นฟินอลเริ่มต้นเป็น 50 100 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 31.07 28.74 23.44 และ 20.37 เปอร์เซ็นต์

เนื่องจากเบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงดูดซับฟีนอลไว้จนอิ่มตัว จึงไม่สามารถที่จะดูดซับได้มากขึ้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นแต่ค่าการดูดซับเท่าเดิม ดังนั้นฟีนอลจะเหลืออยู่ในสารละลายมากขึ้นจึงทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดลดลง

4.2.6 ผลการเติมโซเดียมคลอไรด์

จากการศึกษาการเติมโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.001 0.01 0.05 0.1 และ 0.9 โมลต่อลิตร แสดงผลในตารางผนวกที่ ง-6 นำมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัด ฟีนอลและความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ดังแสดงในรูปที่ 4.7



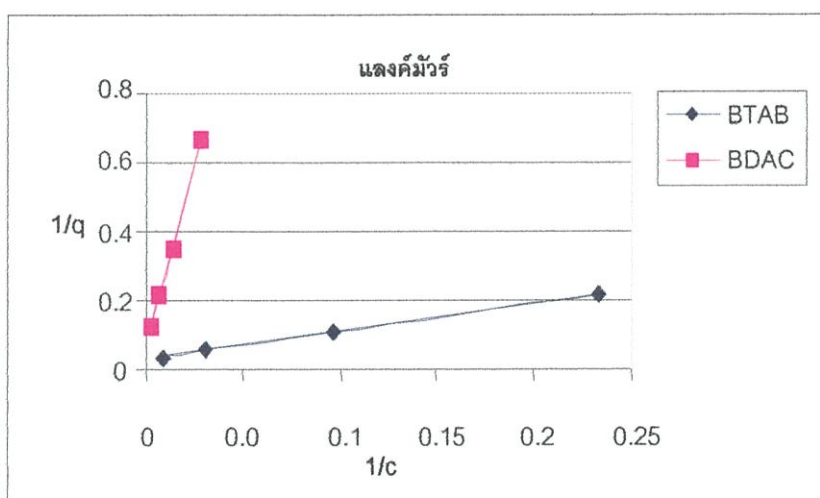
รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การกำจัดและความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์

จากกราฟจะเห็นว่าความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัด เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิว BTAB พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าเท่ากับ 90.23 91.17 91.12 91.12 และ 93.56 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.001 0.01 0.1 และ 0.9 โมลต่อลิตร ตามลำดับ เบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย BDAC พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าเท่ากับ 32.45 31.65 33.55 33.17 และ 37.84 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.001 0.01 0.1 และ 0.9 โมลต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์เพิ่มเป็น 0.9 โมลต่อลิตร เปอร์เซ็นต์การกำจัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากโมเลกุลของโซเดียมคลอไรด์จะเข้าไปเกิดพันธะไฮดรอกซิกกับโมเลกุลของน้ำ ทำความสามารถในการละลายน้ำของฟีนอลลดลง ดังนั้นโมเลกุลของฟีนอลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในสารลดแรงตึงผิวมากขึ้น จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สอดคล้องกับการศึกษาของ Sameer Al-Ashah และคณะ [28] โดยใช้เบนโทไนต์ที่ผ่านการปรับปรุงหลายชนิดมากำจัดฟีนอล พบว่าเมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์และโปแทสเซียมคลอไรด์ ในช่วงความเข้มข้น 0.01 ถึง 0.5 โมลต่อลิตร ไม่มีผลต่อการกำจัดฟีนอล

4.3 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับฟีนอลโดยแปรความเข้มข้นฟีนอลเป็น 50 100 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เบนโทไนต์ 0.2 กรัม พีเอช 7 ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ใช้ BTAB เข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์และ BDAC เข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองแสดงผลในตารางผนวกที่ ง-7 และ ง-8 ในภาคผนวก ง นำมาทดสอบไอโซเทอมแบบแลงคัมวัวร์และแบบฟรุนลิชแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9 ดังนี้



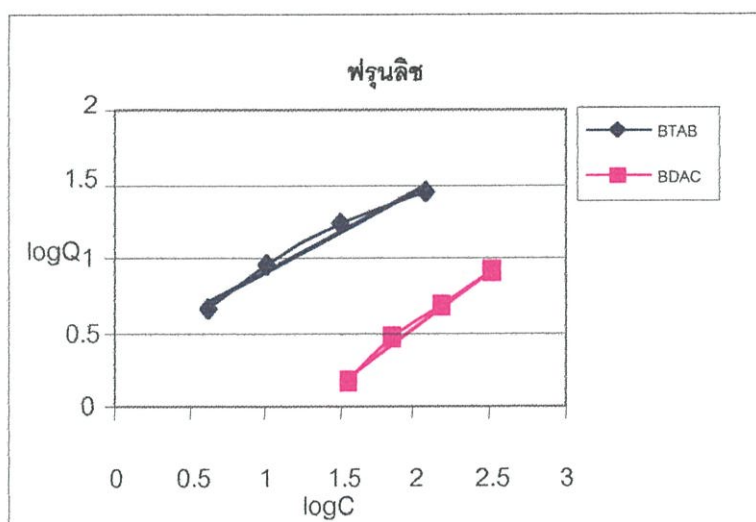
รูปที่ 4.8 ไอโซเทอมแลงคัมวัวร์

จากกราฟไอโซเทอมแลงคัมวัวร์สามารถหาค่าคงที่ q_m และ K ได้จากความชันและจุดตัดแกนของกราฟของสมการไอโซเทอมแบบแลงคัมวัวร์ โดยที่ q_m เป็นค่าที่แสดงถึงการดูดซับที่เกิดชั้นเดียว (monolayer) อย่างสมบูรณ์ สำหรับค่า K เป็นค่าคงที่พลังงานในการดูดซับ [38] แสดงค่าในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าคงที่แลงคัมวัวร์

ตัวอย่าง	Q_m (มิลลิกรัมต่อกรัม)	K (มิลลิกรัม/กรัม.นาท)	R^2
BTAB	31.35	0.04	0.9999
BDAC	18.87	3.00	0.9999

จากตารางที่ 4.4 พบว่า q_m ของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB มีค่าเท่ากับ 31.35 มิลลิกรัมต่อกรัม และ q_m ของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC มีค่าเท่ากับ 18.87 มิลลิกรัมต่อกรัม แสดงว่า เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียวมากกว่า เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC ค่า K ของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB และเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC มีค่าเท่ากับ 0.04 และ 3.00 แสดงว่าเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB ใช้พลังงานในการดูดซับน้อยกว่า ดังนั้นเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB สามารถดูดซับฟีนอลได้มากกว่า เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC



รูปที่ 4.9 ไอโซเทอมฟรอนลิซ

จากกราฟไอโซเทอมฟรอนลิซ สามารถหาค่าคงที่ $1/n$ และ K ได้จากความชันและจุดตัดแกนของกราฟของสมการไอโซเทอมแบบฟรอนลิซ โดยที่ $1/n$ เป็นของความหนาแน่นของการดูดซับ สำหรับค่า K เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ [38] แสดงค่าในตารางที่ 4.5

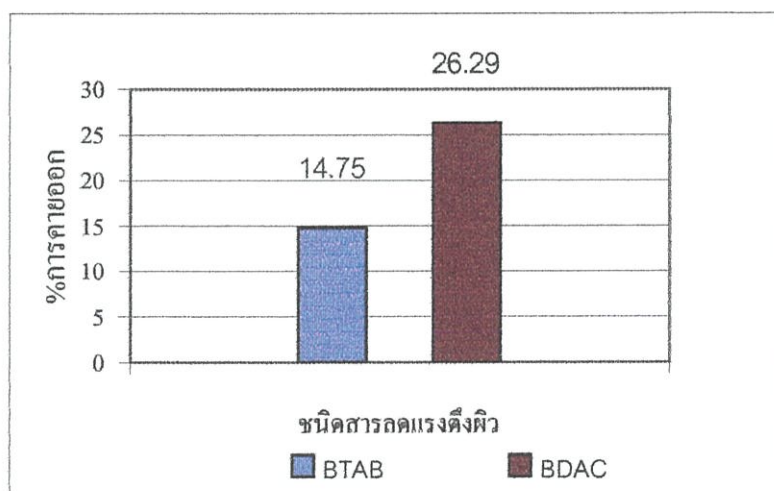
ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่ของสมการฟรอนลิซ

ตัวอย่าง	K (มิลลิกรัมต่อกรัม)	1/n	R^2
BTAB	2.32	0.54	0.9899
BDAC	0.10	0.76	0.9999

จากตารางที่ 4.5 เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB และ BDAC มีค่า K เท่ากับ 2.32 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ แสดงว่าเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB สามารถกำจัดฟีนอลได้มากกว่าเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC และค่า $1/n$ ของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB และ BDAC มีค่าเท่ากับ 0.54 และ 0.75 ซึ่งค่า $1/n$ นี้ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าปริมาณพื้นที่การดูดซับบนตัวดูดซับมีปริมาณจำกัด การดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่ง เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย BTAB มีกลไกการเกิดการดูดซับได้รวดเร็วกว่าเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC

4.4 ผลการศึกษาการคายฟีนอลออกจากผิวหลังการดูดซับ

จากการศึกษาการคายฟีนอลออกจากเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงหลังการดูดซับแสดงผลในตารางผนวกที่ ง-9 ในภาคผนวก ง นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.9

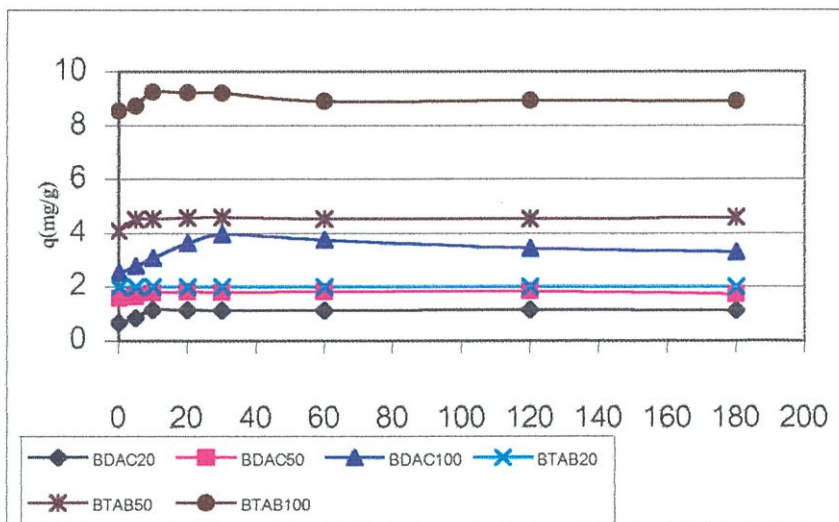


รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การคายฟีนอลออกจากผิว

จากกราฟพบว่า เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB มีการคายฟีนอลออกมา 14.75 เปอร์เซ็นต์ และเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC มีการคายฟีนอลออกมา 26.29 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่ากลไกการกำจัดฟีนอลอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเฟสของสาร โมเลกุลฟีนอลสามารถเคลื่อนไปมา ระหว่างสารลดแรงตึงผิวและน้ำ เมื่อมีการเขย่าเร็ว และนาน สารลดแรงตึงผิวบางส่วนอาจหลุดออกมาจากพื้นผิวเบนโทไนด์ ฟีนอลที่เกาะอยู่อาจหลุดมาพร้อมสารลดแรงตึงผิว

4.5 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและการกำจัดฟีนอลแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าการกำจัดฟีนอลเข้าสู่สมดุลที่เวลา 10 นาที



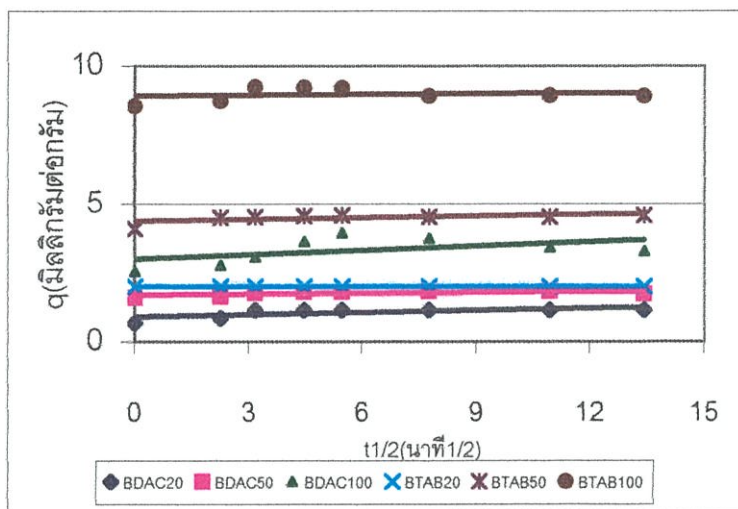
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา(นาที)กับปริมาณฟีนอลที่ถูกกำจัด(มิลลิกรัมต่อกรัม)

- เมื่อ BDAC 20 คือ เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC ความเข้มข้นฟีนอล 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
 BDAC 50 คือ เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC ความเข้มข้นฟีนอล 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
 BDAC 100 คือ เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC ความเข้มข้นฟีนอล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
 BTAB 20 คือ เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB ความเข้มข้นฟีนอล 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
 BTAB 50 คือ เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB ความเข้มข้นฟีนอล 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
 BTAB 100 คือ เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB ความเข้มข้นฟีนอล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.11 กระบวนการกำจัดแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ [28]

