

การปรับปรุงภาคตะกอนจากโรงบำบัดน้ำทิ้งจากบ้านเรือนของกรุงเทพมหานครด้วยสารลดแรงตึงผิว  
เพื่อกำจัดสีย้อมเอซิดออกจากรน้ำเสียฟอกย้อมสิ่งทอ



นางสาวสกุลรัตน์ รัตนายน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2551  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODIFICATION OF SEWAGE SLUDGE FROM MUNICIPAL WASTEWATER  
TREATMENT STATION IN BANGKOK WITH SURFACTANT FOR  
REMOVAL OF ACID DYES FROM TEXTILE WASTEWATER



Miss Sakunrat Rattanayon

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำทิ้งจากบ้านเรือน  
ของกรุงเทพมหานครด้วยสารลดแรงตึงผิวเพื่อกำจัดสีข้อม  
เอซิดออกจากน้ำเสียฟอกข้อมสิ่งทอ

โดย

นางสาวสกุลรัตน์ รัตนายน

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

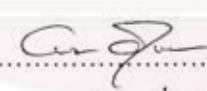
ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.เฟื่องฟ้า อุ่นอบ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

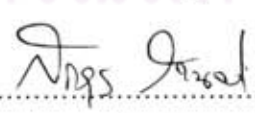
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฉมจิตานนท์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฟื่องฟ้า อุ่นอบ)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชยาน์ พงศ์สถาบดี)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.สรารุช รัตนงเกียรติ)

สกุลรัตน์ รัตนาชน : การปรับปรุงกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำทิ้งจากบ้านเรือนของ กรุงเทพมหานครด้วยสารลดแรงดึงผิวเพื่อกำจัดสีย้อมเอซิคออกจากน้ำเสียฟอกย้อมสิ่งทอ. (MODIFICATION OF SEWAGE SLUDGE FROM MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT STATION IN BANGKOK WITH SURFACTANT FOR REMOVAL OF ACID DYES FROM TEXTILE WASTEWATER) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. เพ็ญฟ้า อุ่นอบ, 72 หน้า.

ได้นำเสนอการเตรียมตัวดูดซับจากกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงดึงผิว เพื่อใช้ในการดูดซับสีย้อมเอซิค โดยเลือกใช้สารลดแรงดึงผิว เฮกซะเดคซิลไตรเมททิลแอมโมเนียมโบรไมด์และสีย้อมเอซิคบลู 25 ในการศึกษา ได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเตรียมตัวดูดซับ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารลดแรงดึงผิว ระยะเวลาสัมผัสระหว่างกากตะกอนกับสารลดแรงดึงผิว และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกากตะกอนก่อนการดัดแปรพื้นผิว โดยวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมตัวดูดซับ คือ นำกากตะกอนที่ไม่ผ่านกาอบมาทำการผสมกับสารลดแรงดึงผิวเข้มข้น 600 ppm เป็นระยะเวลา 120 นาที ซึ่งตัวดูดซับที่ได้ จะมีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการยืนยันว่าพื้นผิวได้ถูกเคลือบด้วยสารลดแรงดึงผิวจริง นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซับสีย้อมของตัวดูดซับที่เตรียมได้สูงกว่ากากตะกอนที่ไม่ได้ดัดแปรมาก

จากนั้นได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบแบทช์ และวิเคราะห์หาปริมาณสีย้อมที่เหลือด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรีที่ความยาวคลื่น 599 nm พบว่า พีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับอยู่ที่พีเอช 3-4 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับคือ 60 นาที การเติมโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.0342 mol/L ในสารละลายจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับสีย้อม ในขณะที่โคโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.0061 mol/L ไม่มีผลต่อการดูดซับ สมดุลในการดูดซับเป็นไปตามความสัมพันธ์ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช ซึ่งความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 241.50 mg/g ตัวดูดซับที่เตรียมได้สามารถกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียจริงได้ จากงานวิจัยพบว่ากากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงดึงผิวมีคุณสมบัติที่ดีในการใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมสิ่งทอ

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....  
ปีการศึกษา.....2551

ลายมือชื่อนิสิต.....สกุลรัตน์ รัตนาชน.....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

# # 4989198320 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : SEWAGE SLUDGE / SURFACTANT / ACID DYE / REMOVAL

SAKUNRAT RATTANAYON : MODIFICATION OF SEWAGE SLUDGE FROM MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT STATION IN BANGKOK WITH SURFACTANT FOR REMOVAL OF ACID DYES FROM TEXTILE WASTEWATER. ADVISOR: ASST.PROF.FUANGFA UNOB, Ph.D., 72 pp.

The adsorbents for removal of acid dyes were prepared by modifying the sewage sludge from municipal wastewater treatment station with surfactant. A cationic surfactant, Hexadecyltrimethylammoniumbromide (CTAB) and acid blue 25 were chosen for the study. The effect of surfactant concentration, contact time between surfactant solution and sludge and sludge pretreatment were investigated. The suitable condition in surface modification was used non-treated sludge modified with surfactant 600 mg/L for 120 min. Surfactant modified sludge had higher amount of carbon, hydrogen and nitrogen compared to non-modified sludge. This result confirmed that the sludge was successfully modified with the surfactant. Moreover, the adsorption efficiency for acid blue 25 of the modified sludge was much greater than that of non modified sludge.

The suitable conditions for removal of acid dye from aqueous solution by modified sludge were studied using batch method. The concentration of acid dye was determined by spectrophotometer at 599 nm. The results showed that the initial pH suitable for adsorption was pH 3-4. The adsorption equilibrium was attained in 60 min. The presence of NaCl 0.0342 mol/L could increase the adsorption capacity, while the presence of Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0.0061 mol/L did not affect the adsorption efficiency. The adsorption isotherm was defined by Freundlich relation. The maximum adsorption capacity for acid blue 25 was 241.50 mg/g adsorbent. The obtained adsorbent could remove acid dyes from real wastewater. This work demonstrates that the surfactant modified sludge has a good potential to be used for removal of acid dyes. Modification of sludge with surfactant for adsorption of acid dyes from water.

Field of Study : Environmental Science ..... Student's Signature Sakunrat Rattanayan  
Academic Year : 2008 ..... Advisor's Signature Fuangfa Unob,

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฟื่องฟ้า อุ่นอบ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และผลักดันให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โภษิตานนท์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชยานันท์ พงศ์สถาปดี และดร.สรารุช รัตนจงเกียรติ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมให้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะ ตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและหน่วยวิจัยการวิเคราะห์เชิงสภาวะแวดล้อม(EARU) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้มอบทุนอุดหนุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ และสมาชิกหน่วยวิจัยการวิเคราะห์เชิงสภาวะแวดล้อม (EARU) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่แนะนำ และให้ความรู้ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอ

ขอขอบพระคุณพี่ต๋นจากบริษัท modern dyestuff & pigment ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่าง สีย้อม และคุณเฉลิมชัย บัวพิพัฒน์ กรรมการผู้จัดการ โรงงาน บริษัท คาร์เปท อินเตอร์เนชั่นแนล ไทยแลนด์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย คุณณัฐพล ธรรมกรกิจ และพี่ในกระบวนการผลิตที่กรุณาให้ข้อมูลในส่วนต่างๆเกี่ยวกับกระบวนการผลิต และน้ำเสียของทางโรงงาน และคุณวิรัช เจริญานูวัตร ผู้จัดการ โรงงาน เจ.ซี.เลซ จำกัด ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตของโรงงาน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ เพื่อนๆสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมรุ่น 7 และพี่ๆเพื่อนๆสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

สุดท้ายขอขอบพระคุณมารดา พี่ๆในครอบครัว สุริยา เอี่ยมเอิบและครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ และการสนับสนุนในทุกๆเรื่องตลอดมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สีย้อม.....	4
2.2 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ.....	7
2.2.1 การเตรียมผ้า.....	7
2.2.2 การย้อมสี.....	8
2.2.3 การตกแต่งสำเร็จ.....	10
2.3 แหล่งที่มาของน้ำเสีย และลักษณะน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม.....	10
2.3.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย.....	10
2.3.2 ลักษณะของน้ำเสียฟอกย้อมโดยทั่วไป.....	12
2.4 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม.....	13
2.5 การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	14
2.5.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น.....	14
2.5.2 การบำบัดขั้นทุติยภูมิ.....	15
2.6 การควบคุม.....	17
2.6.1 ลักษณะการควบคุม.....	17

	หน้า
2.6.2 อัตราการเคลื่อนย้ายมวล.....	18
2.6.3 สมดุลการดูดซับ.....	19
2.6.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ.....	23
2.7 กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน.....	24
2.7.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชน.....	24
2.7.2 วิธีการบำบัดกากตะกอน.....	25
2.7.3 สมบัติของกากตะกอน.....	26
2.7.4 การกำจัดกากตะกอน.....	26
2.8 สารลดแรงตึงผิว.....	27
2.8.1 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว.....	28
2.8.2 การแบ่งประเภทของสารลดแรงตึงผิว.....	29
2.8.3 การนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้ประโยชน์.....	30
2.9 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
3.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	33
3.2 วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี.....	33
3.2.1 วัสดุอุปกรณ์.....	33
3.2.2 สารเคมี.....	34
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	35
3.3.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกากตะกอนที่ตัดแปรด้วย สารลดแรงตึงผิว.....	35
3.3.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอน.....	37
3.3.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีขุ่นในน้ำเสี้ยงเคราะห์ด้วยกาก ตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว.....	37
3.3.4 ผลของไอออนรบกวน.....	39
3.3.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีขุ่นด้วยกากตะกอนต่างแหล่งที่ตัด แปรด้วยสารลดแรงตึงผิว.....	39
3.3.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีขุ่นด้วยกากตะกอนที่ตัดแปรด้วย สารลดแรงตึงผิวกับตัวดูดซับที่นิยมใช้กันทั่วไป.....	40



	หน้า
3.3.7 ทดสอบตัวคูดซ์กับน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตพรม.....	40
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล.....	42
4.1 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกากตะกอนที่ตัดแปรด้วย สารลดแรงตึงผิว.....	42
4.1.1 ผลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการตัดแปรกากตะกอน..	43
4.1.2 ผลของระยะเวลาสัมผัสระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับกากตะกอน.....	46
4.1.3 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกากตะกอนก่อนนำมาใช้.....	47
4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอน.....	49
4.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกากตะกอนที่ ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว.....	50
4.3.1 ผลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลาย.....	50
4.3.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการคูดซ์.....	51
4.4 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการคูดซ์.....	52
4.5 ผลการศึกษาปริมาณตัวคูดซ์ที่ใช้ และจลนศาสตร์การคูดซ์.....	56
4.5.1 ปริมาณตัวคูดซ์ที่ใช้.....	56
4.5.2 จลนศาสตร์การคูดซ์.....	57
4.6 การศึกษาผลของไอออนรบกวน.....	60
4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25 ด้วยกากตะกอนต่างแหล่ง ที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว.....	61
4.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมด้วยกากตะกอนที่ตัดแปรด้วย สารลดแรงตึงผิวกับตัวคูดซ์ที่นิยมใช้กันทั่วไป.....	62
4.9 ผลการศึกษาการประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจริง.....	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	66
ข้อเสนอแนะ.....	67
รายการอ้างอิง.....	68
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	72