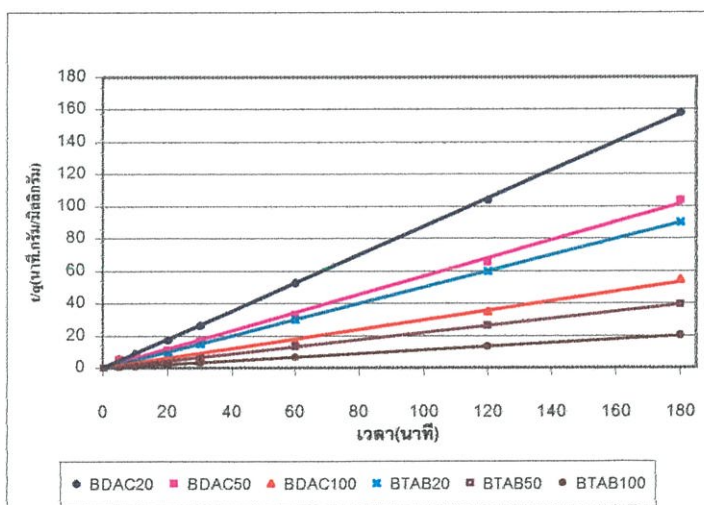
1. ช่วงที่หนึ่งมีการกำจัดอย่างรวดเร็วเกิดจากฟีนอลเข้าสู่พื้นผิวตัวดูดซับกราฟจะชันขึ้น
2. ช่วงที่สองกลไกจะช้าลงเนื่องจากเกิดการแพร่ผ่านโมเลกุลเล็ก ๆ (intraparticle diffusion)
3. ช่วงที่สามกลไกการดูดซับเข้าสู่สมดุลกราฟเป็นเส้นตรงขนานแกน X

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นฟีนอลจะเพิ่มการกำจัดฟีนอล เนื่องจากมวลของฟีนอลเพิ่มขึ้นการแพร่ผ่านสารละลายเข้าสู่ตัวดูดซับมีมากขึ้น รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า เกิดกลไกการแพร่ผ่านโมเลกุล (intraparticle diffusion) ขึ้นในกระบวนการดูดซับ Sameer Al-Ashah และคณะ [28] พบว่าถ้ามีกลไกการแพร่ผ่านเกิดขึ้น เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟีนอลที่ถูกกำจัดและเวลากำล้างสอง จะได้กราฟเป็นเส้นตรง และถ้ากลไกการแพร่ผ่านโมเลกุล เป็นขั้นกำหนดอัตรา (rate limiting step) เส้นตรงจะผ่านจุดศูนย์ แสดงผลการคำนวณในตารางผนวก ง-10 ในภาคผนวก ง แสดงกราฟในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดฟีนอลต่อเวลาที่สองของเวลา

จากรูปที่ 4.12 พบว่ากราฟเป็นเส้นตรง แสดงว่ามีกลไกการแพร่ผ่านโมเลกุลเล็ก ๆ (intraparticle diffusion) เกิดขึ้น แต่กราฟไม่ตัดจุดศูนย์ ดังนั้นกลไกการแพร่ผ่านโมเลกุลเล็ก ๆ ไม่ได้เป็นตัวกำหนดอัตราการดูดซับ (rate limiting step) จากนั้นศึกษาอันดับปฏิกิริยา พบว่าการกำจัดฟีนอลเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง ดังแสดงผลในตารางผนวก ง-10 และรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับ 2

จากรูปภาพความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับ 2 จะเห็นว่าเมื่อพลอตกราฟระหว่างเวลาและ t/q ถ้ากราฟเป็นเส้นตรงแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาอันดับสองค่า q_c คือจุดตัดแกน Y และค่า K_2

สามารถหาได้จากความชัน เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟพบว่ากราฟเป็นเส้นตรง แสดงว่าการกำจัดฟีนอลเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง ดังนั้นการกำจัดฟีนอลขึ้นอยู่กับตัวดูดซับ และความเข้มข้นของฟีนอลสามารถหาค่าคงที่ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังแสดงในตารางที่ 4.6

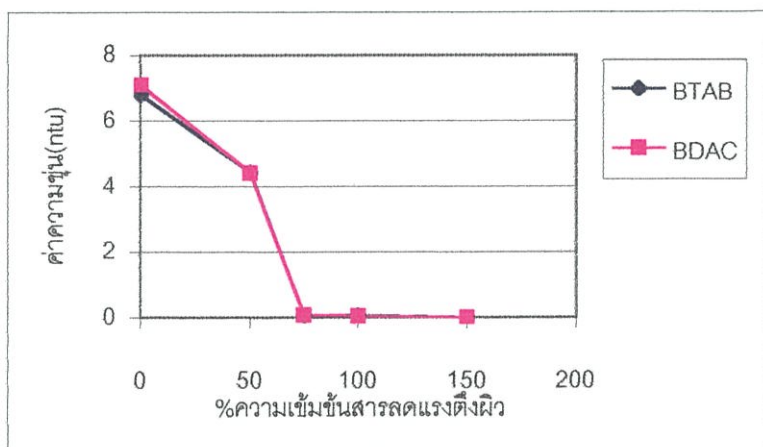
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าคงที่ของปฏิกิริยาอันดับ 2

ตัวอย่าง	R^2	Qc	k_2 (มิลลิกรัม/กรัม.นาท)
BDAC 20	0.9999	1.15	2.27
BDAC 50	0.9978	1.78	0.44
BDAC 100	0.9915	3.41	0.14
BTAB 20	1	2	0
BTAB 50	0.9999	4.58	1.05
BTAB 100	0.9998	8.93	1.32

จากตารางพบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k_2) ของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC มีค่าเท่ากับ 2.27 0.44 และ 0.14 มิลลิกรัม/กรัม.นาท แสดงว่าเมื่อความเข้มข้นของฟีนอลเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง เนื่องจากความเข้มข้นเพิ่มขึ้นโมเลกุลของฟีนอลเพิ่มขึ้นจะเกิดการเบียดกันเข้าไปสู่บริเวณพื้นผิวของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุง [39] แต่เนื่องจาก BDAC เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีขนาดใหญ่ แสดงโครงสร้างในภาคผนวก ข ดังนั้นการแทรกเข้าไปสู่พื้นผิวเกิดยาก อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงช้าลง ในขณะที่ อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k_2) ของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB มีค่าเท่ากับ 0 1.05 และ 1.32 มิลลิกรัม/กรัม.นาท พบว่า เมื่อความเข้มข้นของฟีนอลเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นเพิ่มขึ้นโมเลกุลของฟีนอลจะเกิดการเบียดกันเข้าไปสู่บริเวณพื้นผิวของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุง [39] ซึ่ง BTAB เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีขนาดเล็ก แสดงโครงสร้างในภาคผนวก ข พื้นผิวของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB มีพื้นที่ผิวมากกว่า BDAC ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นฟีนอลอัตราการเกิดปฏิกิริยาของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB จึงเกิดมากกว่าเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC

4.6 ผลการศึกษาการตกตะกอนโดยใช้จาร์เทส

จากการศึกษาการตกตะกอนของเบนโทไนต์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน แสดงผลในตารางผนวกที่ ง-11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นของน้ำและความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว ดังรูปที่ 4.14

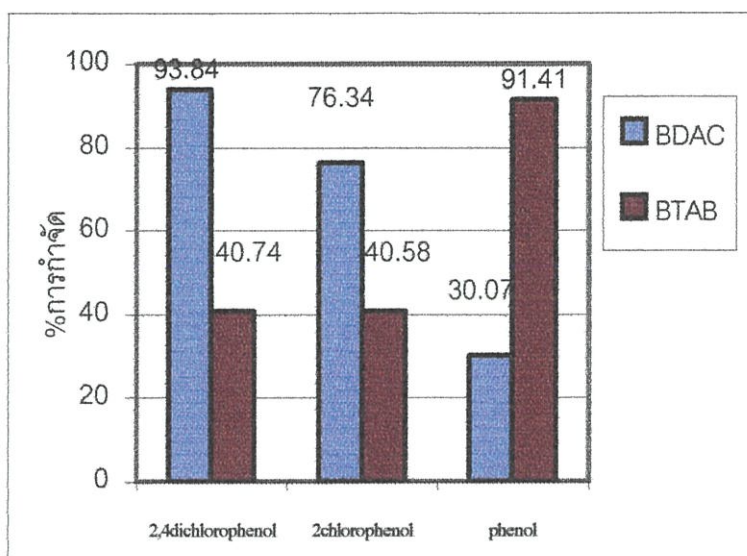


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว

จากกราฟพบว่าเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป 75 เปอร์เซ็นต์สารละลายไม่มีความขุ่นแสดงว่าสารลดแรงตึงผิวสามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ได้ด้วยกลไกการเกิดการรวมตัวเป็นฟล็อก[40] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการกำจัดฟีนอล โดยใช้ขบวนการดูดซับร่วมกับการตกตะกอนของ Yun-Hwei Shen [23] พบว่าเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิว 75 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำจัดคอลลอยลในน้ำได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์

4.7 ผลการตกตะกอนกับการกำจัดฟีนอลและอนุพันธ์โดยใช้เทคนิคจาร์เทส

จากผลการศึกษาการกำจัดฟีนอลและอนุพันธ์แสดงผลในตาราง ผนวกที่ ง-12 ในภาคผนวก ง สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลและอนุพันธ์เมื่อใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุง

จากรูปที่ 4.15 พบว่าเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเท่ากับ 91.41 เปอร์เซ็นต์ 2 คลอโรฟีนอลเท่ากับ 40.58 เปอร์เซ็นต์ 2,4 ไดคลอโรฟีนอลเท่ากับ 40.74 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเท่ากับ 30.07 เปอร์เซ็นต์ 2 คลอโรฟีนอลเท่ากับ 76.34 เปอร์เซ็นต์ 2,4 ไดคลอโรฟีนอลเท่ากับ 93.84 เปอร์เซ็นต์ การที่เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC สามารถกำจัด 2 คลอโรฟีนอล และ 2,4 ไดคลอโรฟีนอลได้มากกว่าเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB เนื่องจาก 2 คลอโรฟีนอล และ 2,4 ไดคลอโรฟีนอล มีความสามารถละลายน้ำน้อยกว่าฟีนอล เพราะหมู่คลอโรทำให้ฟีนอลมีขนาดใหญ่ ยิ่งหมู่คลอโรมากขึ้น โมเลกุลก็ยิ่งมีขนาดใหญ่มากขึ้น ค่าการละลายน้ำจะลดลง [31] ดังนั้น 2,4 ไดคลอโรฟีนอล ซึ่งละลายน้ำได้น้อยที่สุด จึงสามารถเกิดการเปลี่ยนเฟส (partition) ได้มากที่สุดเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC มีโครงสร้างใหญ่ขึ้นเนื่องจากมีหมู่คาร์บอนมากขึ้น ทำให้มีค่าการละลายน้ำลดลง จึงสามารถกำจัด 2,4 ไดคลอโรฟีนอลได้สูงที่สุดในทางตรงข้ามเมื่อใช้ เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัด 2 คลอโรฟีนอล และ 2,4 ไดคลอโรฟีนอล ลดลง เมื่อเทียบกับฟีนอล เนื่องจาก 2 คลอโรฟีนอล และ 2,4 ไดคลอโรฟีนอล มีขนาดใหญ่การแทรกเข้าไปสู่พื้นผิวเบนโทไนด์อาจเกิดได้ยาก

4.8 ผลการศึกษาการกำจัดฟีนอลทั้งหมดกับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

จากการศึกษาการกำจัดฟีนอลทั้งหมด เมื่อนำน้ำทิ้งและน้ำดิบก่อนเข้ากระบวนการผลิต มาศึกษาพบว่า มีฟีนอลเข้มข้นเกินมาตรฐานซึ่งในน้ำทิ้งต้องมีฟีนอลน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำดิบมี 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร[41] แสดงผลการศึกษาดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอลโดยใช้น้ำทิ้ง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นก่อนบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นหลังบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	%การกำจัด
น้ำก่อนเข้าระบบบำบัด	23.36	0.03	99.86
น้ำหลังผ่านระบบบำบัด	3.37	0.00	100
น้ำดิบ	0.21	0.00	100

4.9 ผลการศึกษาการระเหยของฟีนอล

จากการทดลองการระเหยของฟีนอลที่อุณหภูมิต่างๆแสดงผลในภาคผนวก จ พบว่าที่ อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียสสารลดแรงตึงผิวไม่ระเหย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 240 องศาเซลเซียส สารลดแรงตึงผิวระเหยไปหมด จากการทดลองพบว่า เบนโทไนด์น้ำหนักหายไป 14.09 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 56.71 องศาเซลเซียส เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB น้ำหนักหายไป 12.32 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 302.98 องศาเซลเซียส และ เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย BTAB ดูดซับฟีนอลน้ำหนักหายไป 53.46 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 73.34 องศาเซลเซียส ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวสามารถนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียสเพื่อไล่ฟีนอลออกไปได้ แต่ที่อุณหภูมิประมาณ 73 องศาเซลเซียส ฟีนอลจะออกมาอยู่ในรูปฟีนอลก๊าซ ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมที่จะเผาเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวนั้นจะต้องใช้เตาเผา ที่มี 2 ห้องซึ่งห้องที่ 2 จะต้องเผาก๊าซฟีนอลให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเพื่อไม่ให้เกิดปัญหามลพิษอากาศ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ของฟีนอล โดยใช้เทคนิคการทดลองการดูดซับแบบเบรทท์สามารถสรุปผลต่างๆได้ดังนี้

เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย BTAB ดูดซับฟีนอลได้ดีเมื่อพีเอชมีค่า 3 และพีเอช 7 โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นฟีนอลเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร กำจัดฟีนอลได้ 93.04 และ 93.41 ตามลำดับ เมื่อพีเอชของสารละลายสูงขึ้นพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลลดลงเล็กน้อย ที่พีเอช 9 และ 11 ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 81.88 และ 67.01 ตามลำดับ เมื่อใช้เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย BDAC พบว่าที่พีเอช 3 และพีเอช 7 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงสุดเท่ากับ 36.23 และ 36.94 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้นเป็นพีเอช 9 และ 11 พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดค่อยๆลดลงเป็น 34.68 และ 15.85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่เบนโทไนด์ซึ่งปรับปรุงด้วย LBS และ SDS ที่พีเอช 3 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลสูงที่สุดคือ 27.13 และ 30.38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นพบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลลดลง ซึ่งเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย LBS มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเท่ากับ 17.35 ที่พีเอชเท่ากับ 7 และไม่สามารถกำจัดฟีนอลได้ที่พีเอช 9 และ 11 (เปอร์เซ็นต์การกำจัดเป็น 0) เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลโดยใช้เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย SDS ที่พีเอช 7 9 และ 11 มีค่าเท่ากับ 15.28 1.776 และ 0 ตามลำดับ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลโดยใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย Tween 20 มีแนวโน้มใกล้เคียงกับการปรับปรุงด้วย BTAB และ BDAC ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.39 17.35 5.68 และ 0.39 เปอร์เซ็นต์

สำหรับอิทธิพลความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวชนิด BTAB พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ของค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกสามารถกำจัดฟีนอลได้ 80.86 เปอร์เซ็นต์เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเป็น 89.62 และ 88.80 ตามลำดับ ในขณะที่ใช้ BDAC กำจัดฟีนอล พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์เท่ากับ 13.99 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเป็น 75 100 และ 150 เปอร์เซ็นต์พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเป็น 23.50 30.06 และ 53.97 ตามลำดับ

อิทธิพลเวลาการกำจัดพบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลโดยใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB และ BDAC เริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 10 นาที ต่อจากนั้นเปอร์เซ็นต์การกำจัดจะเริ่มคงที่ซึ่งเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าเท่ากับ 82.24 ที่เวลา 0 นาทีและเพิ่มขึ้นเป็น 90.47 เปอร์เซ็นต์ ที่

เวลา 10 นาที เริ่มครั้งที่เวลา 20 30 ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 91.39 และ 91.41 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

อิทธิพลความเร็วรอบเมื่อความเร็วรอบเป็น 0 เปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเมื่อใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB มีค่าเท่ากับ 84.39 เปอร์เซ็นต์และเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเมื่อใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC มีค่าเท่ากับ 32.07 เปอร์เซ็นต์ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอล มีค่าเข้าใกล้สมดุลเมื่อใช้ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที

อิทธิพลความเข้มข้นเริ่มต้นฟีนอลเมื่อใช้เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้นเป็น 50 100 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 91.4 89.64 84.04 และ 70.16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC ความเข้มข้นฟีนอลเริ่มต้นเป็น 50 100 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 31.06 28.74 23.43 และ 20.37 เปอร์เซ็นต์

อิทธิพลของโซเดียมคลอไรด์เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิว BTAB พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าเท่ากับ 90.23 91.17 91.12 91.12 และ 93.56 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.001 0.01 0.1 และ 0.9 โมลต่อลิตร ตามลำดับ เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย BDAC พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าเท่ากับ 32.45 31.65 33.55 33.17 และ 37.84 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.001 0.01 0.1 และ 0.9 โมลต่อลิตร ตามลำดับ

จากการศึกษาแบบจำลองไอโซเทอมพบว่า การดูดซับเข้ากับไอโซเทอมฟรุนลิชและไอโซเทอมแลงมัวร์แสดงค่ามอดูลาร์ 4.4 และ 4.5 จากการศึกษาการคายฟีนอล เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB มีการคายฟีนอลออกมา 14.75 เปอร์เซ็นต์ และเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC มีการคายฟีนอลออกมา 26.29 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาพบว่าเป็นการเกิดปฏิกิริยาอันดับ 2 ค่าคงที่แสดงในตาราง 4.6 เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวเข้าไป 75 เปอร์เซ็นต์สามารถลดความขุ่นของน้ำได้

เมื่อนำเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงมากำจัดอนุพันธ์ฟีนอลพบว่าเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BTAB มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเท่ากับ 91.41 เปอร์เซ็นต์ 2 คลอโรฟีนอลเท่ากับ 40.57 เปอร์เซ็นต์ 2,4 ไดคลอโรฟีนอลเท่ากับ 40.73 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย BDAC มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟีนอลเท่ากับ 30.06 เปอร์เซ็นต์ 2 คลอโรฟีนอลเท่ากับ 76.34 เปอร์เซ็นต์ 2,4 ไดคลอโรฟีนอลเท่ากับ 93.85 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเมื่อนำเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงมากำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมพบว่าสามารถกำจัดฟีนอลในน้ำได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์และจากการศึกษาการระเหยของฟีนอลพบว่า เบนโทไนด์น้ำหนักหายไป 14.09 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 56.70 องศาเซลเซียส เบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วย

BTAB น้ำหนักหายไป 12.3176 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 302.97 องศาเซลเซียส และ เบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย BTAB และดูดซับฟีนอลน้ำหนักหายไป 53.47 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 73.34 องศาเซลเซียส

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ผลการศึกษาเบื้องต้นครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ตัวอื่น เช่น อนิลีน และ ไนโตรฟีนอล
2. กากตะกอนเบนโทไนด์ที่ผ่านการดูดซับสารมลพิษอยู่ในข่ายเป็นของเสียอันตรายซึ่งควรต้องมีการนำไปทำลายต่อไป เช่น การนำไปฝังกลบ หรือการใช้กระบวนการทำให้เป็นก้อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Waxler Philip. *Encyclopedia of toxicology*; v.2. McGrawHill, 1995.
- [2] Bras Isabel.P. , Santos Lucia and Alves Arminda "Organochlorined Pesticides Removal by Pinus Bark Sorption." *Environ.Sci.Technol.* Vol 33, 1999. pp. 631-634.
- [3] Banat F.A., Al-Bashir B. and Al-Asheh S. "Adsorption of phenol by bentonite" *Environ.Sci.Technol.* Vol107, 2000. pp. 391-398.
- [4] Smith Jame A., Jaffe Peter R. and Chiou Cary T. "Effect of ten quaternary ammonium cation on tetrachloromethane sorption to clay from water" *Environ.Sci.Technol.* Vol24, 1990. pp. 1167-1172
- [5] Smith Jame A., Jaffe Peter R. and Chiou Cary T. "Comparison of tetrachloromethane sorption to an alkylammonium-clay and alkyldiammonium-clay" *Environ.Sci.Technol.* Vol25, no22, 1991. pp. 2054-2058.
- [6] Smith Jame A. and Galan Adina. "Sorption of nonionic organic contaminant to single and dual organiccation bentonite from water" *Environ.Sci.Technol.* Vol29, no3, 1995. pp. 685-692.
- [7] Jaynes W. F. and Vance G.F. "Btex-Sorption by organo-clay:cosorptive enhancement and equivalence of interlayer complexes" *Soil Sci Soc Am J.* Vol60, no8, 1996. pp. 1742-1749.
- [8] Brixie J.M and Boyd S.A. "Treatment of contaminated soils with organoclays to reduce leachable pentachlorophenol" *J.Environ.Qual.* Vol23, 1994. pp. 1283-1290.
- [9] Valsaraj K.T., Gupta A., Thibodeaux L.J. and Harrison D.P. "Partition of chloromethane between aqueous and surfactant miceller phase" *Wat.Res.* Vol.22, no9, 1988. pp. 1173-1183.
- [10] Stul M.S. and Mortier W.J. "The heterogeneity of the charge density in montmorillonites" *Clays Clay Miner.* Vol22, 1994. pp. 391-396.
- [11] Lagaly Gerhard. "Layer charge Heterogeneity in vermiculites" *Clays Clay Miner.* Vol30, 1982. pp. 215-222.

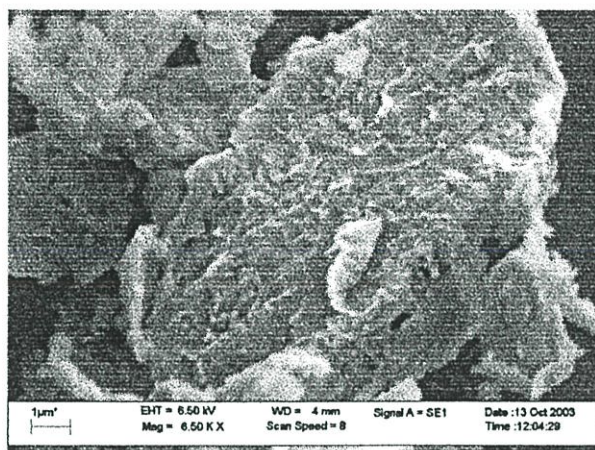
- [12] Jaynes W.F. and Boyd S.A. "Clay mineral type and organic compound sorption by hexadecyltrimethylammonium-exchanged clays" *Soil Sci Soc Am J.* Vol55, 1991a. pp. 43-48.
- [13] Chiou Cary T., Porter Paul E. and Schmedding David. W. "Partition equilibria of nonionic organic compounds between soil organic matter and water" *Environ.Sci.Technol.* Vol29, no3, 1995. pp. 685-692.
- [14] Favre H. and Lagaly G. "Organo-bentonites with quaternary alkylammonium ions" *Clays and Clay Miner.* Vol26, 1991. pp. 19-32.
- [15] Boyd Stephen A., Mortland Max M. and Chiou Cary T. "Sorption characteristics of organic compound on hexadecyltrimethylammonium-smectite" *Soil Sci Soc Am J.* Vol52, 1988. pp. 652-657.
- [16] ชาญ จรรย์าวนิษฐ์. เบนโทไนต์: เทคโนโลยีการผลิตการทดสอบ. กองการเหมืองแร่. กรมทรัพยากรธรณี. มีนาคม 2534.
- [17] Metcalf and Eddy. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse.* 3rd eds. pp. 314, McGrawHill, Singapore, 1991.
- [18] กรมควบคุมมลพิษ. ฟีนอล. กทม. : บริษัทศรีเมืองการพิมพ์จำกัด. 2542.
- [19] สมาคมเคมีและสาขาเคมี. "สารเคมีอันตรายป้องกันด้วยข้อมูล" เคมีน่ารู้. ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, กรกฎาคม-กันยายน 2545. หน้า87-90.
- [20] Myers Drew. *Surfactant science and technology*, New york: VCH Publisher, 1946.
- [21] Cullum D.C., *Introduction to Surfactant Analysis.* England:Blackie Academic & Professional.1994.
- [22] Zhu Lizhong, Ren Xiaogang and Yu Shaobin . "Use of Cetyltrimethylammonium Bromide-Bentonite to remove organic Contaminants of varying polar character from water" *Environ.Sci.Technol.* Vol32, 1998. pp. 3374-3378.
- [23] Zhu Lizhong , Chen Baoliang and Shen Xueyou . "Sorption of Phenol,p-Nitrophenol and Aniline to Dual Cation Organobentonites from water" *Environ.Sci.Technol.* Vol34, 2000. pp. 468-475.
- [24] Shen Yun-Hwei . "Removal of phenol from water by adsorption-flocculation using organobentonite" *Wat.Res.* Vol.36. 2002. pp. 1107-1114.

- [25] Mortland Max M., Shaobai Sun and Boyd Stephen A. "Clay-Organic complexes as adsorbents for phenol and chlorophenols" *Clays and Clay Miner.* Vol5, 1986. pp. 581-585.
- [26] Black,C.A. **Method of soil Analysis Part II.** American Society of Agronomy Monograph No.9.Wisconsin, U.S.A.: Medison: 1965. pp891-900.
- [27] APHA , AWWA and WPCF. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater.**19thed. :1995. pp. 5-36-5-39.
- [28] Al-Asheh Sameer, Banat Fawzi and Abu-Aitah Leena . "Adsorption of phenol using different types of activated bentonites" **Separation and Purification Technology.** Vol 33, 2003. pp. 1-10.
- [29] Jaynes W. F. and Vance G.F. "Btex-Sorption by organo-clay:cosorptive enhancement and equivalence of interlayer complexes" *Soil Sci Soc Am J.* Vol60, no8, 1996. pp. 1742-1749.
- [30] Rengaraj S., Moon Seung-Hyeon , Sivabalan R., Arabindoo B. and Murugesan V. "Agricultural solid waste for the removal of organic:adsorption of phenol from water and wastewater by palm seed coat activated carbon" **Waste Management.** Vol22, 2002. pp. 543-548.
- [31] Schwarzenbach, R.P.Gschwend, P.M.,Imboden,D.M **Environmental Organic Chemistry.**2nd ed. New Jersey: John Wiley&Sons: 2003. pp. 389-421.
- [32] Jiang Jai-Qian , Cooper Colin and Ouki Sabeha . "Comparison of modified montmorillonite adsorbents Part I: preparation,characterization and phenol adsorption" *Chemosphere.* Vol47, 2002. pp. 711-716.
- [33] Jung Min-Woo , Ahn Kyu-Hong , Lee Yonghun , Kim Ki-Pal , Rhee Jae-Seong , Park Jung Tae and Paeng Ki-Jung . "Adsorption characteristics of phenol and chlorophenols on granular activated carbon(GAC)" *Microchemical jurnal.* Vol70, 2001. pp. 123-131.
- [34] สันทัด ศิริอนันท์ไพบูลย์ และชนิษฐา ชัยรัตน์าวรรณ. **เคมีวิทยาศาสตร์.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น. 2542.
- [35] Ho Y.S. and Mckay, G. "Sorption of Dye from Aqueous Solution by Peat." *chemical Engineering Journal.* Vol.70, 1998. pp.115-124.