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานฟอกย้อม.....	11
3.1	วัสดุ และอุปกรณ์.....	33
3.2	รายการสารเคมี.....	34
3.3	ตัวแปร และช่วงที่ศึกษาการตัดแปรกากตะกอนด้วยสารลดแรงตึงผิว.....	35
3.4	การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากตะกอน.....	37
4.1	ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่อบก่อนนำไปตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว.....	48
4.2	ค่า zeta potential และเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนของกากตะกอนที่ไม่ตัดแปร และตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว.....	49
4.3	ข้อมูลจากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว.....	55
4.4	เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีย้อมเอซิคของตัวดูดซับชนิดอื่นๆ.....	55
4.5	ค่าคงที่จลนศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-second order ที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรงของกราฟ.....	59
4.6	เปอร์เซ็นต์การกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25 เมื่อมีเกลือต่างๆในสารละลาย.....	60
4.7	ความสามารถในการดูดซับสีย้อมของตัวดูดซับที่เตรียมจากตะกอนต่างแหล่ง....	61
4.8	ลักษณะน้ำเสียที่ได้หลังจากการย้อมไหมของพรหม.....	63

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ตัวอย่าง โครงสร้างลีย้อม.....	6
2.2 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.....	19
2.3 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์.....	21
2.4 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช.....	21
2.5 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองการดูดซับแบบ BET.....	25
2.6 ส่วนประกอบสารลดแรงตึงผิว.....	28
4.1 โครงสร้างของ acid blue 25 (a) และ CTAB (b).....	42
4.2 ความสามารถในการดูดซับลีย้อมอะซิเดบลู 25 ของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยCTAB ที่ความเข้มข้น 50 – 800 ppm.....	43
4.3 ค่า zeta potential ของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วย CTAB ที่ 0–800 ppm.....	44
4.4 รูปแบบการดูดซับ CTAB บนผิวกากตะกอนและกลไกการดูดซับลีย้อมที่เป็นไปได้.....	45
4.5 ความสามารถในการดูดซับลีย้อมอะซิเดบลู 25 ของตัวดูดซับที่เตรียมโดยใช้ระยะเวลาสัมผัสระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับกากตะกอนตั้งแต่ 30-720 นาที.....	46
4.6 ประสิทธิภาพในการกำจัดลีย้อมอะซิเดบลู 25 ในสารละลายที่มีพีเอชเริ่มต้นต่างๆ...	50
4.7 ความสามารถในการกำจัดลีย้อมอะซิเดบลู 25 ของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ .....	51
4.8 การดูดซับลีย้อมอะซิเดบลู 25 ของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวเมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ.....	52
4.9 การดูดซับลีย้อมอะซิเดบลู 25 ของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวตามแบบจำลองแลงเมียร์.....	54
4.10 การดูดซับลีย้อมอะซิเดบลู 25 ของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวตามแบบจำลองฟรุนด์ลิช.....	54
4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดลีย้อมอะซิเดบลู 25 โดยใช้ตัวดูดซับ 1, 2 และ 5 g/L ในช่วงระยะเวลา 15 - 90 นาที.....	56
4.12 จลนศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-second order ของลีย้อมอะซิเดบลู 25 ที่ถูกดูดซับด้วย กากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว.....	58

4.13	ความสามารถในการคุมช้บสี่้อมของตัวคุมช้บที่เตรียมได้เทียบกับ ตัวคุมช้บชนิดอื่น.....	62
4.14	ความสามารถในการกำจ้ดสี่้อมออกจากน้ำเสียจริงด้วยตัวคุมช้บที่เตรียมได้.....	64



ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจไทยและเป็นอุตสาหกรรมที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จากรายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มในปี 2543 พบว่าผลิตภัณฑ์มวลรวมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มมีมูลค่า 140,708 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 16.04 ของมูลค่ามวลรวมภาคอุตสาหกรรม อีกทั้งยังสามารถทำรายได้เงินตราต่างประเทศได้ปีละกว่าแสนล้านบาท (กลุ่มอุตสาหกรรม 2, 2544) ซึ่งในกระบวนการผลิตจะต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมาก และส่งผลให้น้ำเสียในปริมาณมากเช่นกัน ซึ่งทางโรงงานจะต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัดเสีย โดยในประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดมาตรฐานเสียในน้ำทิ้ง มีเพียงแต่ประกาศเตือนว่าน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำต้องไม่มีสีที่อยู่ในระดับที่ไม่น่าพึงพอใจ โดยเทคนิคที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติมีหลายวิธี ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งเสีย ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบเอเอส (Activated sludge) กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis) กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (Ultra filtration) การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical coagulation) อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) และการดูดซับ (Adsorption) โดยกระบวนการดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับนิยมน้อยกว่าหลาย ซึ่งตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงและนิยมใช้คือ ผงถ่านกัมมันต์ แต่ข้อจำกัดของถ่านกัมมันต์คือ มีราคาแพงและไม่คุ้มค่าที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ จึงมีการคิดค้นหาตัวดูดซับอื่นๆที่มีราคาถูกมาเป็นทางเลือก ในงานวิจัยนี้สนใจนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้เป็นตัวดูดซับ ซึ่งกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณขึ้นตามอัตราการขยายตัวของประชากร ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดเพิ่มขึ้น โดยกากตะกอนเหล่านี้มักถูกกำจัดโดยวิธีการเผา ฝังกลบ ทำปุ๋ย หรือนำไปถมพื้นที่ ซึ่งในกรณีหลังจำเป็นต้องระวังถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการรั่วไหลของสารพิษบางชนิดที่ปนเปื้อนมากับกากตะกอน (ยุพาตันทวี, 2547) แนวทางหนึ่งที่น่าสนใจคือการนำกากตะกอนกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น นำมาทำเป็นตัวดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำ เช่น โลหะ (Zhang และคณะ, 2005) และ สี (Wang และคณะ 2008; Martin และคณะ, 2003) นอกจากนี้ในกากตะกอนยังประกอบด้วยสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนได้เป็นอย่างดี (Fan และ Zhang, 2008)

งานวิจัยส่วนใหญ่จึงนิยมนำกากตะกอนมาปรับปรุงพื้นผิวเป็นถ่านกัมมันต์ แต่ยังมีงานวิจัยจำนวนน้อยที่ทำการตัดแปรทางเคมีของกากตะกอนด้วยวิธีอื่น

งานวิจัยนี้มีแนวความคิดที่จะใช้ประโยชน์จากกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมและทำการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับด้วยการตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว ซึ่งสารลดแรงตึงผิวเมื่ออยู่ในสารละลายจะแสดงความเป็นประจุได้ (Clint, 1992) และสามารถจับกับสีย้อมที่มีประจุตรงกันข้ามได้ดี โดยทำการศึกษาวิธีการเตรียมการตัวดูดซับ และหาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมของตัวดูดซับที่เตรียมได้ เพื่อการประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจริงต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการตัดแปรกากตะกอนด้วยสารลดแรงตึงผิว
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเอซิคอกจากน้ำเสียของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เป็นการศึกษาเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ
2. ศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน
3. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว
4. ศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอนหลังการตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว
5. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว
6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมด้วยกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวกับตัวดูดซับที่นิยมใช้กันทั่วไป
7. ทดสอบกับน้ำเสียจริง

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบภาวะที่เหมาะสมในการตัดแปรงากตะกอนด้วยสารลดแรงตึงผิว และการนำไปใช้ในการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียจากภาวะที่เหมาะสม
2. เป็นข้อมูลพื้นฐาน และแนวทางในการนำากตะกอนที่ตัดแปรงด้วยสารลดแรงตึงผิวไปใช้ในการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียจริง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สีย้อม

สีย้อม (dyestuffs) คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมเส้นใยของผ้า อาจจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดไม่สามารถละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยโดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก(ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง สีที่เห็นจากสีย้อมนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้นมีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400 – 700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กันไป ซึ่งสายตาสถาสามารถรับภาพได้ จึงทำให้โมเลกุลสีย้อมต่างโทนสีกันแสดงสีให้เราเห็นด้วยสายตาสถาออกมาเป็นต่างกันไป (รัชนี รุกขชาติ, 2549)

การจำแนกสีย้อมมีวิธีการจำแนกอยู่หลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้ เพราะจะต้องมีความคงทนต่อการซัก มีความคงทนต่อแสงและยังต้องมีความคงทนต่อความร้อน ซึ่งในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมได้จำแนกสีย้อมตามวิธีใช้ออกเป็น 11 ประเภท ดังนี้ (ขนิษฐา ชัยรัตนาวรรณ, 2549)

1. สีเอซิด (acid dye) สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการเกิดสีเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีเอซิดบางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน ไยขนแกะ ไหม และเส้นใยอะคริลิกได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอซิดไม่ทนการซัก ไม่ทนเหงื่อ ตัวอย่างสีย้อมเอซิด เช่น acid blue 25 (รูปที่ 2.1)

2. สีไดเรกต์ (direct dye) หรืออาจเรียกว่าสีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้



ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ สีจะตกง่าย แต่ทนแสง

3. สีเบสิก (basic or cationic dye) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (organic base) ให้ประจุลบ ละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอนและใยอะคริลิกได้ดี ในขณะที่ย้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติเพราะจะไม่ทนการซักและไม่ทนแสง

4. สีดิสเพอร์ส (disperse dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายตัวได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และเส้นใยอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารพา (carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควั่นหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนตรัสออกไซด์ สีดิสเพอร์สแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาโครงสร้างทางเคมีในตัวสี ย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (azo dyes) และสีย้อมอะมิโน แอนทราควิโนน (amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทานอลามีน (ethanolamine;  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

5. สีรีแอกทีฟ (reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ในสภาวะที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอกทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง ( $70-75^\circ\text{C}$ ) และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ สีรีแอกทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ

6. สีอะโซอิก (azoic dye) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะยึดติดบนเส้นใยได้ต้องย้อมเส้นใยด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโปเนนต์ซึ่งจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตท สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขัดถู ตัวอย่างสีย้อมอะโซอิก เช่น azoic diazo component 5 (รูปที่ 2.1)

7. สีแว้ต (vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้สีแว้ตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแว้ตจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นเกลือแล้วจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศ สีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็น สีแว้ต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีต่างกันและแบ่งเป็นกลุ่มที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (indigo) และสีแอนทราควิโนอยด์ (anthraquinoid) ตัวอย่างสีแว้ต เช่น vat dye (รูปที่ 2.1)