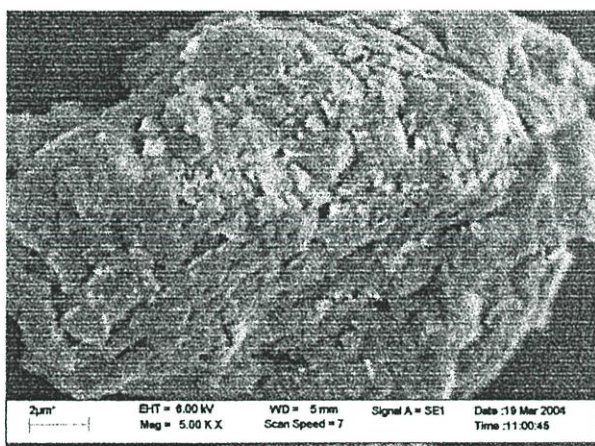
- [36] Lin S.H. and Cheng M.J. "Adsorption of phenol and *m*-chlorophenol on organobentonite and repeated thermal regeneration" **Waste Management**. Vol.22, 2002. pp.595-603.
- [37] Zhu Lizhong and Chen Baoliang . "Sorption behavior of *p*-Nitrophenol on the Interface between Anion-Cation Organobentonite and Water" **Environ.Sci.Technol.** Vol34, 2000. pp. 2997-3002.
- [38] Cooney David O. **Adsorption Design for Waste water Treatment**. Lewis Publishers. USA. 1998.
- [39] กฤษณา ชูติมา. **หลักเคมีทั่วไปเล่ม 1**. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539.
- [40] มั่นสิน ตันทุลเวศม์. **วิศวกรรมประปา เล่ม 1**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538.
- [41] กองวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. **คู่มือ สำหรับติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากโครงการประเภทโรงงานเยื่อกระดาษ/โรงงานน้ำตาล**. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม.2546.

ภาคผนวก ก

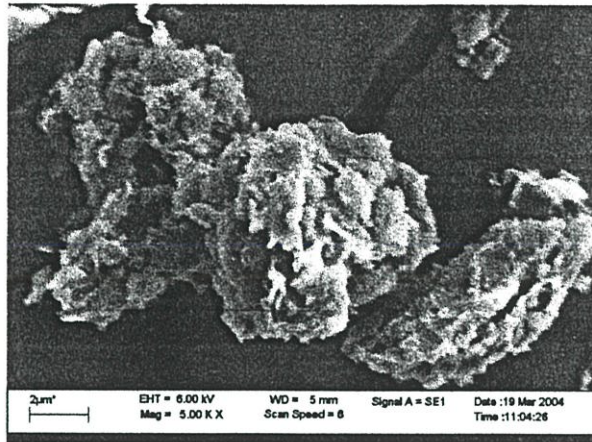
ผลการศึกษาโครงสร้างเบนโทไนด์



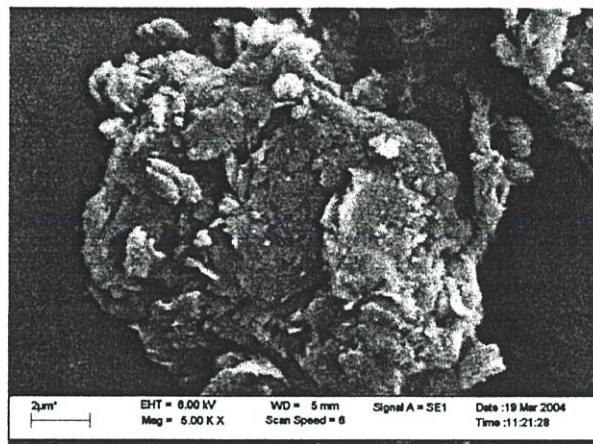
รูปผนวก ก-1 โครงสร้างของเบนโทไนด์



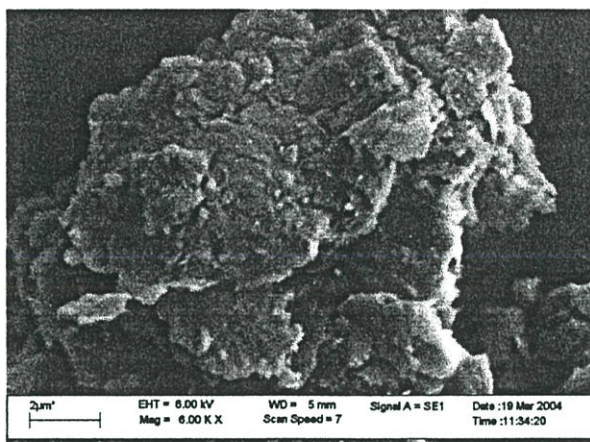
รูปผนวก ก-2 โครงสร้างของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วยเบนซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์



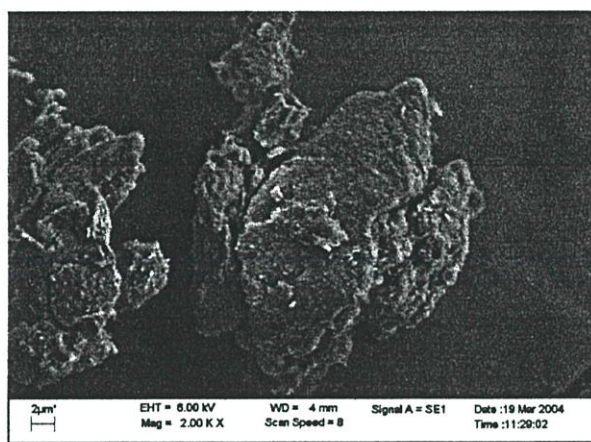
รูปผนวก ก-3 โครงสร้างของเบนโทไนต์ที่ปรับปรุงด้วยเบนซาโคเนียมคลอไรด์



รูปผนวก ก-4 โครงสร้างของเบนโทไนต์ที่ปรับปรุงด้วยทวิน20



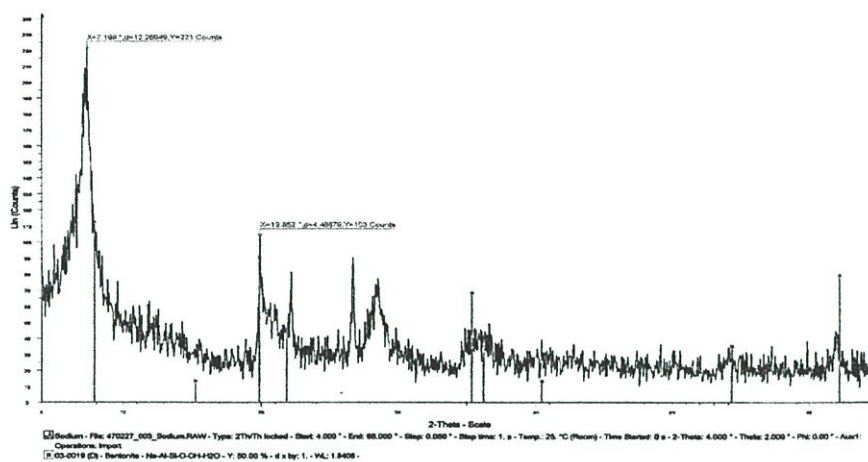
รูปผนวก ก-5 โครงสร้างของเบนโทไนต์ที่ปรับปรุงด้วย โดเดคซิลเบนซีนซัลโฟนิคแอซิด



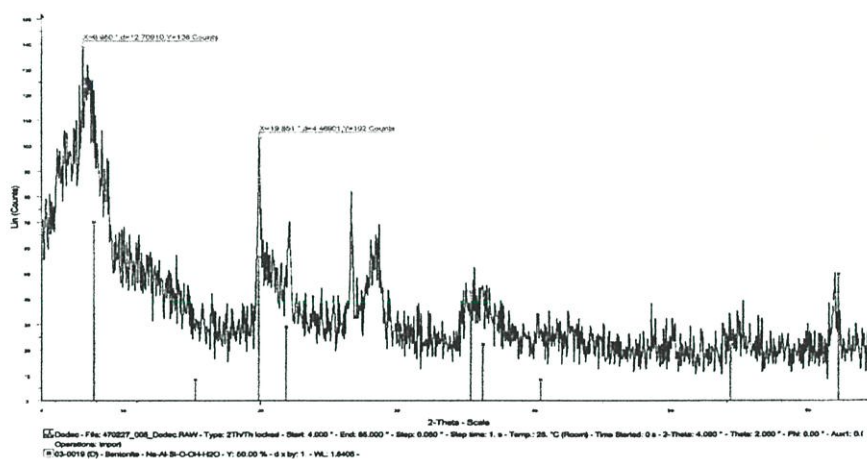
รูปผนวก ก-6 โครงสร้างของเบนโทไนต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมลอลิวซัลเฟต

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษาความกว้างของระนาบผลึก



รูปผนวกที่ ข-5 เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ โซเดียมลอลิวซ์ลเฟต



รูปผนวกที่ ข-6 เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ โดเดคซิลเบนซีนซัลเฟต

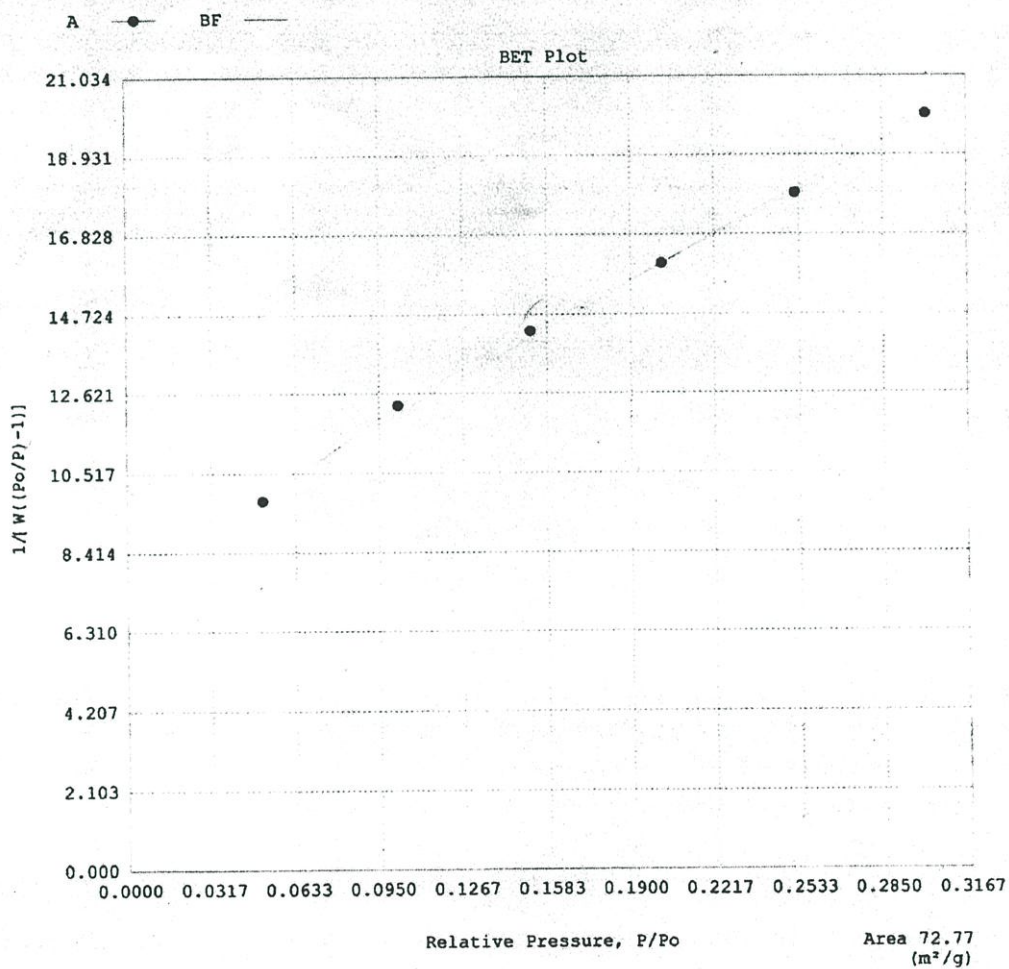
ภาคผนวก ค

ผลการศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะ

Date: 03/10/2004

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® Version 1.19

Sample ID	Bentonite				
Description	Adsorption 20 points, Desorption 20 points				
Comments					
Sample Weight	0.0108 g	Outgas Temp	100.0 °C	Operator	o+
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	28.2 hrs	Analysis Time	300.2 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	0	End of Run	03/03/2004 21:52
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	3	File Name	470303_1.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40		
Station #	1				