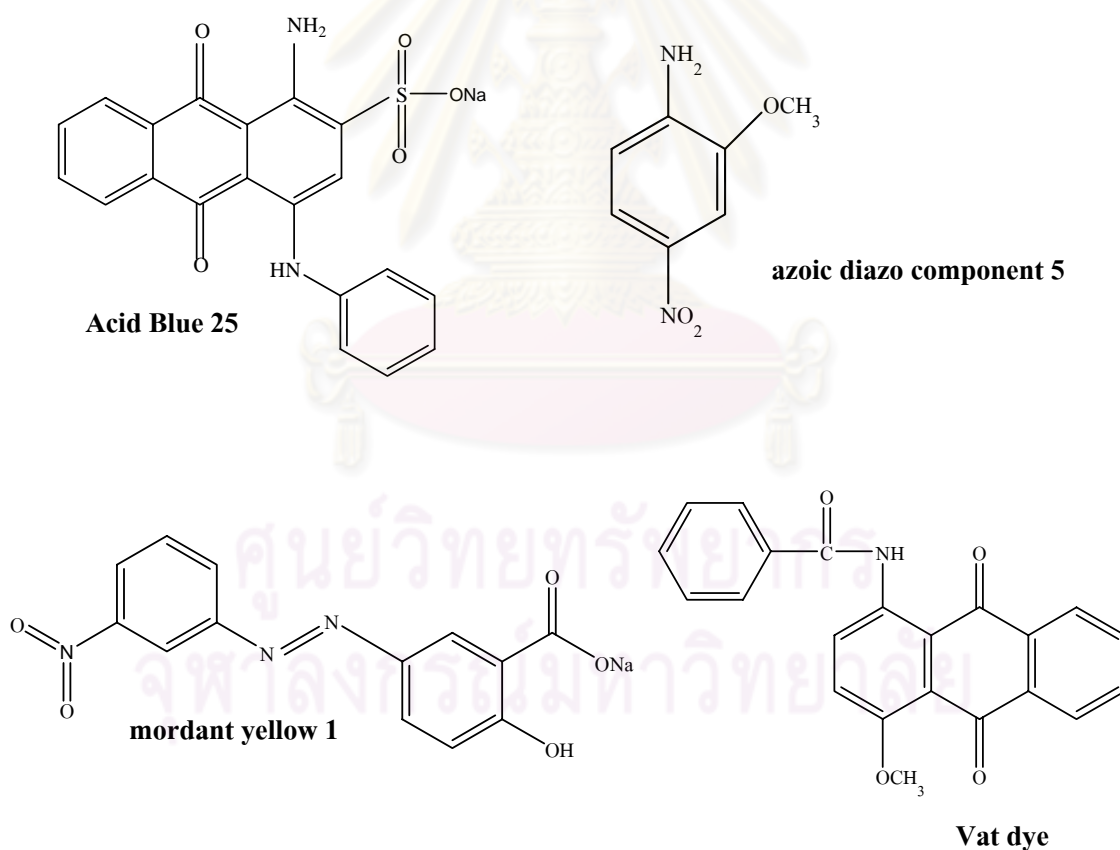
8. สีเมอร์แคนท์ หรือโครม (mordant or chrome dye) สีย้อมชนิดนี้ต้องใช้สารช่วยติดเข้าไปช่วยเพื่อให้เกิดการติดสีบนเส้นใย สารที่ช่วยติดที่ใช้คือ สารประกอบออกไซด์ของโลหะ เช่น โครเมียม ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น สีเมอร์แคนท์เป็นสีที่มีโมเลกุลใหญ่ซึ่งเกิดจากสีเมอร์แคนท์

หลายโมเลกุลจับกับโลหะแล้วละลายน้ำได้จึงทำให้ย้อมได้ง่าย ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนและเส้นใยพอลิเอไมด์ได้ดี ตัวอย่างส้อมอร์แดนท์ เช่น mordant yellow 1 (รูปที่ 2.1)

9. สีอินเกรน (ingrain dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยากับน้ำ สีย้อมชนิดนี้ใช้สำหรับย้อมผ้า

10. สีออกซิเดชัน (oxidation dye) เป็นสีที่ละลายน้ำโดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำโดยสีจะติดแน่น อาศัยปฏิกิริยาการตกตะกอนผลึกภายในเส้นใย ใช้สำหรับย้อมผ้าและขนสัตว์

11. สีซัลเฟอร์ (sulfur dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการย้อมต้องรีดิวซ์สีเพื่อให้โมเลกุลอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ แต่สีซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาจำหน่ายในรูปที่ถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้ นิยมนำสีซัลเฟอร์มาย้อมผ้า สีจะติดทน และยังเป็นสีที่มีราคาถูก แต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโครงสร้างสีย้อม

สารที่จะเป็นสีย้อมที่ดีต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ (มณฑา จันทร์เกตุเลียด, 2541)

1. สีมีความเข้ม เมื่อใช้ในปริมาณน้อยจะให้สีเข้ม
2. ละลายน้ำได้เพื่อจะย้อมได้ง่าย อาจจะละลายในน้ำทันที หรือละลายด้วยปฏิกิริยาเคมีขณะย้อม
3. ดูดซับเข้าไปในเส้นใยได้ดี และดูดติดกับเส้นใย (substantivity) ด้วยพันธะทางเคมีแบบต่างๆ
4. มีความติดทน (fastness) เมื่อดูดติดกับเส้นใยแล้วจะต้องติดทน ไม่ลอกหรือซีด (fade) ได้ง่าย เมื่อซักน้ำ ซักแห้ง ถูกแดด เหงื่อ การขัดสี ครันหรือแก๊ส เป็นต้น

## 2.2 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมประกอบด้วย 3 กระบวนการ ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542)

### 2.2.1 การเตรียมผ้า (preparation)

กระบวนการเตรียมผ้าเป็นการนำผ้าดิบจากโรงทอมาผ่านกระบวนการต่างๆเพื่อเตรียมผ้าให้อยู่ในสภาพที่สามารถนำไปย้อมสี หรือตกแต่งสำเร็จได้ สำหรับกระบวนการเตรียมผ้า มีหลายกระบวนการสำคัญดังนี้

#### 1. การเผาขน (singeing)

กระบวนการเผาขนเป็นวิธีการกำจัดปลายเส้นใยที่โผล่ออกจากผิวผ้าด้วยการใช้ความร้อนเผาทำลายเพื่อให้ผ้ามีพื้นผิวที่ดูเรียบ และมีความมันเงา กระบวนการเผาขนนี้ส่วนมากจะทำกับผ้าฝ้าย โดยเฉพาะผ้าฝ้าย ผ้าใยผสมที่มีฝ้ายเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย

#### 2. การลอกแป้ง (desizing)

ในการทอผ้าจำเป็นต้องมีการลงแป้ง เพื่อให้การทอดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อนำผ้าที่ทอเสร็จแล้วไปทำการฟอกย้อม แป้งที่เคลือบอยู่บนเส้นด้ายมีผลกระทบต่อ การดูดซึมน้ำและสารเคมีของเส้นใย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดออกไป ขั้นตอนการลอกแป้งสามารถทำได้ 4

วิธี คือ การหมัก (rot steeping) การใช้กรด (acid steeping) การใช้เอนไซม์ (enzymatic Desizing) และการกำจัดแป้งด้วยสารออกซิไดซ์ (oxidizing agent)

### 3. การกำจัดสิ่งสกปรก (scouring)

การกำจัดสิ่งสกปรก หมายถึงการกำจัดไขมัน และสารปนเปื้อนต่างๆ เช่น สารประกอบพวกเกลืออินทรีย์ และอนินทรีย์ กรรมวิธีการกำจัดสิ่งสกปรกของเส้นใยแต่ละชนิดมีวิธีไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสิ่งสกปรกในเส้นใยแต่ละชนิด โดยปกติเส้นใยธรรมชาติมีสิ่งสกปรกอยู่มากกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เพราะฉะนั้นจึงต้องการวิธีการกำจัดที่รุนแรงกว่า สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรก ได้แก่ โซดาไฟ น้ำสบู สารจับโลหะ

### 4. การฟอกขาว (bleaching)

การฟอกขาว หมายถึง การกำจัดสารสีในธรรมชาติที่ติดมากับวัสดุสิ่งทอ โดยใช้ปฏิกิริยาเคมีทำให้เส้นใยมีความขาวขึ้น การฟอกขาวมีความจำเพาะกับผ้าที่นำไปทำเป็นผ้าขาว และผ้าย้อมสีอ่อน เพื่อให้ได้ความขาวหรือได้สีที่สดใส สารฟอกขาวที่สำคัญและใช้มากในวงการสิ่งทอ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารประกอบไฮโปคลอไรท์

### 5. การชุบมัน (mercerization)

กระบวนการชุบมันมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มและปรับปรุงความสามารถในการดูดซับสี เพิ่มความสดใสและเงามัน และช่วยในการกำจัดแป้งส่วนที่เหลือจากการลอกแป้ง การชุบมันใช้กับเส้นใยผ้าฝ้าย เส้นใยผสมเส้นใยพอลิเอสเตอร์ โดยทั่วไปแล้วนิยมทำหลังจากผ้าหรือเส้นด้ายผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรก และฟอกขาวมาแล้ว

#### 2.2.2 การย้อมสี (textile dyeing)

วัสดุสิ่งทอส่วนใหญ่ต้องมีการนำไปให้สีก่อนการใช้งานด้วยวิธีการย้อม (dyeing) หลักการย้อมสีคือ การใช้วิธีการที่เหมาะสมให้สารประกอบเคมีที่ละลายเป็นสารละลายหรือกระจายอยู่ในสารละลาย (dispersion) ไปทำให้เกิดสีบนวัตถุที่ย้อม (substrates) เช่น เส้นใยผ้าฝ้าย เป็นต้น แล้วทำให้เกิดสีบนวัตถุที่ย้อมอย่างถาวร การเกิดสีบนวัตถุที่ย้อมไม่เพียงแต่เกิดบนผิวหน้าเท่านั้น แต่

สามารถซึมให้เกิดสีตลอดบนผิวรอบภาคตัดขวางของวัสดุที่ข้อมด้วย ขั้นตอนการข้อมผ้ามีปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการข้อมคือ

### 1. ชนิดของเส้นใย

เส้นใยธรรมชาติดูดซึมน้ำได้ดี และเมื่อเปียกน้ำจะมีการพองตัว ทำให้สีข้อมซึ่งละลายอยู่ในน้ำแทรกซึมเข้าสู่เส้นใยได้ง่าย ส่วนเส้นใยสังเคราะห์ เช่น พอลิเอสเตอร์ ดูดซึมน้ำได้น้อย สีข้อมแทรกเข้าสู่เส้นใยได้ยาก ทำให้การข้อมเกิดขึ้นยากกว่า การข้อมเส้นใยสังเคราะห์จึงต้องเลือกสีข้อมให้เหมาะสมกับธรรมชาติของเส้นใยสังเคราะห์นั้นๆ

### 2. สีข้อม

สีข้อมที่ใช้ในเส้นใยมีหลายชนิด การข้อมที่ได้ผลดีขึ้นอยู่กับความสามารถในการรวมตัวกันของสีข้อมกับเส้นใยต้องมีมากกว่าความสามารถในการละลายน้ำ สีข้อมส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์มาจากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนพวกสายโซ่ตรง (aliphatic) และอะโรมาติก (aromatic)

### 3. กรรมวิธีการข้อม

การข้อมผ้าสามารถทำได้หลายวิธีทั้งที่เป็นแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง ผู้ข้อมสามารถเลือกใช้วิธีการข้อมที่เหมาะสมกับสภาพโรงงานและความต้องการ วิธีการข้อมผ้าและเส้นด้ายสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

- การข้อมแบบดูดซึม (exhaust method) ผ้าหรือวัสดุที่ต้องการข้อมถูกแช่หรือหมუნอยู่ในอ่างข้อมจนกระทั่งการข้อมเสร็จสมบูรณ์ (batch process) เครื่องข้อมที่ใช้กันมาก เช่น เครื่องจิกเกอร์ เครื่องวินซ์ เครื่องข้อมเส้นด้ายสำเร็จรูป
- การข้อมด้วยวิธีกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous method) หรือ pad-batch dyeing ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

การอัดน้ำสี และสารเคมี → การม้วนเก็บไว้ → การซัก

เครื่องข้อมที่ใช้ประกอบด้วยอ่างน้ำข้อมสำหรับจุ่มผ้า ลูกกลิ้งสำหรับอัดน้ำข้อมเข้าผ้า และรีดเอาน้ำข้อมส่วนเกินออกจากผ้า ลูกกลิ้งสำหรับม้วนเก็บผ้า ตู้อบในกรณีที่ทำเป็นและอ่างซักล้าง

- การข้อมด้วยวิธีต่อเนื่อง (continuous method) ในวิธีนี้ผ้าเคลื่อนที่ไปตามขั้นตอนการข้อมต่างๆอย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการหยุดแช่โดยเริ่มต้น ตั้งแต่เป็นผ้าขาว จนกระทั่งออกมาเป็นผ้าข้อมสำเร็จ วิธีนี้จึงเป็นวิธีการข้อมที่เร็วที่สุด และเหมาะกับการข้อมที่ละมากๆ ข้อเสียของวิธีนี้คือ ถ้าเกิดการผิดพลาดขึ้นในระหว่างการข้อม กว่าที่ข้อผิดพลาดนั้นจะถูกค้นพบและได้รับการแก้ไข ผ้าอาจเสียหายไปเป็นจำนวนมาก เพราะฉะนั้นก่อนที่จะทำการข้อมด้วยวิธีนี้ จำเป็นต้องมีการเตรียมการอย่างระมัดระวัง วิธีโดยทั่วไปประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังนี้