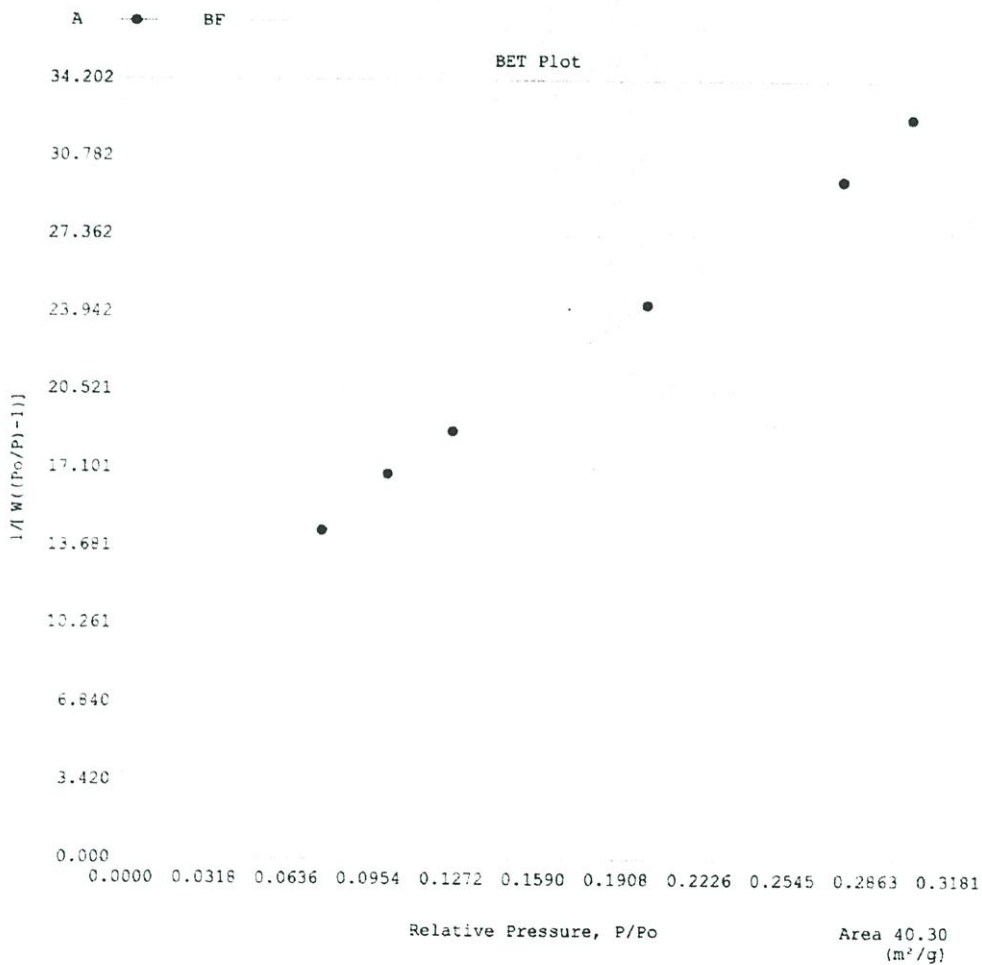


รูปผนวก ค-1 พื้นที่ผิวจำเพาะของเบนโทไนต์

Date: 04/26/2004

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® Version 1.19

Sample ID	trimethyl				
Description	11 BET point				
Comments					
Sample Weight	0.0515 g	Outgas Temp	100.0 °C	Operator	mink
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	15.0 hrs	Analysis Time	96.4 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	0	End of Run	04/07/2004 18:07
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	3	File Name	470407_2.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40		
Station #	1				

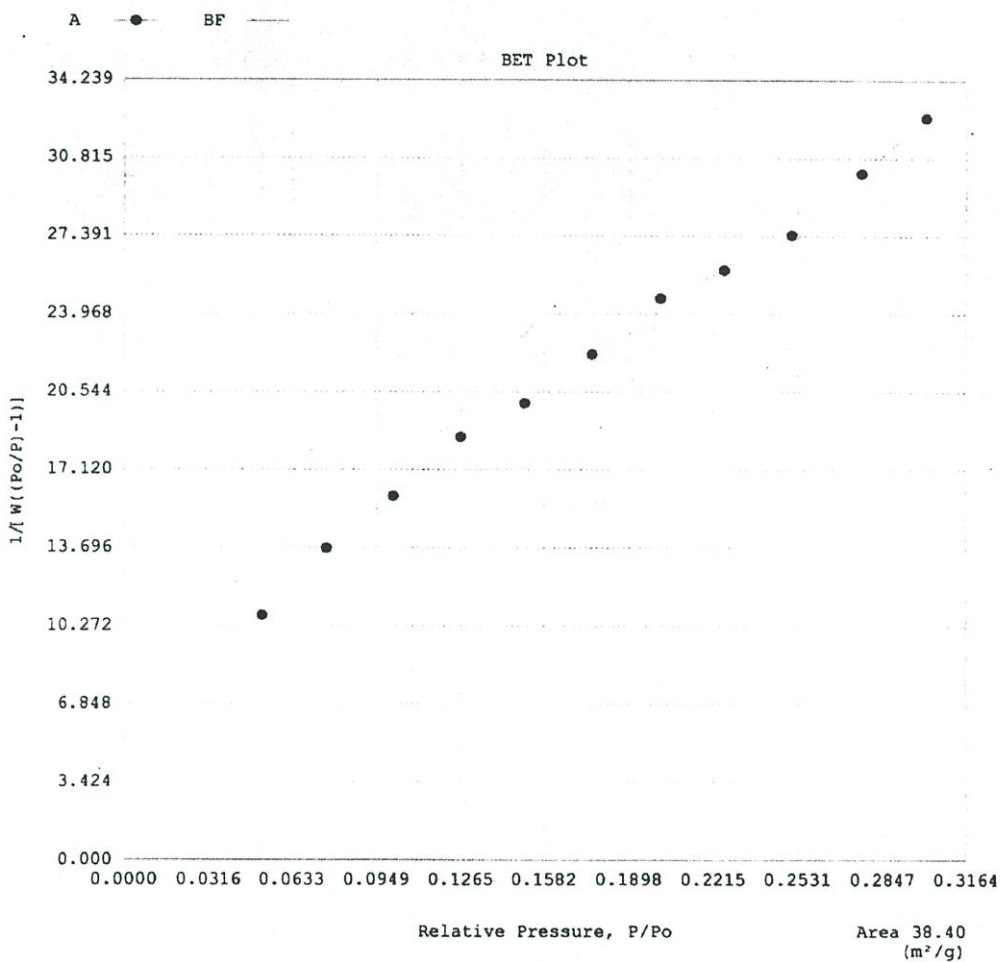


รูปผนวก ค-2 พื้นที่ผิวจำเพาะของเบนโทไนต์ที่ปรับปรุงด้วย เบนซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์

Date: 04/26/2004

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® Version 1.19

Sample ID	benzal			Operator	mink
Description	11 BET point			Analysis Time	103.4 min
Comments					
Sample Weight	0.0541 g	Outgas Temp	100.0 °C	End of Run	04/07/2004 20:30
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.5 hrs	File Name	470407_3.RAW
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	0		
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	3		
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40		
Station #	1				

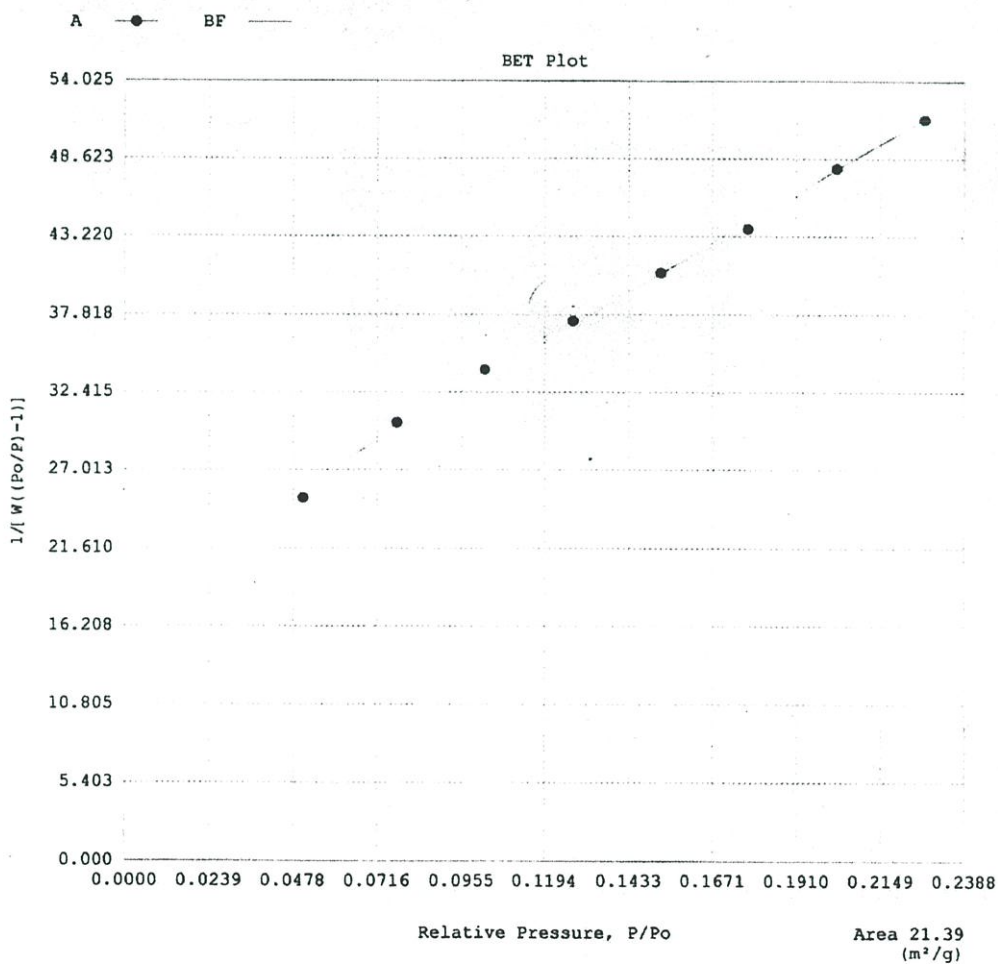


รูปผนวก ค-3 พื้นที่ผิวจำเพาะของเบนโทไนต์ที่ปรับปรุงด้วย เบนซาโคเนียมคลอไรด์

Date: 04/01/2004

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® Version 1.19

Sample ID	non			Operator	mink
Description	11BET point			Analysis Time	95.2 min
Comments				End of Run	03/27/2004 12:45
Sample Weight	0.0464 g	Outgas Temp	100.0 °C	File Name	470327_1.RAW
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	18.5 hrs		
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	0		
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	3		
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40		
Station #	1				

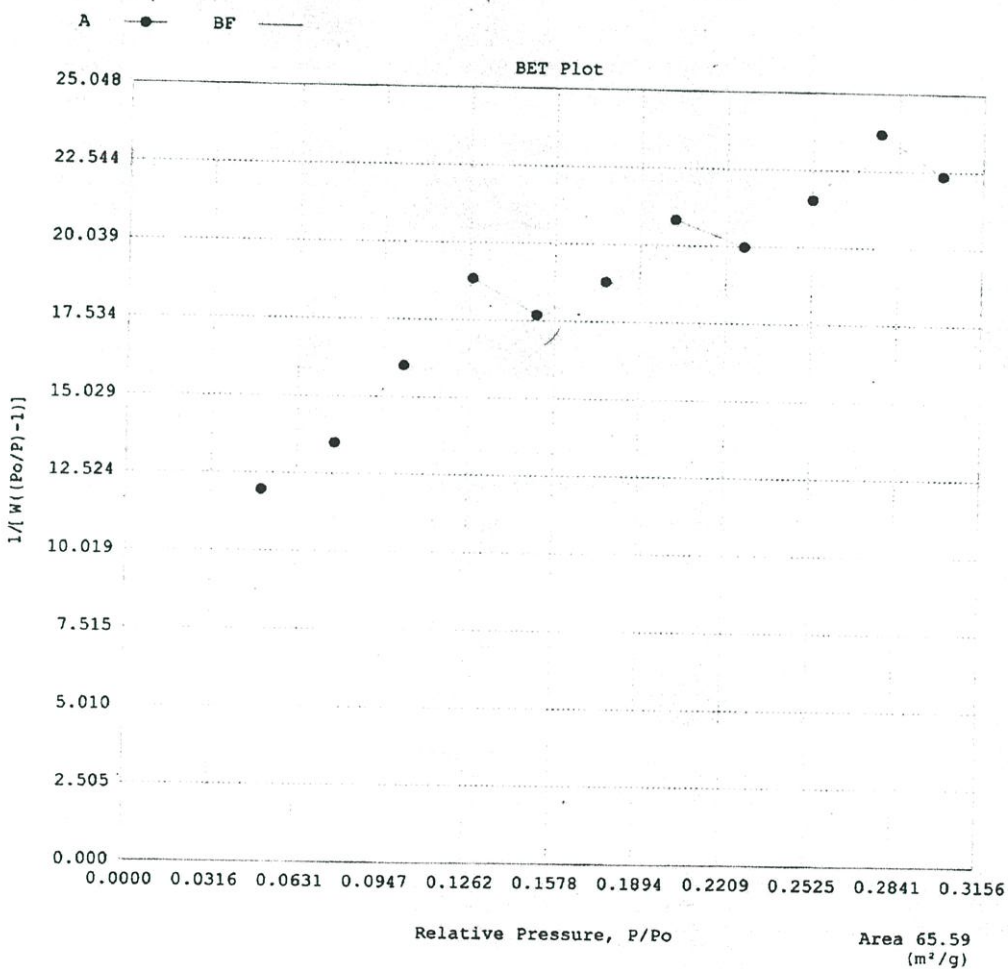


รูปผนวก ค-4 พื้นที่ผิวจำเพาะของเบนโทไนต์ที่ปรับปรุงด้วย ทวิน20

Date: 04/01/2004

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® Version 1.19

Sample ID	dodec				
Description	11BET point				
Comments					
Sample Weight	0.0257 g	Outgas Temp	100.0 °C	Operator	o+
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	18.5 hrs	Analysis Time	96.5 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	0	End of Run	03/28/2004 23:27
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	3	File Name	470328_1.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40		
Station #	1				

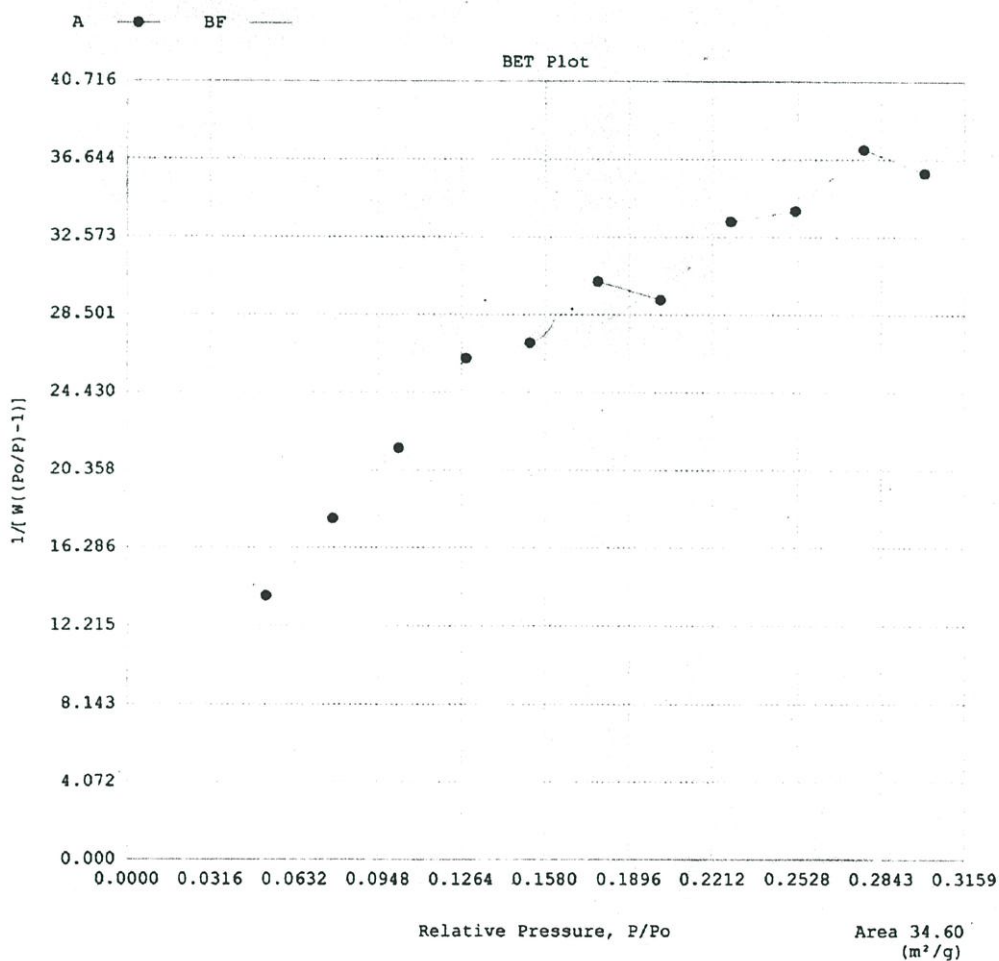


รูปผนวก ค-5 พื้นที่ผิวจำเพาะของเบนโทไนต์ที่ปรับปรุงด้วยไดออกซิลเบนซีนซิลฟอนิกแอซิด

Date: 04/01/2004

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® Version 1.19

Sample ID	sodium				
Description	11BET point				
Comments					
Sample Weight	0.0404 g	Outgas Temp	100.0 °C	Operator	mink
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	17.0 hrs	Analysis Time	101.2 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	0	End of Run	04/01/2004 12:44
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	3	File Name	470401_1.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40		
Station #	1				



รูปผนวก ค-6 พื้นที่ผิวจำเพาะของเบนโทไนต์ที่ปรับปรุงด้วย ไฮเดียมลอลิวซัลเฟต

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงผลการทดลองอิทธิพลที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟีนอล

ตารางผนวกที่ ง-1 ผลการศึกษากำจัดฟีนอลโดยใช้สารลดแรงตึงผิว 5 ชนิดที่ PH ต่างๆ กัน

BTAB	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD		
	1	2	3		เฉลี่ย	1	2		3	เฉลี่ย
ฟีนอล										
3	3.60	3.09	3.74	3.48	0.34	92.80	93.81	92.52	93.04	0.68
7	2.91	3.00	3.97	3.29	0.59	94.18	94.00	92.06	93.41	1.17
9	8.76	9.55	8.86	9.06	0.43	82.47	80.90	82.29	81.89	0.86
11	15.54	17.66	16.28	16.49	1.08	68.92	64.67	67.44	67.01	2.15

ตารางผนวกที่ ง-1 (ต่อ)

BDAC	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD		
	1	2	3		เฉลี่ย	1	2		3	เฉลี่ย
ฟีนอล										
3	32.07	32.04	31.54	31.88	0.30	35.87	35.91	36.92	36.23	0.60
7	30.92	32.41	31.26	31.53	0.78	38.17	35.17	37.48	36.94	1.57
9	32.62	32.78	32.57	32.66	0.11	34.76	34.44	34.85	34.68	0.22
11	40.02	44.03	42.16	42.07	2.01	19.96	11.94	15.67	15.86	4.02

ตารางผนวกที่ ง-1 (ต่อ)

TWEEN 20	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD		
	1	2	3		เฉลี่ย	1	2		3	เฉลี่ย
พีเอช										
3	41.82	41.78	41.81	41.80	0.02	16.37	16.44	16.39	16.40	0.04
7	41.31	41.33	41.32	41.32	0.01	17.37	17.34	17.36	17.36	0.01
9	47.13	47.23	47.12	47.16	0.06	5.74	5.55	5.76	5.68	0.12
11	49.81	49.80	49.81	49.81	0.01	0.38	0.41	0.37	0.39	0.02

ตารางผนวกที่ ง-1 (ต่อ)

SDS	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD		
	1	2	3		เฉลี่ย	1	2		3	เฉลี่ย
พีเอช										
3	34.82	34.80	34.81	34.81	0.01	30.36	30.41	30.39	30.39	0.02
7	42.36	42.35	42.36	42.36	0.00	15.27	15.29	15.28	15.28	0.01
9	49.11	49.11	49.11	49.11	0.00	1.77	1.77	1.79	1.78	0.01
11	50.00	50.06	50.02	50.03	0.03	0.00	-0.11	-0.05	-0.05	0.06

ตารางผนวกที่ ง-1 (ต่อ)

LBS	ปริมาณพืชนอกที่เหลือ (มีลิกนินต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD
	1	2	3		1	2	3	
พีเอช			เฉลี่ย				เฉลี่ย	
3	36.44	36.43	36.44	0.00	27.12	27.14	27.13	0.01
7	41.33	41.31	41.32	0.01	17.34	17.37	17.35	0.01
9	50.00	50.10	50.00	0.06	0.00	-0.21	0.00	0.12
11	50.01	50.13	50.02	0.07	-0.02	-0.26	-0.04	0.13

ตารางผนวกที่ ง - 2 ผลการศึกษากำจัดฟีนอลโดยใช้สารลดแรงตึงผิวความเข้มข้นต่างๆ กัน

%ของสารลดแรงตึงผิว	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD
	1	2	3		1	2	3	
BTAB								
50	10.68	9.81	8.21	1.25	78.64	80.38	83.57	2.50
75	4.91	4.93	5.73	0.47	90.19	90.14	88.54	0.94
100	5.75	5.37	5.68	0.21	88.50	89.27	88.64	0.41
150	5.12	4.68	4.34	0.39	89.76	90.64	91.33	0.78

ตารางผนวกที่ ง - 2 (ต่อ)

%ของสารลดแรงตึงผิว	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD
	1	2	3		1	2	3	
BDAC								
50	42.38	44.19	42.45	1.03	15.25	11.62	15.10	2.05
75	38.70	38.51	37.54	0.62	22.60	22.99	24.93	1.24
100	33.38	36.21	35.31	1.45	33.24	27.59	29.37	2.89
150	23.46	20.98	24.59	1.84	53.07	58.03	50.82	3.69

ตารางผนวกที่ ง - 3 ผลการศึกษากำจัดฟีนอลโดยใช้เวลาต่างๆ กัน

BTAB(75%)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				SD
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย	
เวลา(นาที)										
0	8.50	9.16	8.98	8.88	0.34	83.01	81.67	82.04	82.24	0.69
5	7.85	7.65	7.55	7.69	0.15	84.29	84.70	84.89	84.63	0.31
10	4.75	5.00	4.54	4.76	0.23	90.50	90.00	90.91	90.47	0.46
20	4.31	4.34	4.27	4.30	0.04	91.37	91.33	91.47	91.39	0.07
30	4.17	4.20	3.76	4.04	0.25	91.65	91.60	92.48	91.91	0.49
60	2.91	3.00	3.97	3.29	0.59	94.18	94.00	92.06	91.41	1.17
120	4.63	4.86	4.59	4.70	0.15	90.73	90.27	90.82	90.61	0.30
180	4.22	3.74	4.27	4.08	0.29	91.56	92.52	91.47	91.85	0.59
240	4.43	4.36	4.43	4.40	0.04	91.15	91.28	91.14	91.19	0.08

ตารางผนวกที่ ง-3 (ต่อ)

BDAC(100%)	ปริมาณพืชนอลที่เหลือ (มีลติกรับต่อลิตร)				SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				SD	
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย		
เวลา(นาที)											
0	33.78	34.57	33.92	34.09	0.42	32.43	30.87	32.16	31.82	0.84	
5	32.55	33.65	33.85	33.35	0.71	34.91	32.69	32.29	33.30	1.41	
10	32.57	31.85	32.34	32.25	0.36	34.87	36.29	35.33	35.50	0.73	
20	32.52	31.32	31.62	31.82	0.62	34.96	37.35	36.75	36.36	1.24	
30	31.71	32.47	31.78	31.99	0.42	36.57	35.05	36.43	36.02	0.84	
60	30.92	32.41	31.26	31.53	0.78	38.17	35.17	37.48	36.94	1.57	
120	31.69	31.71	31.67	31.69	0.02	36.62	36.57	36.66	36.62	0.05	
180	32.22	32.77	32.98	32.66	0.39	35.56	34.46	34.04	34.69	0.79	
240	32.66	32.82	32.68	32.72	0.09	34.69	34.36	34.64	34.56	0.17	

ตารางผนวกที่ ง-4 ผลการศึกษากำจัดฟีนอลโดยใช้ความเร็วจรอบต่างๆ กัน

BTAB(75%)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD		
	1	2	3		เฉลี่ย	1	2		3	เฉลี่ย
ความเร็วจรอบต่อนาที										
0	7.42	8.12	7.88	7.80	0.35	85.16	83.77	84.25	84.39	0.71
60	2.97	4.43	4.48	3.96	0.86	94.07	91.14	91.05	92.09	1.72
120	3.76	3.93	4.53	4.07	0.40	92.48	92.13	90.95	91.85	0.80
180	5.83	6.01	5.56	5.80	0.22	88.33	87.99	88.88	88.40	0.45
240	5.54	5.36	6.62	5.84	0.68	88.93	89.27	86.76	88.32	1.36

ตารางผนวกที่ ง-4 (ต่อ)

BDAC(100%)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD		
	1	2	3		เฉลี่ย	1	2		3	เฉลี่ย
ความเร็วจรอบต่อนาที										
0	33.43	34.24	34.22	33.96	0.46	33.15	31.52	31.57	32.08	0.93
60	32.25	32.33	31.92	32.17	0.22	35.49	35.35	36.16	35.67	0.43
120	31.94	32.02	31.97	31.98	0.04	36.12	35.97	36.07	36.05	0.08
180	33.38	33.82	34.32	33.84	0.47	33.24	32.35	31.36	32.32	0.94
240	34.01	33.57	33.57	33.72	0.26	31.97	32.86	32.86	32.56	0.51

ตารางผนวกที่ ง - 5 ผลการศึกษากำจัดพินอลโดยเพิ่มความเข้มข้นของพินอลต่างๆ กัน

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก/ล)	ปริมาณพินอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD		
	1	2	3		เฉลี่ย	1	2		3	เฉลี่ย
BTMB(75%)										
50	4.01	4.03	4.85	4.30	0.48	91.99	91.94	90.30	91.41	0.96
100	10.38	10.31	10.35	10.35	0.04	89.62	89.69	89.65	89.65	0.04
200	30.60	33.08	32.08	31.92	1.25	84.70	83.46	83.96	84.04	0.62
400	122.59	117.83	117.60	119.34	2.81	69.35	70.54	70.60	70.16	0.70

ตารางผนวกที่ ง - 5 (ต่อ)