การอัดน้ำสี + สารเคมี  $\xrightarrow{\text{อบแห้ง}}$  การฟีนิกสีโดยใช้ไอน้ำหรือความร้อน  $\longrightarrow$  การซัก

### 2.2.3 การตกแต่งสำเร็จ (textile finishing)

การตกแต่งสำเร็จเป็นกระบวนการหนึ่งในการตกแต่งสิ่งทอ ซึ่งมักกระทำเป็นขั้นตอนสุดท้ายต่อจากการเตรียม และการให้สีสิ่งทอ เพื่อเปลี่ยนแปลงปรับปรุง หรือเพิ่มเติมสมบัติบางอย่างให้กับผลิตภัณฑ์

## 2.3 แหล่งที่มาของน้ำเสีย และลักษณะน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม (กรมควบคุมมลพิษ สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2548)

### 2.3.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

แหล่งที่มาของน้ำเสียนอกจากจะเกิดขึ้นจากน้ำที่ใช้ในการกระบวนการผลิตแล้ว ยังมีน้ำเสียที่เกิดจากน้ำหล่อเย็น น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ฯลฯ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 2.3.1.1 น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม ไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนการเตรียมผ้าหรือเส้นใยก่อนข้อม ขั้นตอนการฟอกย้อม พิมพ์และตกแต่งสำเร็จ ซึ่งน้ำในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมเกือบทั้งหมดจะกลายเป็นน้ำเสียที่แตกต่างกันทั้งในด้านปริมาณ และลักษณะ

สมบัติของน้ำเสีย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการฟอกย้อม ประเภทวัตถุดิบ สี และสารเคมีที่ใช้ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฟอกย้อม เช่น ขั้นตอนการเตรียมผ้า การฟอกย้อม และการตกแต่งสำเร็จมักมีปริมาณไม่มากนัก แต่จะมีความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียสูงจากขั้นตอนการซักล้าง และทำความสะอาดเครื่องจักรและอุปกรณ์

ตารางที่ 2.1 ลักษณะและสมบัติของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานฟอกย้อม

กระบวนการ	มลสารในน้ำทิ้ง	ปริมาณน้ำทิ้ง	ลักษณะของน้ำทิ้ง
ลอกแป้ง	แป้ง กลูโคส เรซิน ไขมัน และซีฟี่ ธรรมชาติหรือ สังเคราะห์	ปริมาณน้อย ประมาณ 50 ลิตร ต่อ 1 กิโลกรัม ของผ้า	ค่าบีโอดีสูง (35-50% ของทั้งหมด)
ขจัดสิ่งสกปรก	โซดาไฟ จีฟี่ และกรีซ โซดาแอซ โซเดียมซิติ เกต เศษเส้นใย	ปริมาณน้อยมาก 10 ลิตร ต่อผ้า 1 กิโลกรัม	เป็นด่างแรง สีดำ และ บีโอดีสูง (30%ของ ทั้งหมด)
ฟอกขาว	ไฮโปคลอไรท์ คลอรีน โซดาไฟ กรด ไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์	ส่วนใหญ่เป็นการซัก ล้าง	สารประกอบพวกด่าง บีโอดีประมาณ 5%
ชุบมัน	โซดาไฟ	ปริมาณน้อย ส่วนใหญ่ เป็นการซักล้าง	เป็นด่างแรง บีโอดีต่ำ (น้อยกว่า 1% ของ ทั้งหมด)
ย้อมสี	สีย้อมชนิดต่างๆ เกลือ และสารรีดิวซิ่ง เช่น ซัลไฟด์	ปริมาณมาก	สีเข้ม บีโอดีค่อนข้าง สูง ของแข็งละลายน้ำ ทั้งหมด และเกิดฟอง
การตกแต่งสำเร็จ	แป้งเล็กน้อย สาร ตกแต่งที่เหลือ เกลือ	ปริมาณน้อยมาก	เป็นด่าง ซีโอดีสูง

### 2.3.1.2 น้ำเสียจากแหล่งอื่น

แหล่งกำเนิดน้ำเสียอื่นในกระบวนการฟอกย้อม ได้แก่ น้ำจากหม้อไอน้ำ (Blow down water) น้ำจากการกลั่นตัวของไอน้ำ น้ำล้างเครื่องจักรและอุปกรณ์ และน้ำทิ้งจากอาคารสำนักงาน โรงงาน ซึ่งจะมีปริมาณ และความสกปรกน้อยกว่าน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมมาก

### 2.3.2 ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยทั่วไป

1. ปริมาณสารอินทรีย์สูง ซึ่งมีสาเหตุจากแป้ง สีย้อม กรดอะซิติก เส้นใยและเส้นด้ายที่ปนออกมาจากกระบวนการย้อมและตกแต่ง นอกจากนี้แล้วยังอาจเกิดจากสบู่ ไขมัน น้ำมัน ซึ่งเป็นฟิโคลัมฟิว น้ำ และสารทำความสะอาดซึ่งมีลักษณะเป็นฟอง โดยทั่วไปแล้วน้ำเสียนี้นักมีค่าบีโอดี ประมาณ 100-1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า ซีโอดี ประมาณ 500-1,200 มิลลิกรัม/ลิตร

2. มีค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) และค่าสภาพด่าง (alkalinity) สูง โดยมีค่า pH ประมาณ 9-12 และมีค่าสภาพความเป็นด่างประมาณ 300-900 มิลลิกรัมหินปูน/ลิตร สารที่ทำให้น้ำเสียฟอกย้อมมีค่า pH และค่าสภาพด่างสูง ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งมีการใช้ในขั้นตอนการขจัดสิ่งสกปรกเจือปน (scouring)

3. มีอุณหภูมิสูง โดยทั่วไปจะมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะในขั้นตอนที่มีการใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ขั้นตอนการขจัดสิ่งสกปรกเจือปน ขั้นตอนการย้อม และขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จ

4. มีปริมาณ TDS หรือของแข็งละลายทั้งหมดสูง ส่วนใหญ่เป็นการละลายของแข็งพวกเกลือ โซเดียมและกรดต่างๆ

5. มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากในการย้อมสี เส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นจึงมีสีย้อมหลงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อม และถูกปล่อยออกมากับน้ำทิ้ง ปริมาณของสีย้อมจะแตกต่างกันไปตั้งแต่ร้อยละ 5-50 ขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้

6. มีโลหะหนักเจือปน เนื่องจากสีย้อมบางชนิดต้องใช้โลหะเพื่อช่วยในการเกิดเป็นสารประกอบกับโลหะก่อนทำการย้อม หากมีปริมาณมากเกินไปก็จะทำให้เกิดการเจือปนอยู่ในน้ำทิ้ง เช่น ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม และสังกะสี

7. มีปริมาณ TSS หรือของแข็งที่ไม่ละลายน้ำสูง โดยเฉพาะเศษเส้นใยที่หลุดออกมา ซึ่งเศษเส้นใยนี้หากมีปริมาณมาก อาจทำให้เกิดปัญหาการอุดตันในเครื่องย้อมได้

8. มีการปนเปื้อนของสารเคมี ซึ่งมีอยู่หลายประเภทตามชนิดที่เลือกใช้ ส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมหรือน้ำซักล้าง และจะถูกปล่อยปนออกมาในน้ำเสีย



## 2.4 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมต่อสิ่งแวดล้อม (เพ็ญลักษณ์ เทศสุวรรณ, 2547)

1. สารอินทรีย์ในน้ำเสียทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (dissolved oxygen) ลดลง ซึ่งมีผลทำให้
  - สิ่งมีชีวิตในน้ำตายเนื่องจากขาดออกซิเจน
  - ทำให้แหล่งน้ำไม่สามารถทำความสะอาดตัวเอง (self purification) ได้
  - ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic)
  - ทำให้ไม่สามารถใช้แหล่งน้ำนั้นทำประโยชน์ได้

สารอินทรีย์บางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต มีผลทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือเกิดการสะสมในสัตว์น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ในกรณีที่ได้รับสารโดยตรงจากการบริโภคสัตว์น้ำ นอกจากนี้สารพิษเหล่านี้ยังอาจสะสมอยู่ในระบบนิเวศน้ำได้ หากสารนั้นเป็นสารที่สลายตัวยาก

2. น้ำเสียที่มีค่าพีเอชสูงๆ เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงแล้ว จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เพราะโดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตจะดำรงชีพอยู่ได้ในสภาวะที่เป็นกลางคือช่วงพีเอช 6-9

3. อุณหภูมิของน้ำเสียที่สูงจะมีผลทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

4. ของแข็งที่ละลายน้ำ (dissolve solids) อาจทำให้สัตว์เกิดโรคที่ร้ายแรงได้ และทำให้ไม่สามารถใช้น้ำให้เกิดประโยชน์ได้

5. สีของน้ำเสีย ทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ดีของแหล่งน้ำ และทำให้ปริมาณแสงที่จะส่องผ่านลงสู่พื้นน้ำลดลง ส่งผลให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

6. โลหะหนักในน้ำเสียสามารถ สะสมอยู่ในระบบนิเวศน์ ทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งมนุษย์ด้วย

7. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดจากน้ำเสีย จะไปเพิ่มสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ สามารถตกตะกอนทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน

## 2.5 การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสีย้อม

การบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการลดปริมาณสารมลพิษที่ละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำเสีย โดยการแยกหรือทำให้เกิดการสลายตัว ในการเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมจำเป็นต้องทราบถึงองค์ประกอบของน้ำเสีย และสมบัติของสารมลพิษที่ถูกทิ้งออกจากโรงงานอุตสาหกรรม การบำบัดน้ำเสียในโรงงานฟอกย้อมโดยทั่วไปมีระบบบำบัด 2 ขั้นตอน ได้แก่

### 2.5.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น (primary treatment)

การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น เป็นการแยกเอาตะกอนแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย เช่น เศษผ้า และเศษเส้นด้าย นอกจากนั้นยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่ระบบทุติยภูมิต่อไป ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ได้แก่

#### 1. การกำจัดของแข็งแขวนลอยด้วยตะแกรง (screening)

ตะกอนแขวนลอยขนาดใหญ่ เช่น เศษผ้า เศษเส้นด้าย และเส้นใยต่างๆ สามารถถูกกำจัดได้โดยใช้ตะแกรง ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ ตะแกรงหยาบ และตะแกรงละเอียด

#### 2. การปรับสภาพสมดุล (equalization)

โรงงานฟอกย้อมมีขั้นตอนการผลิตต่างๆ ซึ่งน้ำเสียที่ออกมาแต่ละกระบวนการมีลักษณะและสมบัติที่แตกต่างกัน โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียจะทำงานได้ดีในสภาวะที่มีอัตราการไหลเข้าของน้ำเสียและความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบนั้นมีความสม่ำเสมอ นอกจากนี้ถึงปรับสภาพที่ใช้ในโรงงานฟอกย้อม ยังทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของน้ำเสีย เพราะน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการฟอกย้อมส่วนใหญ่มีอุณหภูมิมากกว่า 40 องศาเซลเซียส ทำให้ระบบทุติยภูมิที่เป็นระบบทางชีวภาพทำงานได้น้อยลง

#### 3. การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง

ค่าพีเอชของน้ำเสียมีผลต่อการบำบัดด้วยระบบชีวภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับพีเอชให้มีสภาวะเป็นกลาง ซึ่งเหมาะสมต่อการบำบัดทางชีวภาพ โดยน้ำเสียจากการฟอกย้อมจะถูกส่งไปยังถังปรับพีเอช ซึ่งใช้สารเคมีจำพวกกรดหรือด่าง ทำหน้าที่ปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็นกลาง