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก/ล)	ปริมาณพินอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD		
	1	2	3		เฉลี่ย	1	2		3	เฉลี่ย
BDAC(100%)										
50	33.38	36.21	35.31	34.97	1.45	33.24	27.59	29.37	30.07	2.89
100	74.13	69.81	69.82	71.26	2.49	25.87	30.19	30.18	28.74	2.49
200	152.83	153.63	152.93	153.12	0.43	23.59	23.19	23.53	23.44	0.22
400	317.97	318.37	319.17	318.50	0.61	20.51	20.41	20.21	20.37	0.15

ตารางผนวกที่ ๖ -6 ผลการศึกษากำจัดฟีนอลโดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ต่างๆ กัน

BTAB	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				SD			
	1	2	3		เฉลี่ย	1	2	3		เฉลี่ย		
ความเข้มข้น NaCl (โมล/ลิตร)												
0.001	4.88	4.89	4.88	4.88	0.00	90.23	90.23	90.23	90.23	0.00		
0.01	4.39	4.46	4.39	4.41	0.04	91.22	91.07	91.22	91.17	0.09		
0.05	4.47	4.43	4.42	4.44	0.03	91.07	91.15	91.16	91.13	0.05		
0.1	4.44	4.43	4.44	4.44	0.01	91.12	91.14	91.12	91.13	0.01		
0.9	3.20	3.27	3.19	3.22	0.04	93.61	93.46	93.62	93.56	0.09		

ตารางผนวกที่ ๖ -6 (ต่อ)

BDAC	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				SD			
	1	2	3		เฉลี่ย	1	2	3		เฉลี่ย		
ความเข้มข้น NaCl (โมล/ลิตร)												
0.001	33.78	33.77	33.77	33.77	0.00	32.45	32.46	32.45	32.45	0.01		
0.01	34.17	34.17	34.18	34.17	0.01	31.66	31.66	31.64	31.65	0.01		
0.05	33.13	33.29	33.25	33.22	0.08	33.74	33.43	33.49	33.55	0.17		
0.1	33.43	33.40	33.42	33.41	0.01	33.14	33.20	33.17	33.17	0.03		
0.9	30.85	31.43	30.96	31.08	0.31	38.31	37.15	38.08	37.85	0.62		

สารลดแรงตึงผิวชนิด BTAB				สารลดแรงตึงผิวชนิด BDAC			
C0-C	q	1/q	1/c	C0-C	q	1/q	1/c
45.70448	4.570448	0.218797	0.2328	15.03351	1.503351	0.665181	0.028599
89.64838	8.964838	0.111547	0.096603	28.74328	2.874328	0.347907	0.014034
168.0781	16.80781	0.059496	0.031326	46.87019	4.687019	0.213355	0.00653
280.6519	28.06519	0.035631	0.008379	81.49582	8.149582	0.122706	0.00314

ตารางผนวกที่ ๘ - 8 ผลการศึกษาไอโซเทอมแบบฟรุนลิช

สารลดแรงตึงผิวชนิด BTAB				สารลดแรงตึงผิวชนิด BDAC			
C0-C	q	logq	logc	C0-C	q	logq	logc
45.70448	4.570448	0.659959	0.633016	15.03351	1.503351	0.17706	1.543652
89.64838	8.964838	0.952542	1.015008	28.74328	2.874328	0.458536	1.852826
168.0781	16.80781	1.225511	1.504089	46.87019	4.687019	0.670897	2.18506
280.6519	28.06519	1.448168	2.076815	81.49582	8.149582	0.911135	2.503115

ตารางผนวกที่ ง - 9 ผลการศึกษารายพื้นที่นอกลอกจากบริเวณไนท์ที่ปรับปรุง

ตัวอย่าง	ปริมาณพื้นที่นอกลที่เหลือ (มีลักรั้บต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD
	1	2	3		1	2	3	
BTAB	5.59	6.75	7.58	1.00	88.83	86.51	84.83	2.01
BDAC	11.85	11.60	12.05	0.22	76.30	76.79	75.91	0.44

มิลลิกรัมต่อลิตร

สารลดแรงตึงผิว BDAC ความเข้มข้นฟีนอล 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา(นาที)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	q	t/q	t1/2
	1	2	3	เฉลี่ย				
0	13.28	13.25	13.35	13.27	0.06	0.67	0.00	0.00
5	11.52	11.50	11.50	11.49	0.01	0.85	5.87	2.24
10	8.52	8.56	8.54	8.56	0.02	1.14	8.74	3.16
20	8.47	8.45	8.45	8.46	0.01	1.15	17.33	4.47
30	8.56	8.70	8.46	8.61	0.12	1.14	26.33	5.48
60	8.63	8.60	8.61	8.61	0.01	1.14	52.67	7.75
120	8.47	8.45	8.46	8.46	0.01	1.15	103.97	10.95
180	8.60	8.62	8.66	8.61	0.03	1.14	158.00	13.42

ตารางผนวกที่ ง - 10 (ต่อ)

สารลดแรงตึงผิว BDAC ความเข้มข้นฟีนอล 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา(นาที)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	q	t/q	t1/2
	1	2	3	เฉลี่ย				
0	43.53	43.52	43.54	43.52	0.01	0.65	0.00	0.00
5	41.02	41.10	41.10	41.02	0.05	0.90	5.57	2.24
10	36.95	36.94	36.94	36.94	0.01	1.31	7.66	3.16
20	31.81	31.82	31.82	31.82	0.01	1.82	11.00	4.47
30	31.96	31.97	32.00	31.99	0.02	1.80	16.66	5.48
60	31.79	31.78	31.79	31.79	0.00	1.82	32.94	7.75
120	31.69	31.69	31.69	31.69	0.00	1.83	65.54	10.95
180	32.66	32.69	32.66	32.66	0.02	1.73	103.79	13.42

ตารางผนวกที่ ง - 10 (ต่อ)

สารลดแรงตึงผิว BDAC ความเข้มข้นฟีนอล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา(นาที)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	q	t/q	t1/2
	1	2	3	เฉลี่ย				
0	99.01	99.12	99.00	99.01	0.07	0.10	0.00	0.00
5	98.26	98.87	98.99	98.92	0.39	1.08	4.63	2.24
10	89.82	89.97	89.55	89.90	0.21	1.91	5.24	3.16
20	63.69	64.13	63.52	63.66	0.31	3.63	5.50	4.47
30	60.42	60.50	60.48	60.48	0.04	3.95	7.59	5.48
60	62.33	62.46	62.36	62.42	0.07	3.76	15.96	7.75
120	65.65	65.69	65.70	65.69	0.02	3.43	34.98	10.95
180	67.33	66.97	67.23	67.18	0.19	3.28	54.85	13.42

ตารางผนวกที่ ง - 10 (ต่อ)

สารลดแรงตึงผิว BTAB ความเข้มข้นฟีนอล 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา(นาที)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	q	t/q	t1/2
	1	2	3	เฉลี่ย				
0	0	0	0	0	0	2	0	0
5	0	0	0	0	0	2	2.5	2.24
10	0	0	0	0	0	2	5	3.16
20	0	0	0	0	0	2	10	4.47
30	0	0	0	0	0	2	15	5.48
60	0	0	0	0	0	2	30	7.75
120	0	0	0	0	0	2	60	10.95
180	0	0	0	0	0	2	90	13.42

ตารางผนวกที่ ง - 10 (ต่อ)

สารลดแรงตึงผิว BTAB ความเข้มข้นฟีนอล 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา(นาที)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	q	t/q	t1/2
	1	2	3	เฉลี่ย				
0	8.88	8.97	8.87	8.88	0.06	4.11	0.00	0.00
5	4.85	4.85	4.85	4.86	0.00	4.51	1.11	2.24
10	4.77	4.78	4.77	4.76	0.01	4.52	2.21	3.16
20	4.32	4.30	4.30	4.30	0.01	4.57	4.38	4.47
30	4.03	4.05	4.09	4.04	0.03	4.60	6.53	5.48
60	4.69	4.70	4.69	4.70	0.01	4.53	13.24	7.75
120	4.70	4.66	4.70	4.70	0.02	4.53	26.49	10.95
180	4.09	4.07	4.08	4.08	0.01	4.59	39.19	13.42

ตารางผนวกที่ ง - 10 (ต่อ)

สารลดแรงตึงผิว BTAB ความเข้มข้นฟีนอล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เวลา(นาที)	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				SD	q	t/q	t1/2
	1	2	3	เฉลี่ย				
0	38.97	38.98	38.96	38.97	0.01	6.10	0.00	0.00
5	36.65	36.69	36.59	36.67	0.05	6.33	0.79	2.24
10	7.57	7.57	7.59	7.57	0.01	9.24	1.08	3.16
20	7.75	7.71	7.71	7.71	0.02	9.23	2.17	4.47
30	7.93	7.91	7.92	7.91	0.01	9.21	3.26	5.48
60	10.99	10.99	10.93	10.99	0.04	8.90	6.74	7.75
120	10.69	10.69	10.69	10.69	0.00	8.93	13.44	10.95
180	10.94	10.95	10.95	10.94	0.01	8.91	20.21	13.42

ตารางผนวกที่ ง - 11 ผลการศึกษาค่าความขุ่น

%ของสารลดแรงตึงผิว	ค่าความขุ่น (NTU)				SD	%ของสารลดแรงตึงผิว	ค่าความขุ่น (NTU)				SD	
	1	2	3	เฉลี่ย			1	2	3	เฉลี่ย		
BTAB						BDAC						
0	7.10	7.00	7.00	7.03	0.06	0	6.80	6.80	7.00	6.87	0.12	
50	4.41	4.42	4.42	4.42	0.01	50	4.41	4.42	4.43	4.42	0.01	
75	0.07	0.08	0.09	0.08	0.01	75	0.08	0.09	0.08	0.08	0.01	
100	0.05	0.04	0.05	0.05	0.01	100	0.07	0.06	0.05	0.06	0.01	
150	0	0	0	0.00	0.00	150	0	0	0	0.00	0.00	

ตารางผนวกที่ 12 - 12 ผลการศึกษากาการตกตะกอนร่วมกับกาการดูดซับของฟีนอลและอนุพันธ์

BDAC	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD
	1	2	3		1	2	3	
ตัวอย่าง			เฉลี่ย				เฉลี่ย	
ฟีนอล	30.92	32.41	31.26	0.78	38.17	35.17	37.48	36.94
2 คลอโรฟีนอล	9.75	11.04	14.70	2.57	80.50	77.92	70.60	76.34
2,4 คลอโรฟีนอล	3.05	2.75	4.42	0.89	93.89	94.49	91.16	93.18

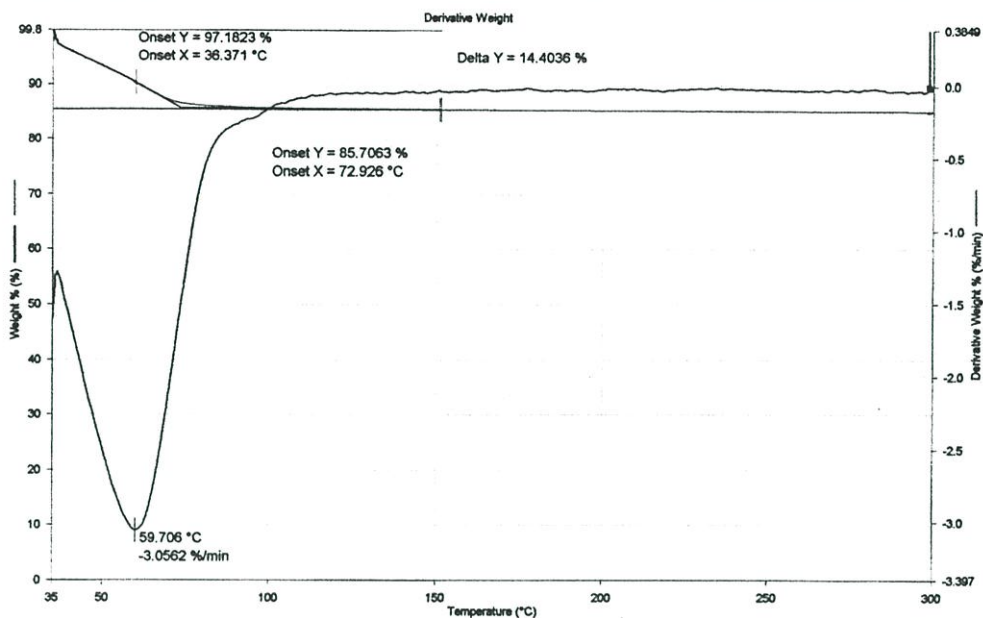
ตารางผนวกที่ 12 - 12 (ต่อ)

BTAB	ปริมาณฟีนอลที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			SD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			SD
	1	2	3		1	2	3	
ตัวอย่าง			เฉลี่ย				เฉลี่ย	
ฟีนอล	2.91	3.00	3.97	0.59	94.18	94.00	92.06	93.41
2 คลอโรฟีนอล	23.08	33.21	32.85	5.75	53.83	33.57	34.30	40.57
2,4 คลอโรฟีนอล	28.96	30.08	29.85	0.59	42.08	39.84	40.29	40.74