## 2.5.2 การบำบัดขั้นทุติยภูมิ (secondary treatment)

ระบบบำบัดขั้นทุติยภูมิเป็นระบบบำบัดที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ และตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยมากเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพ หรือเป็นระบบบำบัดทางเคมีแล้วตามด้วยการบำบัดทางชีวภาพ สำหรับระบบบำบัดที่เหมาะสมและนิยมใช้กันมาก ได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ และระบบ activated sludge

- ระบบบ่อปรับเสถียร (stabilization pond) เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียแบบอาศัยธรรมชาติ โดยใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ เกิดเป็น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน จุลินทรีย์ในบ่อ จะมีทั้งจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน

- ระบบสระเติมอากาศ (aeration lagoon) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่จุลินทรีย์ในสระเติมอากาศใช้ออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศชนิดจักรกล แตกต่างจากระบบบ่อปรับเสถียรชนิดบ่อมีออกซิเจนที่ใช้ออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเป็นหลัก

- ระบบ activated sludge เป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยอาศัยจุลินทรีย์จำนวนมากที่แขวนลอยอยู่ในถังอากาศ และต้องควบคุมความเข้มข้นของจุลินทรีย์ ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีการนำตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนที่ตกตะกอนในถังตกตะกอนกลับมาใช้ใหม่ในถังเติมอากาศ ซึ่งแตกต่างจากระบบสระเติมอากาศที่ไม่มีการนำตะกอนจุลินทรีย์กลับมาใช้อีก ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปกำจัด เช่น ผ่านการย่อยสลาย หรือนำไปตากแห้ง น้ำใสส่วนบนที่ไหลล้นออกจากถังตกตะกอนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานแล้วสามารถระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้

ถึงแม้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่กล่าวข้างต้นสามารถลดสารอินทรีย์ได้ แต่ไม่สามารถกำจัดสีขุ่นในน้ำได้หมด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการอื่นมาใช้ในการกำจัดสีขุ่นด้วย ได้แก่

**การตกตะกอนด้วยสารเคมี (chemical coagulation)** ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ คือ ขั้นตอนการเติมสารก่อการจับก้อนเคมี (coagulant) เช่น สารส้ม ปูนขาว เหล็กของเหล็ก สารพอลิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น โดยผสมในน้ำเสียและกวนอย่างรวดเร็ว ขั้นตอนที่สองคือ การกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดสภาพรวมตะกอน (flocculation) ซึ่งมีการเกาะกันระหว่างตะกอนเล็กๆ กับสารสร้างตะกอนจนได้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถตกตะกอนได้

**คลอรีเนชัน (chlorination)** เป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นสารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ซึ่งสารประกอบคลอรีนซึ่งมีอำนาจการออกซิไดซ์สูงจะไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้สีสลายตัวหมดไปหรือลดปริมาณสีลง ปริมาณสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ โดยสารประกอบคลอรีนที่นิยมใช้ได้แก่ แก๊สคลอรีน และคลอรีนไดออกไซด์

**โอโซนเนชัน (ozonation)** เป็นการกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้โอโซน ( $O_3$ ) เป็นสารออกซิไดซ์ไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้งเช่นเดียวกับการใช้คลอรีน แต่โอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงกว่าคลอรีนเกือบ 1 เท่า

**การใช้เมมเบรน (membrane technology)** เทคโนโลยีการใช้เมมเบรนประกอบด้วยวิธีการอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration) และกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis) วิธีการฟิวเตรชันมีหลักการทำงานของระบบโดยใช้เมมเบรนแบบรูพรุน พวกเซลลูโลสแอซิเตต หรือพอลิเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ และอัดน้ำเข้าไปด้วยแรงดันไม่เกิน 1,034 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร เมมเบรนทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำและตะกอนขนาดเล็กที่มีขนาด ตั้งแต่  $2 \times 10^{-6}$  ถึง  $1 \times 10^{-2}$  มิลลิเมตรได้ สำหรับกระบวนการออสโมซิสผันกลับ สามารถแยกสารปนเปื้อนที่มีขนาด ตั้งแต่  $4 \times 10^{-7}$  ถึง  $6 \times 10^{-5}$  มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าวิธีการฟิวเตรชัน นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้ โดยกรองผ่านเมมเบรนเลือกผ่าน (semi permeable membrane) เมมเบรนที่นิยมใช้กันมากได้แก่ เซลลูโลสแอซิเตต และไนลอน

**วิธีทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical technique)** เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีวิธีหนึ่ง แต่ใช้กันน้อยมากในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม การบำบัดวิธีนี้มักถูกใช้เพื่อกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรม ต่อมาได้มีการปรับปรุงเพื่อนำมากำจัด BOD, COD สารแขวนลอย และสีในน้ำเสีย

**การดูดซับ (adsorption)** เป็นความสามารถของสารบางชนิดที่มีการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ที่อยู่ในของเหลวหรือแก๊สให้มาเกาะจับและติดผิว โมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับเรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) และเรียกกลไกตั้งแต่มีโมเลกุลเคลื่อนที่ไปเกาะติดกับพื้นผิวของอีกสารหนึ่งว่า การดูดซับ (adsorption) โดยตัวดูดซับ มีหลายชนิด เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ ถ่านกระฉูด และถ่านคาร์บอน เป็นต้น

กระบวนการบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมนั้นสามารถทำได้หลายวิธี และวิธีการดูดซับด้วยตัวดูดซับก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาวิธีการเตรียมตัวดูดซับ และภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียด้วยวิธีการดูดซับเช่นเดียวกัน

## 2.6 การดูดซับ (adsorption process) (กานดา สุธนกุลพานิช และคณะ, 2545)

การดูดซับเป็นกระบวนการหนึ่ง ที่ใช้แยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือแก๊ส โดยอาศัยหลักการการเคลื่อนย้ายมวลสารของตัวถูกดูดซับ จากเฟสที่เป็นของเหลวหรือแก๊สไปยังเฟสที่เป็นของแข็ง ซึ่งก็คือตัวดูดซับ ทำให้เกิดการสะสมของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับนั้น

### 2.6.1 ลักษณะการดูดซับ

#### 1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption or physisorption)

เป็นการดูดซับโมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับในสารละลายด้วยแรง van der Waals ซึ่ง ถ้าตัวดูดซับมีความพรุนสูง ของเหลวหรือแก๊สที่ควบแน่นนั้นจะซึมผ่านเข้าสู่ช่องว่างภายในของตัวดูดซับได้ ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ แต่เมื่อลดความดันหรือเพิ่มอุณหภูมิของระบบจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง เกิดการผันกลับ (reversible interaction) ทำให้ตัวถูกดูดซับเคลื่อนออกจากตัวดูดซับนั้น และเรียกปรากฏการณ์ช่วงนี้ว่า desorption

#### 2. การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption or chemisorption)

เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพทุกประการ โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับองค์ประกอบที่ต้องการดูดซับ โดยการสร้างสารประกอบใหม่ระหว่างตัวถูกดูดซับกับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวดูดซับนั้น และเนื่องจากการดูดซับเกิดเฉพาะบนพื้นผิวบางแห่ง ทำให้องค์ประกอบที่ถูกดูดซับไว้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับมีปริมาณน้อยกว่าการดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับแบบนี้จะไม่สามารถเกิด desorption ได้ เพราะองค์ประกอบที่ถูกดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible) ปรากฏการณ์นี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม

ซึ่งพบว่าองค์ประกอบบางชนิดที่อุณหภูมิปกติจะไม่เกิดการดูดซับทางเคมี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิก็สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีได้

ความแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพกับการดูดซับทางเคมี

1. การดูดซับทางกายภาพไม่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนหรือไอออไนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน
2. การดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นโดยไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา โมเลกุลที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปเกาะยังพื้นผิวส่วนใดก็ได้ แต่การดูดซับทางเคมีจะเลือกเกิดเฉพาะบริเวณที่สามารถเกิดพันธะเคมีได้เท่านั้น
3. การดูดซับทางกายภาพจะทำให้เกิดการดูดซับของตัวถูกดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer adsorption) บนพื้นผิวของตัวดูดซับได้ ส่วนการดูดซับทางเคมีจะทำให้เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิว หรือเกิดการดูดซับแบบเคมีในชั้นแรกและการดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวชั้นบนของการดูดซับทางเคมีก็ได้
4. การดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นอย่างทันที หลังจากการแพร่เข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับซึ่งต้องใช้เวลาพอสมควร ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างทันทีเช่นกันแต่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น (activation energy) ด้วย

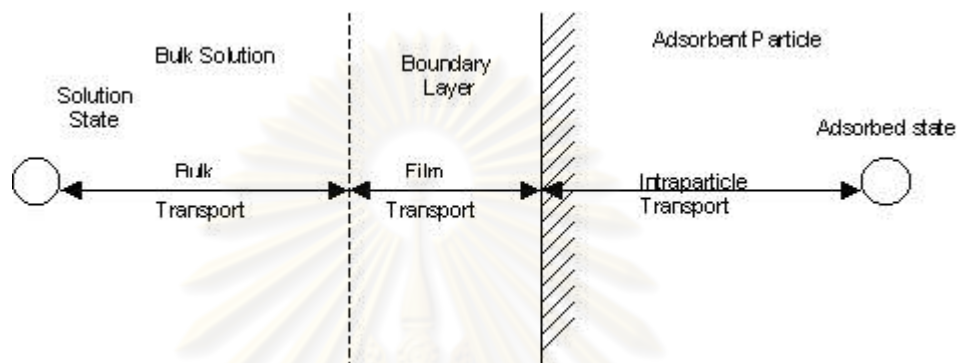
## 2.6.2 อัตราการเคลื่อนย้ายมวล (rate of mass transfer)

อัตราการดูดซับมีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการดูดซับ อัตราการดูดซับที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับหรือการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้ (รูปที่ 2.2)

1. การขนส่งทั้งก้อน (bulk transfer) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (adsorbate) จะเคลื่อนที่จาก bulk solution ไปยังผิวหน้าของฟิล์มน้ำหรือโมเลกุลที่ล้อมรอบตัวดูดซับ
2. การขนส่งชั้นฟิล์ม (film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนหนึ่ง

3. การขนส่งภายในอนุภาค (interparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน

4. adsorption เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่โมเลกุลของสารจะถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้น ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารมายังสารดูดซับ



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Eckfelder, 1981)

ภายใต้สภาวะการทำงานหนึ่งๆ การขนส่งผ่านชั้นฟิล์มจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ แต่ถ้าหากว่าภายในระบบมีสภาพความปั่นป่วนเพียงพอ ขั้นตอนการขนส่งภายในอนุภาคจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดซับ

### 2.6.3 สมดุลการดูดซับ (ฐาปนพงศ์ พึ่งประสพ, 2550)

สมดุลการดูดซับ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับกับความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่ ณ จุดสมดุล เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับที่สมดุลและคัดเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม โดยอาศัยแบบจำลองการดูดซับทางคณิตศาสตร์

#### 2.6.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm)

การดูดซับแบบแลงเมียร์เป็นพื้นฐานของการดูดซับแบบอื่นๆ ซึ่งมีสมมติฐานว่าการดูดซับสูงสุดสัมพันธ์กับโมเลกุลตัวถูกละลายที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ (monolayer) มีพลังงานของการดูดซับคงที่ ไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกละลายในแนวระนาบพื้นผิวตัวดูดซับและเป็นการดูดซับทางกายภาพ สมการทางคณิตศาสตร์แสดงดังนี้

$$q_e = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e} \quad (2.1)$$

โดย  $q_e$  = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่สมดุลมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม หรือ โมลต่อกรัม

$q_m$  = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่สามารถเกิดการดูดซับได้เพียงชั้นเดียว มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม หรือ โมลต่อกรัม

$C_e$  = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ภาวะสมดุลที่ยังเหลืออยู่ในสารละลายมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร หรือ โมลต่อลิตร

$b$  = ค่าคงที่ของพลังงานในระบบ

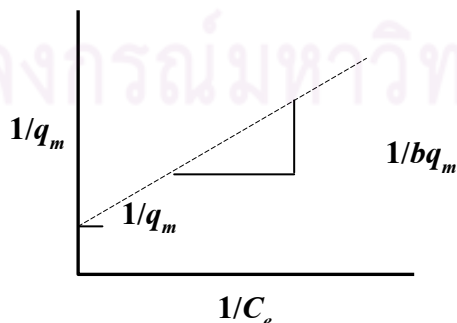
จากสมการ (2.1) เมื่อ  $q_e$  เข้าใกล้  $q_m$  และ  $C_e$  เข้าสู่อินฟินิตี้ สามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{C_e}{q_e} = \left( \frac{1}{b q_m} \right) + \left( \frac{C_e}{q_m} \right) \quad (2.2)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $C_e/q_e$  กับ  $C_e$  จะได้เส้นตรงที่มีความชัน  $1/q_m$  และมีจุดตัดแกน  $y$  เท่ากับ  $1/bq_m$  และหารด้วย  $C_e$  จะได้สมการเส้นตรง

$$\frac{1}{q} = \left( \frac{1}{C_e} \right) \left( \frac{1}{b q_m} \right) + \left( \frac{1}{q_m} \right) \quad (2.3)$$

และเมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $1/q$  กับ  $1/C_e$  จะได้สมการเส้นตรงที่มีความชัน  $1/bq_m$  และมีจุดตัดแกน  $y$  เท่ากับ  $1/q_m$  ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์



### 2.6.3.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช ( Freundlich adsorption isotherm)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของฟรอนด์ลิช ใช้อธิบายความสัมพันธ์ของการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer) ในระบบของเหลวที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังสมการ (2.4)

$$q_e = KC_e^{1/n} \quad (2.4)$$

โดย  $q_e$  = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ โมลต่อกรัม

$C_e$  = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ภาวะสมดุลที่ยังเหลืออยู่ในสารละลายมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ โมลต่อลิตร

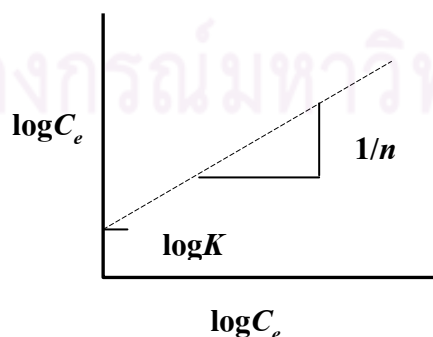
$K$  = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับ

$1/n$  = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานการดูดซับ

จากสมการ (2.4) ซึ่งเป็นฟังก์ชันแบบเอกโปเนนเชียลสามารถเขียนให้เป็นสมการเชิงเส้นที่อยู่ ในรูปของ logarithmic ได้ดังนี้

$$\log q_e = \log K + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e \quad (2.5)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $\log q_e$  กับ  $\log C_e$  จะได้สมการเส้นตรงที่มีความชัน  $1/n$  และจุดตัดแกน y เท่ากับ  $\log K$  ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช

### 2.6.3.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบบีอีที (BET, Brunauer Emmerett-Teller adsorption isotherm)

เป็นแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนามาจาก Brunauer, Emmerett และ Teller เพื่อใช้ในการอธิบายการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayers) ซึ่งพัฒนามาจากสมการของแลงเมียร์ โดยมีสมมุติฐานว่าแต่ละ โมเลกุลของการดูดซับในชั้นแรก จะเป็นตำแหน่งที่เกิดการดูดซับของ โมเลกุลในชั้นที่สอง และชั้นต่อไป ดังสมการ (2.6)

$$q_e = \frac{q_m b C_e}{(C_s - C_e)[1 + (b-1)(C_e / C_s)]} \quad (2.6)$$

โดย  $q_e$  = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ โมลต่อกรัม

$q_m$  = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่ต้องการสำหรับการเกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว (monolayer) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ โมลต่อกรัม

$C_e$  = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ภาวะสมดุลที่ยังเหลืออยู่ในสารละลายมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ โมลต่อลิตร

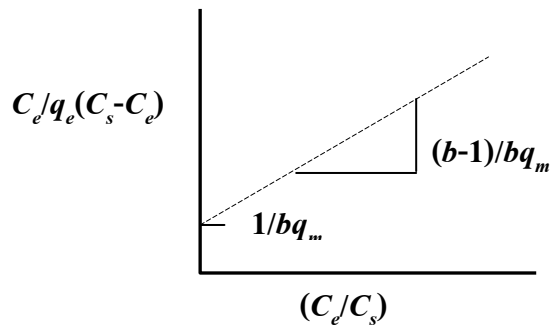
$C_s$  = ความเข้มข้นอิ่มตัวของตัวถูกละลายในน้ำ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ โมลต่อลิตร

$b$  = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ

จากสมการที่ (2.6) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{C_e}{q_e(C_s - C_e)} = \left( \frac{1}{bq_m} \right) + \left( \frac{b-1}{bq_m} \right) \left( \frac{C_e}{C_s} \right) \quad (2.7)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $C_e/q_e(C_s - C_e)$  กับ  $(C_e/C_s)$  จะได้เส้นตรงที่มีความชัน  $(b-1)/bq_m$  และ จุดตัดแกน y เท่ากับ  $1/bq_m$  ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามแบบจำลองการดูดซับแบบ BET

#### 2.6.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

##### 1. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area)

ความสามารถในการดูดซับ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ โดยพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความจุในการดูดซับ (adsorption capacity) และอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ กล่าวคือตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมสามารถดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

##### 2. ลักษณะของสารดูดซับ (nature of adsorbent)

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับ ตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับ ขนาดของโมเลกุลตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

##### 3. ความเร็วในการผสม (mixing speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับกระบวนการขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) ซึ่งขึ้นกับความเร็วในการผสมของระบบ และมีผลต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาตัวดูดซับ ถ้าน้ำมีความเร็วในการผสมสูง จะทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลง โมเลกุลของตัวถูกละลายจึงเคลื่อนที่เข้าหาตัวดูดซับได้เร็ว

#### 4. เวลาสัมผัส (contact time)

เวลาสัมผัสเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้จะขึ้นกับชนิดของตัวดูดซับและสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนนำไปใช้งานจริง

#### 5. ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญของการดูดซับ ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

### 2.7 กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

กากตะกอนน้ำเสียชุมชนจัดเป็นสารอินทรีย์ประเภทหนึ่งที่เป็นผลที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำทิ้งบ้านเรือนหรือชุมชน

#### 2.7.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชนของกรุงเทพมหานคร แบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ (กรมควบคุมมลพิษ สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, 2548)

##### 1. การบำบัดขั้นแรก

เป็นการกำจัดสารมลพิษออกจากน้ำเสียด้วยกระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การตกตะกอน การแยกทราย การวัดอัตราไหลของน้ำเสีย และการควบคุมปริมาณน้ำเสียไปยังระบบบำบัดขั้นที่สอง

##### 2. การบำบัดขั้นที่สอง

เป็นการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีววิทยา เพื่อลดสารมลพิษ ซึ่งส่วนใหญ่เหลืออยู่ในรูปของสารอินทรีย์ให้ออกจากน้ำเสีย ในขั้นตอนนี้ใช้กระบวนการตะกอนเร่งแบบสองขั้นตอน (two-stage activated sludge process) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่พิสูจน์แล้วว่ามีความมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบตะกอนเร่งแบบธรรมดา (conventional activated sludge) มีความคล่องตัวในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสภาพการทำงานได้ดีที่สุด และมีความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วย

### 3. การกำจัดตะกอน

ตะกอนส่วนเกินที่เกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จะส่งไปเข้าถังพักตะกอน เพื่อรวมกับตะกอนส่วนเกินจากถังตกตะกอนชั้นแรก แล้วส่งต่อเข้าถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน จากนั้นจะส่งไปเข้าเครื่องรีดตะกอนเพื่อรีดน้ำออกจากตะกอน โดยกากตะกอนจะนำไปบำบัดในถังย่อยสลายตะกอนต่อไป

### 4. การกำจัดกลิ่น

กลิ่นของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจะนำไปบำบัดโดยใช้ Biofilter

## 2.7.2 วิธีการบำบัดกากตะกอน

ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการทางชีวภาพจะมีกากตะกอนจุลินทรีย์หรือsludge เป็นผลผลิตตามมาด้วยเสมอ ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการกินสารอินทรีย์ในน้ำเสีย กากตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีสภาพไม่คงตัว ดังนั้น จึงจำเป็นต้องบำบัดกากตะกอนเหล่านั้นเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเน่าเหม็นของกากตะกอน การเพิ่มมวลภาวะ และเป็นการทำลายเชื้อโรคด้วย นอกจากนี้การลดปริมาตรของกากตะกอนโดยการกำจัดน้ำออกจากกากตะกอน ช่วยให้เกิดความสะดวกในการเก็บขนและนำไปกำจัดทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ทั้งนี้กระบวนการบำบัดกากตะกอนประกอบด้วยกระบวนการหลักๆ ได้แก่

1. การทำขึ้น (thickening) โดยใช้ถังทำขึ้นซึ่งมีทั้งที่ใช้กลไกการตกตะกอน (sedimentation) หรือใช้กลไกการลอยตัว (floatation) เพื่อแยกน้ำออกจากกากตะกอนและเป็นการลดปริมาตรกากตะกอนก่อนส่งไปบำบัดโดยวิธีการอื่นต่อไป
2. การทำให้กากตะกอนคงตัว (stabilization) โดยการย่อยกากตะกอนด้วยกระบวนการใช้อากาศ หรือกระบวนการไร้อากาศเพื่อทำการลดปริมาณสารอินทรีย์ในกากตะกอน ทำให้กากตะกอนคงตัวสามารถนำไปทิ้งได้โดยไม่เน่าเหม็น
3. การปรับสภาพสลัดจ์ (conditioning) เพื่อให้กากตะกอนมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ต่อไป เช่นทำปุ๋ย การใช้ปรับสภาพดินสำหรับใช้ทางการเกษตร
4. การรีดน้ำ (dewatering) เพื่อลดปริมาตรกากตะกอนที่จะนำไปทิ้งโดยการฝัดกลบ การเผา หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกในการขนส่ง โดยอุปกรณ์ที่ใช้รีดน้ำ ได้แก่ เครื่องกรองสุญญากาศ (vacuum filter) เครื่องอัดกรอง (filter press) หรือเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) รวมถึงการนำกากตะกอนไปตากบนลานตาก (sludge drying bed)

### 2.7.3 สมบัติของกากตะกอน

คุณสมบัติ และปริมาณกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่มาจากระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำเสีย ชนิดของระบบบำบัดน้ำเสีย ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบ รวมทั้งระดับของการบำบัดน้ำเสีย

#### 2.7.3.1 คุณสมบัติทางเคมีของกากตะกอน (วิลด์ พันธุ์จรรยา, 2548)

องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มด้วยกันคือ

1. องค์ประกอบที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ธาตุอาหาร เช่น ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn), สังกะสี (Zn) และธาตุอาหารอื่นๆ
2. องค์ประกอบที่ไม่เป็นประโยชน์ ก่อให้เกิดโทษและเป็นปัญหา ได้แก่ โลหะหนักที่เป็นพิษ เช่น แคดเมียม (Cd), ตะกั่ว (Pb) และนิกเกิล (Ni) เป็นต้น