ภาคผนวก จ

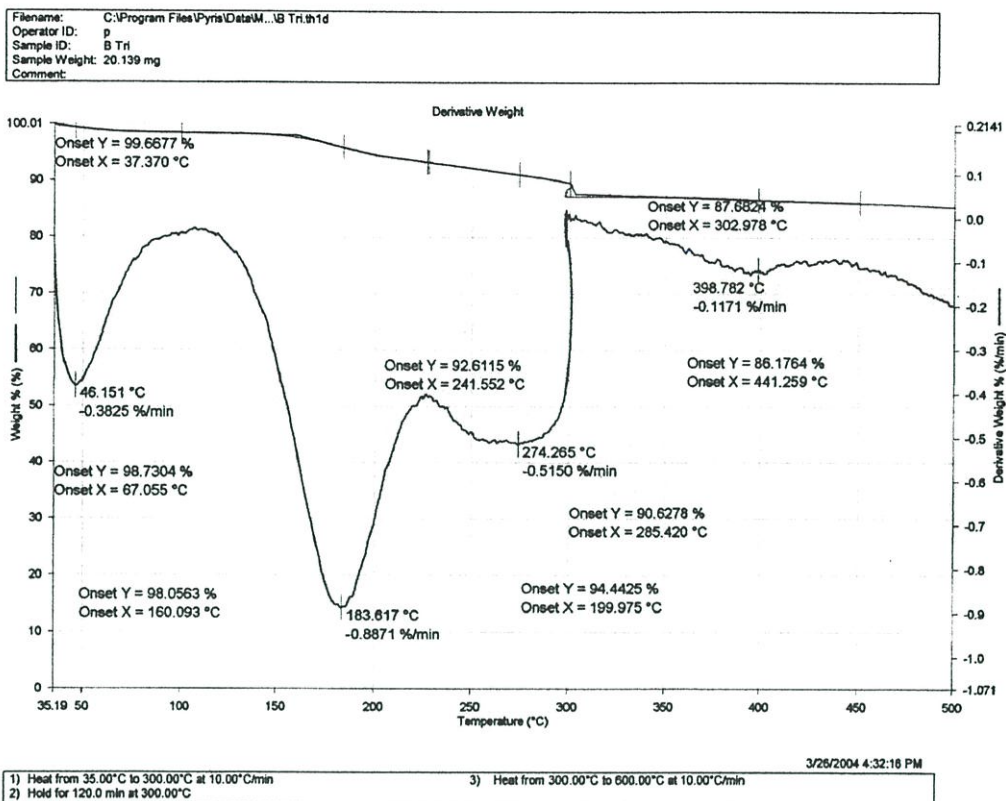
ผลการศึกษาระยะเหยของฟีนอล

Filename: c:\program files\oyris\data\mon... (1).th1d
 Operator ID: p
 Sample ID: (1)
 Sample Weight: 17.501 mg
 Comment:



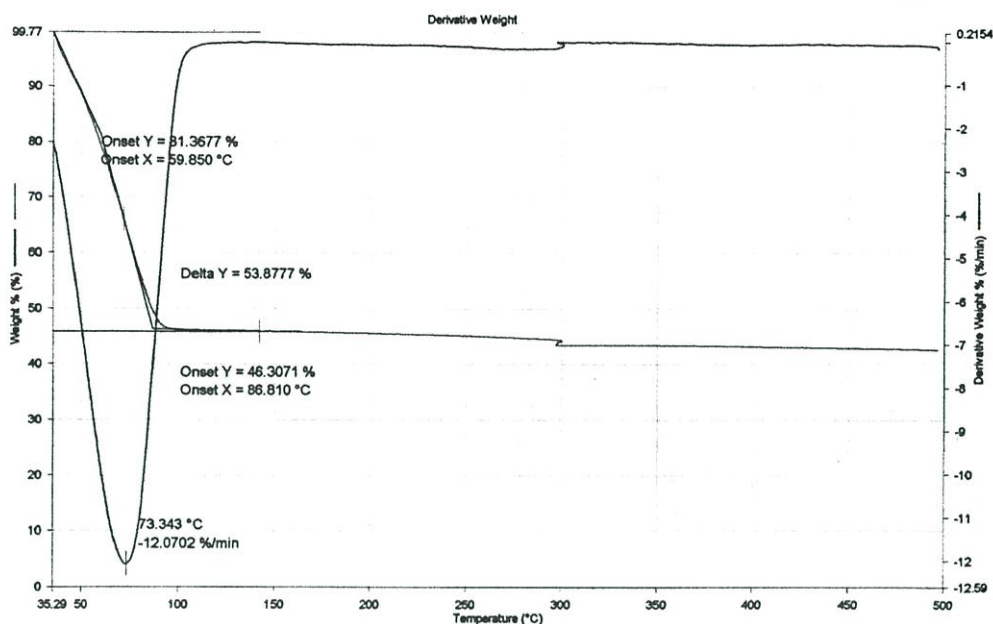
3/28/2004 4:08:15 PM
 1) Hold for 1.0 min at 35.00°C
 2) Heat from 35.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min
 3) Hold for 120.0 min at 300.00°C

รูปผนวกที่ ๑-1 กราฟการระเหยของเบนโทไนด์



รูปผนวกที่ ๑-2 กราฟการระเหยของเบนโทไนด์ที่ปรับปรุงด้วยเบนซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์

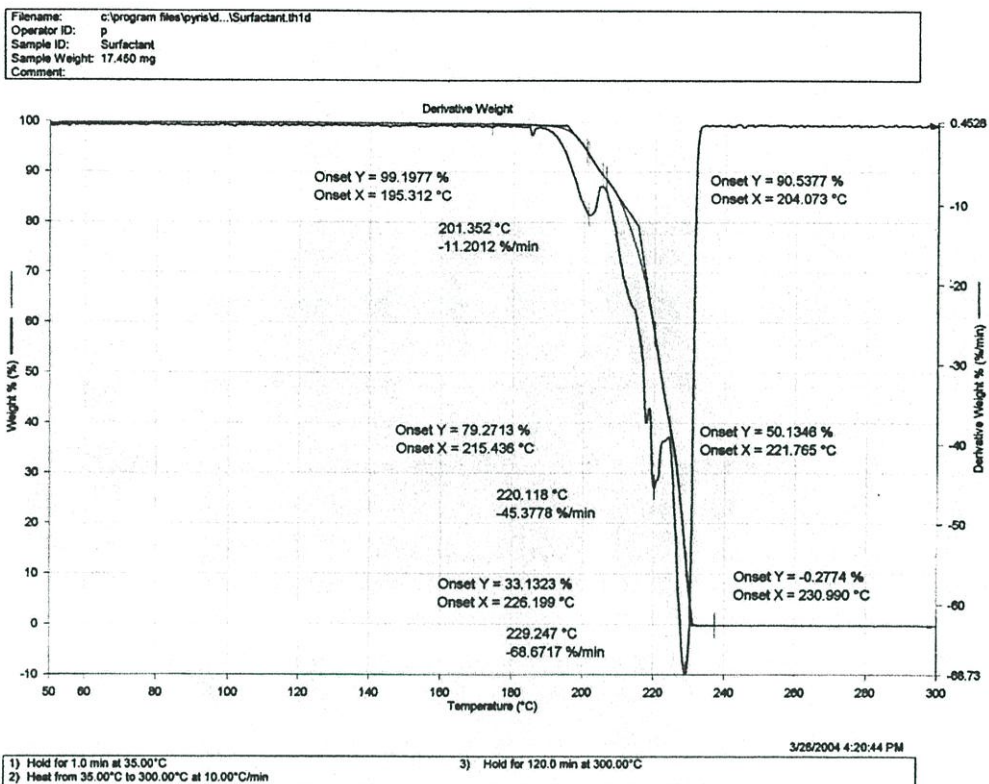
Filename: C:\Program Files\Pyris\...\desorb tri.in1d
 Operator ID: p
 Sample ID: Desorb tri
 Sample Weight: 19.829 mg
 Comment:



3/26/2004 4:10:37 PM

1) Heat from 35.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min
 2) Hold for 120.0 min at 300.00°C
 3) Heat from 300.00°C to 500.00°C at 10.00°C/min

รูปผนวกที่ ๓-3 กราฟการระเหยของเบนโทไนด์ที่ดูดซับฟีนอล



รูปผนวกที่จ-4 กราฟการระเหยของสารลดแรงตึงผิว

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลด้วยวิธี 4-aminoantipyrine

การวิเคราะห์หาปริมาณฟินอลด้วยวิธี 4-aminoantipyrine

สารเคมีและวิธีการเตรียม

1. ฟินอล
2. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 0.5 N เตรียมได้โดยนำแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นมา 35 มล. เตรียมเป็น 1 ลิตร
3. ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ซั่งโคโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตมา (K_2HPO_4) 104.5 กรัม และซั่งโคโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) มา 72.3 กรัม ละลายในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ซึ่งจะได้สารละลายที่มีพีเอชเท่ากับ 6.8
4. สารละลาย 4 – aminoantipyrine ซั่ง 4 – aminoantipyrine มา 2.0 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มล.
5. สารละลายโปแตสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$) ซั่งโปแตสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์มา 8.0 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มล.

วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานฟินอลให้มีความเข้มข้น 1 2 3 4 และ 5 มก/ล จำนวน 100 มล. ถ่ายใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มล. เติม 0.5 N NH_4OH ลงไป 2.5 มล.
2. นำสารละลายมาตรฐานไปปรับพีเอชด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ให้มีค่าพีเอช 7.9 ± 0.1
3. เติมสารละลาย 4 – aminoantipyrine ลงไป 1 มล. ผสมให้เข้ากัน แล้วเติมสารละลายโปแตสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ 1 มล. ผสมให้เข้ากันวางทิ้งไว้
4. หลังจาก 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายเบลงค์ปรับค่าการดูดกลืนแสงเป็นศูนย์
5. เตรียมสารละลายเบลงค์โดยใช้น้ำกลั่น 100 มล. โดยเตรียมเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน
6. การเตรียมสารละลายตัวอย่างทำเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายมาตรฐานแต่ใช้สารละลายตัวอย่างแทนฟินอล ในการทดลองจะใช้สารละลายตัวอย่าง 20 มล. เติม 0.5 N NH_4OH ลงไป 2.5 มล. ปรับพีเอชของสารละลายเป็น 7.9 ± 0.1 แล้วเติมสารละลาย 4 – aminoantipyrine ลงไป 1 มล. ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายโปแตสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ 1 มล. วางทิ้งไว้ และหลังจาก 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

วิธีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับฟีนอลของเม็ดคาร์บอน

$$\% \text{การดูดซับฟีนอล} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100$$

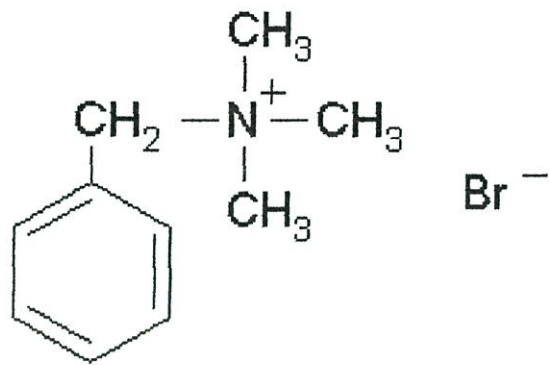
โดยที่

C_i = ความเข้มข้นเริ่มต้น

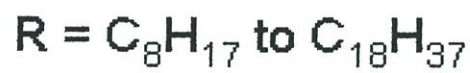
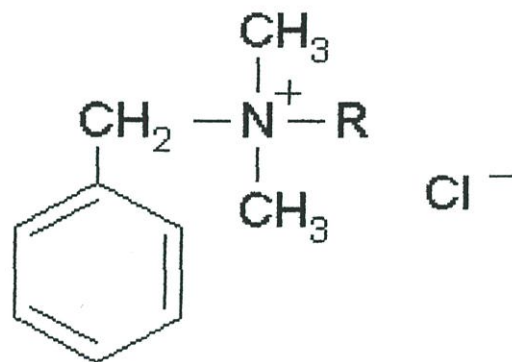
C_f = ความเข้มข้นสุดท้าย

ภาคผนวก ข

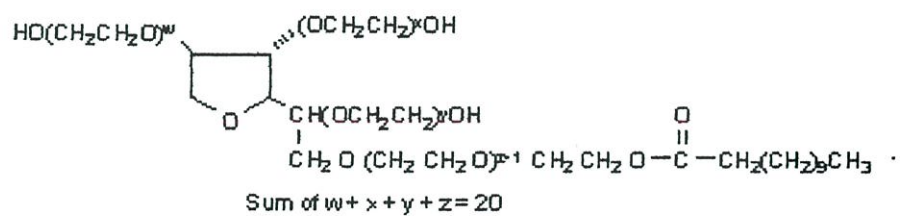
ผลการศึกษาโครงสร้างเบนโทไนด์



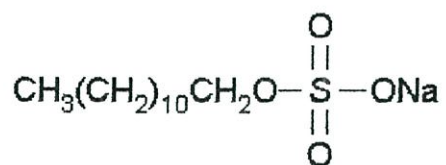
รูปผนวก ข-1 โครงสร้าง เบนซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์



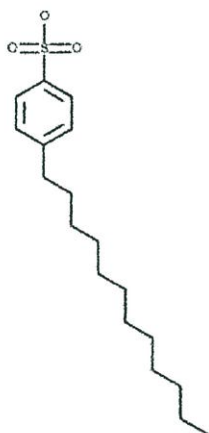
รูปผนวก ข-2 โครงสร้างเบนซาโคเนียมคลอไรด์



รูปผนวก ข-3 โครงสร้างทวิน20



รูปผนวก ข-4 โครงสร้างโซเดียมลอริลซัลเฟต



รูปผนวก ข-5 โครงสร้าง โดเดกซิลเบนซีนซัลโฟเนตโซเดียม

ประวัติผู้เขียน

นางสาวอภิรดี นามมีฤทธิ์ เกิดวันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม) จากสถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบังในปีการศึกษา 2545