นอกจากนี้ยังพบพยาธิ และเชื้อโรคที่ปนเปื้อนมากับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนซึ่งก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อปัญหาสุขภาพได้

#### 2.7.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอน

กากตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศไทยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นกึ่งแข็งกึ่งเหลว สีน้ำตาลถึงดำ และหากอยู่ในรูปที่ไม่เสถียรจะมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ มีแก๊สและความร้อนออกมาเนื่องจากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

### 2.7.4 การกำจัดกากตะกอน (กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

หลังจากกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียได้รับการบำบัดให้มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นเหม็น และปริมาตรลดลง เพื่อความสะดวกในการขนส่งแล้ว ในขั้นต่อมาก็คือ การนำกากตะกอนเหล่านี้ไปกำจัดทิ้ง โดยวิธีการที่เหมาะสมที่ใช้ในปัจจุบันคือ

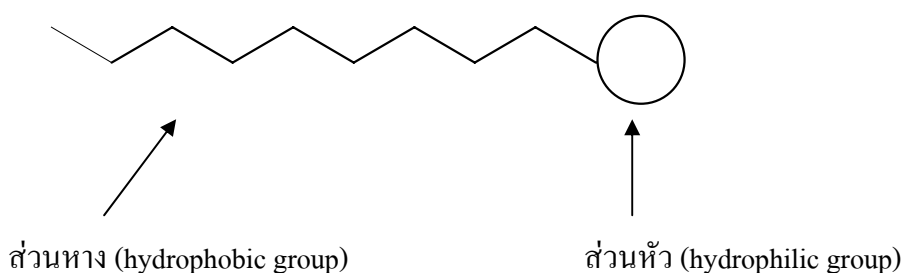
- การฝังกลบ (landfill) เป็นการนำกากตะกอนมาฝังในสถานที่จัดเตรียมไว้ และกลบทับด้วยชั้นดินอีกชั้นหนึ่ง
- การหมักทำปุ๋ย (composting) เป็นการนำกากตะกอนมาหมักต่อเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ย เนื่องจากกากตะกอนมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชดังที่กล่าวไว้ในองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอน
- การเผา (incineration) เป็นการนำกากตะกอนที่จวนแห้ง (ความเข้มข้นกากตะกอน ร้อยละ 40 ขึ้นไป) มาเผา

จากวิธีการจัดการกากตะกอนที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นหากจะเลือกใช้วิธีใดนั้นจำเป็นต้องมีการคำนึงถึงความปลอดภัยด้วย วิธีการเผาก็จัดว่าเป็นอีกหนึ่งวิธีที่จะช่วยลดปริมาณกากตะกอนได้แต่เนื่องจากวิธีการนี้มีค่าใช้จ่ายที่สูงอีกทั้งยังก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศได้ ดังนั้นหากมีวิธีการที่จะนำเอากากตะกอนเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดก่อนที่จะนำไปกำจัดก็น่าจะเป็นวิธีที่ดี ยกตัวอย่างเช่น การนำกากตะกอนมาปรับปรุงหรือตัดแปรพื้นผิวเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับก็ถือว่าเป็นอีกวิธีที่ช่วยลดปัญหามลพิษได้อีกทางหนึ่ง โดยในงานวิจัยนี้จะนำกากตะกอนมาปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารลดแรงตึงผิวเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับกำจัดสีข้อมอกจากน้ำทิ้ง

## 2.8 สารลดแรงตึงผิว (วิชาฯ ภูจินดา, 2549 และจิรสา กรงกลด, 2548)

สารลดแรงตึงผิว (surfactant) มีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในแต่ละวันมนุษย์ใช้สารลดแรงตึงผิวแทบจะทุกกิจกรรม เช่น การทำความสะอาดร่างกายและของใช้ กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวก็มีบทบาทสำคัญในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย การกำจัดคราบน้ำมันหรือสิ่งสกปรก และการกำจัดสารแขวนลอยหรือ คอลลอยด์ในน้ำ ดังนั้นจำเป็นต้องเลือกประเภทของสารลดแรงตึงผิว ปริมาณหรือความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว รวมทั้งสภาวะอื่นๆให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้

เมื่อสารลดแรงตึงผิวละลายน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ โดยคำว่า surfactant มาจากคำว่า surface active agent ซึ่งมีคุณลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน ดังรูปที่ 2.6 ได้แก่ ส่วนหัว ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำ และสามารถละลายได้ดีในน้ำ (hydrophilic group) และส่วนหางเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ และสามารถละลายได้ในน้ำมัน หรือไขมัน (hydrophobic group)



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบสารลดแรงตึงผิว

### 2.8.1 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว (ครุณี ฉันทพิทยา, 2537)

จากโครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำ และส่วนที่ละลายได้ในน้ำมันอยู่ภายในโมเลกุลเดียวกัน เมื่อสารนี้ละลายน้ำจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ ดังนี้

#### 1. การลดแรงตึงผิว (lowing of surface tension)

แรงตึงผิว (surface tension) คือ แรงที่ใช้ในการรักษาผิวของน้ำให้มีพื้นที่น้อยที่สุด โดยปกติโมเลกุลของน้ำที่ผิวจะอิสระต่อการเคลื่อนไหวมากกว่าโมเลกุลของน้ำที่มีอยู่ภายในหรือมีพลังงานอิสระสูง เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป ส่วนของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ไม่ละลายน้ำจะถูกน้ำผลักออกไป ทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวไปเรียงกันอยู่ที่ผิวน้ำ ทำให้ความอิสระของโมเลกุลน้ำลดลงจึงส่งผลให้มีแรงตึงผิวน้อยลงด้วย

#### 2. การทำให้เปียก (wetting)

สารลดแรงตึงผิวช่วยทำให้มุมสัมผัส (contact angle) ของหยดน้ำที่มีต่อพื้นผิวน้ำลดลง และถ้ามุมยิ่งเล็กลงมากเท่าไรก็จะทำให้พื้นผิวเปียกน้ำมากขึ้นเท่านั้น

#### 3. การดึงสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว (detergency)

สารลดแรงตึงผิวจะไปดึงดูดกันระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นผิว ซึ่งส่วนของโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำจะไปสัมผัสกับสิ่งสกปรก และจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลต่างๆภายในน้ำจะทำให้เกิดแรงตึงจนกระทั่งสิ่งสกปรกหลุดออกจากพื้นผิวได้

#### 4. การแขวนลอยในน้ำ (emulsion)

น้ำมันหรือไขมันไม่สามารถผสมรวมกับน้ำได้ แต่ถ้าใส่สารลดแรงตึงผิวลงไปพร้อมทั้งคนอย่างแรง เพื่อให้ไขมันเกิดการกระจายตัวเป็นหยดเล็กๆแทรกตัวอยู่ในน้ำ แล้วโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวก็จะไปล้อมรอบหยดน้ำมันเล็กๆเหล่านี้



#### 5. การกระจายตัว (dispersion)

สิ่งสกปรกต่างๆเมื่อถูกดึงหลุดออกจากพื้นผิวแล้วก็อาจจะกลับรวมตัวกันใหม่ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และอาจกลับเข้ามาจับพื้นผิวได้อีก แต่การที่สารลดแรงตึงผิวไปจับรอบๆ ทำให้สิ่งสกปรกเล็กๆถูกดึงออกมาได้ซึ่งจะมีชั้นบางๆของประจุไฟฟ้าหุ้มเอาไว้ (micelle) ทำให้มีการผลักรันระหว่างสิ่งสกปรกเล็กๆและไม่รวมกัน จึงกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำ

#### 6. การป้องกันการเข้าไปจับใหม่ (suspension or prevention of redeposition)

สิ่งสกปรกเมื่อถูกดึงออกจากพื้นผิว ชั้นบางๆของประจุไฟฟ้าที่เหมือนกันที่ล้อมรอบพื้นผิวและสิ่งสกปรก ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างสิ่งสกปรกกับพื้นผิว จึงไม่สามารถกลับเข้าไปจับพื้นผิวได้อีก

### 2.8.2 การแบ่งประเภทของสารลดแรงตึงผิว

การแบ่งประเภทของสารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งได้ตามลักษณะหรือประจุของส่วนที่ชอบน้ำ โดยสารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (cationic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุไฟฟ้าบนส่วน hydrophilic เป็นประจุบวก ส่วนมากจะเป็นพวก quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10-11) เนื่องจาก ammonium salt จะมีการสูญเสียประจุบวก ทำให้เกิดการตกตะกอน ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวกมักพบในผลิตภัณฑ์ยาสีฟัน ครีมนวดผม ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดแต่งทรงผม และน้ำยาปรับผ้านุ่ม เป็นต้น

2. สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (anionic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุไฟฟ้าบนส่วน hydrophilic ให้ประจุลบ ส่วนมากมักจะมีหมู่ carboxylate, sulphate, sulphonate หรือ phosphate สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้มักใช้มากในอุตสาหกรรมประเภท ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด น้ำยาล้างจาน เป็นต้น

3. สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (nonionic surfactant) สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้แตกต่างจาก cationic และ anionic surfactant ตรงที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยมีพวก polyether หรือ polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ใช้มากในผลิตภัณฑ์พวกผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว เป็นต้น

4. สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวก และประจุลบ (zwitterionic surfactant หรือ amphoteric surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุไฟฟ้าบนส่วน hydrophilic ที่สามารถให้ได้ทั้งประจุบวกและลบ ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติประเภทใดนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสภาพแวดล้อม สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับผิว หรือ ผม ในปัจจุบันยังใช้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น

### 2.8.3 การนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้ประโยชน์

สารลดแรงตึงผิวมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ สารลดแรงตึงผิวมีประโยชน์หลายๆด้าน โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์และเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตต่างๆ ได้แก่

1. เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เช่นผงซักฟอก สบู่ ยาสีฟัน ยาสระผม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์ที่มีฟอง เป็นต้น
2. เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง และครีมกันแดด
3. ใช้ในทางการแพทย์ การผลิตยา
4. ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น กระบวนการย้อมผ้า การเคลือบไม้หรือโลหะ การผลิตพลาสติก การทำหนังสัตว์ การผลิตเนยเทียม เค้ก และไอศกรีม เป็นต้น
5. ใช้ในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น บำบัดน้ำเสีย กำจัดมลพิษทางดิน เป็นต้น
6. ใช้ในกระบวนการสกัดแยก เช่น การสกัดแยกแร่ การแยกน้ำมันออกจากน้ำ เป็นต้น

### 2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมต้องอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการผลิต และเมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้วจะทำให้เกิดน้ำเสียเป็นจำนวนมาก และจำเป็นต้องทำการบำบัดเพื่อกำจัดสีย้อมออกจากรน้ำก่อนที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากการปนเปื้อนของสีย้อมในแหล่งน้ำจะส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของน้ำได้เนื่องจากทำให้การส่องผ่านของแสงลงไปยังได้น้ำลดลง ซึ่งวิธีการที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำที่สีย้อมมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การตกตะกอนด้วยสารเคมี (chemical coagulation) สารตกตะกอนที่นิยมใช้คือ ปูนขาว สารส้ม เพอร์รัสคลอไรด์ หรือเพอร์รัสซัลเฟต แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือถ้าสีย้อมมีโมเลกุลขนาดเล็กจะทำให้เกิดตะกอนกับสารช่วยตกตะกอนได้ยาก การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (ozone treatment) เป็นวิธีการบำบัดอีกวิธีหนึ่งโดยการออกซิไดซ์พันธะคู่ของหมู่โครโมฟอร์ในโมเลกุลสีย้อมด้วยโอโซน เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมากและจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบในน้ำที่อย่างรวดเร็วซึ่งโมเลกุลของสีย้อมส่วนใหญ่มักประกอบด้วยไนโตรเจน คลอรีน หรือซัลเฟอร์ ที่เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่อาจจะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม (รัชนีย์ รุกขชาติ, 2549) และการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (activate carbon) เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมาก แต่เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่สูงจึงมีการนำวัสดุที่มีราคาถูกมาพัฒนาเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับสีย้อม เช่น เปลือกปาล์ม (Hameed และคณะ, 2007) ของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ย (Jain และ

คณะ, 2003) จีลี่เยอและเกลบ (Malik, 2003) และกากตะกอนจากระบบน้ำเสียชุมชน (Fan และ Zhang, 2008)

Martin และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีข้อมออกจากสารละลายด้วยการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาทำเป็นถ่านกัมมันต์ด้วยการใช้กรดซัลฟิวริกและเทียบประสิทธิภาพกับถ่านกัมมันต์ทางการค้าในการกำจัดสีข้อมสังเคราะห์ชนิดแอนไอออนิก 3 ตัว และแคตไอออนิก 1 ตัว พบว่าเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ 4 g/L และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อม 100 mg/L ที่พีเอชต่างๆกันพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมชนิดแอนไอออนิกของกากตะกอนที่ถูกเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์ทางการค้าจะลดลงเมื่อเพิ่มค่าพีเอช แต่กากตะกอนที่ถูกเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมชนิดแอนไอออนิกได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ค่าพีเอชสูงกว่า 5 ต่อมา Fan และ Zhang (2007) ได้ทำการศึกษาศึกษาคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อใช้กำจัดสีข้อม alkaline-black ออกจากน้ำเสียโดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า ซึ่งพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกากตะกอนมีความสามารถในการดูดซับสีข้อม alkaline-black สูงกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าเนื่องจากมีขนาดรูพรุนที่เหมาะสมกับขนาดของสีข้อม alkaline-black มากกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า และสามารถกำจัดสีข้อมได้ถึง 99.7% ที่พีเอชเท่ากับ 1.0 นอกจากนี้ Jain และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการนำเอาของเสียในอุตสาหกรรมเหล็กกล้าและอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยมาทำถ่านกัมมันต์เพื่อกำจัดสีข้อมประเภทแอนไอออนิก เช่น เอทิลออเรนจ์ เมทานิลเฮลโล และแอสซิดบลู 113 ออกจากสารละลาย โดยพบว่าของเสียที่เป็นพวกสารอนินทรีย์ เช่น ฝุ่นจากเตาหลอมเหล็ก กากโลหะจากโรงหลอมเหล็กไม่เหมาะกับการนำมากำจัดพวกสีข้อม ขณะที่ของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ยซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสามารถดูดซับเอทิลออเรนจ์ได้ 198 mg/g เมทานิลเฮลโล 211 mg/g และแอสซิดบลู 113 ได้ 219 mg/g และเมื่อทำการศึกษาระยะเวลาสัมผัสพบว่าเมื่อให้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ  $5 \times 10^{-4}$  M ตัวดูดซับดังกล่าวสามารถดูดซับสีข้อมทั้งสามชนิดได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไป 5.5 นาทีก็สามารถดูดซับสีข้อมได้มากกว่า 50% และเข้าสู่สมดุลที่ระยะเวลา 45 นาที

จากงานวิจัยที่ผ่านมา จะพบว่ามีกานำกากตะกอนมาใช้เป็นตัวดูดซับสีข้อม โดยนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการดัดแปรให้เป็นถ่านกัมมันต์ แต่ยังมีงานวิจัยจำนวนน้อยที่นำเอากากตะกอนมาปรับปรุงทางเคมีด้านอื่น ในงานวิจัยนี้สนใจนำสารลดแรงตึงผิวมาดัดแปรกากตะกอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสีข้อม ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำสารลดแรงตึงผิวมาใช้ร่วมกับตัวดูดซับต่างๆ และใช้ในการดูดซับสิ่งปนเปื้อน เช่น โลหะ และ สีข้อม เช่นกัน

Bingo และคณะ (2004) ได้ทำการดัดแปรพื้นผิวของยีสต์ด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก cetyltrimethylammoniumbromide (CTAB) เพื่อกำจัดโลหะที่มีประจุลบ โดยนำยีสต์ที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนปริมาณ 0.5 g เขย่ากับ CTAB 365 mg/L เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

จากนั้นทำการแยกของแข็ง และนำเอาส่วนที่เป็นของแข็งไปทำการทดลองกำจัดโลหะที่มีประจุลบต่อไป โดยตรวจสอบประจุบนพื้นผิวของยีสต์ที่ไม่ถูกดัดแปรและที่ถูกดัดแปรด้วย CTAB ที่อยู่ในสารละลายที่มีพีเอชต่างๆ ด้วย zeta meter พบว่าค่า zeta potential ของยีสต์ที่ไม่ถูกดัดแปรด้วย CTAB จะมีค่าเป็นลบมากขึ้นเมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ยีสต์ที่ไม่ถูกดัดแปรดูดซับโลหะที่มีประจุลบได้น้อยลงเมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น ในขณะที่ยีสต์ที่ถูกดัดแปรด้วย CTAB จะมีค่า zeta potential เป็นบวกมากขึ้นเมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่าที่พื้นผิวของยีสต์มีประจุบวกมากขึ้นเป็นผลมาจากการดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวที่เป็นประจุบวก และพบว่าค่า zeta potential จะมีค่าบวกมากที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 5.5 และที่พีเอชนี้ยีสต์ที่ถูกดัดแปรจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะที่มีประจุลบได้สูงสุดเช่นกัน

Mohamed (2004) นำสารลดแรงตึงผิวประจุบวก CTAB มาดัดแปรบน mesoporous silica FSM-16 เพื่อทำการเปรียบเทียบการกำจัดสีย้อมเอซิดกับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกข้าว โดยในการดัดแปร FSM-16 ซึ่งมีขนาดรูพรุนแบบ mesopore ด้วย CTAB จะทำให้เกิดรูพรุนเป็นแบบ micropore จากการทดลองพบว่าความจุการดูดซับสีย้อมเอซิดในช่วงความเข้มข้นต่ำๆ ( $< 20$  mg/L) ให้ผลสูงกว่า FSM-16 ที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว และถ่านกัมมันต์จากเปลือกข้าว เมื่อทำการศึกษาค่าพีเอชที่ใช้ในการดูดซับพบว่า การดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดตั้งแต่ที่พีเอช 2 และดูดซับได้สูงขึ้นเมื่อพีเอชสูงขึ้น และงานวิจัยของ Özcan (2005) ทำการศึกษาการดูดซับ เอซิดบลู 193 บน benzyltrimethylammonium (BTMA)-bentonite โดยนำ Na-saturated clay 20 g ผสมกับ BTMA เขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทำการเตรียม BTMA-bentonite แล้วทำการตรวจสอบด้วยวิธี elemental analysis เพื่อตรวจสอบอัตราส่วน C/N ของ BTMA-bentonite พบว่ามีค่าเท่ากับ 8.95 ขณะที่ค่าอัตราส่วน C/N ของ BTMA เท่ากับ 8.57 เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ BTMA บน bentonite เท่ากับ 11.13 % ซึ่งจากผลของอัตราส่วน C/N ได้ยืนยันการเกิดปฏิกิริยาของโมเลกุลของ BTMA กับผิวของ bentonite จากนั้นนำ BTMA-bentonite 0.01 g มาดูดซับสีย้อมเอซิดบลู 193 เข้มข้น 250 mg/L ในช่วงพีเอช 1- 10 พบว่าที่พีเอชเท่ากับ 1.5 ตัวดูดซับมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมสูงถึง 550 mg/g โดยระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลอยู่ที่ 60 นาที

จากงานวิจัยที่ผ่านมามีพบว่าสารลดแรงตึงผิวสามารถนำมาดัดแปรบนวัสดุชนิดต่างๆได้ โดยมีแนวโน้มที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำ แต่ไม่มีงานวิจัยใดที่น่าภาคภูมิใจจากโรงบำบัดน้ำเสียมาใช้ในการดัดแปรด้วยสารดังกล่าวมาก่อน งานวิจัยนี้มีแนวความคิดที่จะนำภาคตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับสำหรับกำจัดสีย้อม โดยศึกษาวิธีการดัดแปรและการนำไปใช้ในการกำจัดสีย้อม

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.1.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

3.1.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนก่อน และหลังการตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

3.1.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียดังเคราะห์ด้วยกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

3.1.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมด้วยกากตะกอนต่างแหล่งที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

3.1.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมด้วยกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว กับตัวดูดซับที่นิยมใช้กันทั่วไป

3.1.6 ทดสอบกับน้ำเสียจริง

##### 3.2 วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี

###### 3.2.1 วัสดุอุปกรณ์

###### ตารางที่ 3.1 วัสดุ และอุปกรณ์

เครื่องมือ	ยี่ห้อ / รุ่น
พีเอชมิเตอร์	Thermo electron croporation / Orient 2 star series meter
เครื่องกวนแม่เหล็ก	PC-420 / CORNING
เครื่องชั่งสาร	METTLER / AT 200
เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)	SANYO / CENTAUR2
เครื่องยูวี	Hewlett Packard / HP8453
เครื่องอ่างไอน้ำ (Water bath)	Bosstech / THERMAL TMD/1

### ตารางที่ 3.1 วัสดุ และอุปกรณ์ (ต่อ)

เครื่องมือ	ยี่ห้อ / รุ่น
เครื่องวิเคราะห์ปริมาณ CHN	LEGO / CHN Elemental Analysis
Zeta potential meter	Zeta Meter / 3.0+
ตะแกรงร่อน	ENDECOTTS / ขนาด 70 mesh
เตาเผา	Controller P320 / Nabertherm
ตู้อบ	MEMMERT / UM 500
Transferpette	100-1000 $\mu$ L, 0.5-5 mL / Brand
เครื่องแก้ว	
แท่งคนแม่เหล็ก	
นาฬิกาจับเวลา	

### 3.2.2 สารเคมี

#### ตารางที่ 3.2 รายการสารเคมี

สารเคมี	บริษัท/เกรด
Acid Blue 25 (AB25)	SIGMA-ALDRICH / Dye content 45%
Activated charcoal	SIGMA / R&D
Ammonium iron (II) sulphate hexahydrate (FAS)	MERCK / For analysis
Charcoal activated	MERCK / For analysis
Hexadecyltrimethylammoniumbromide (CTAB)	MERCK / assay (argentometric) $\geq$ 97%
Hydrochloric acid 95-97%	MERCK / For analysis
Mercuric sulfate	MERCK / For analysis
Potassium dichromate	Fisher Chemicals / For analysis
1,10-Phenanthroline ferrous complex solution	Fisher Chemicals / General purpose grad
Silver sulfate	POCH / pure p.a.
Sodium chloride	MERCK / GR for analysis
Sodium hydroxide	MERCK / For analysis
Sulfuric acid	MERCK / For analysis
Di-sodium hydrogen phosphate	BDH / assay (argentometric) $\geq$ 99

### 3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

#### 3.3.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

นำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำทิ้งบ้านเรื่อนมาทำการตากแดดให้แห้งจากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 mesh แล้วจึงนำกากตะกอนที่ได้ผสมกับสารละลายสารลดแรงตึงผิวในที่นี้เลือกใช้ Hexadecyltrimethylammoniumbromide (CTAB) จากนั้นแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็งไปทดสอบประสิทธิภาพของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว ด้วยการดูดซับสีข้อม ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษามีดังนี้

ตารางที่ 3.3 ตัวแปร และช่วงที่ศึกษาการตัดแปรกากตะกอนด้วยสารลดแรงตึงผิว

ตัวแปร	ช่วงที่ทำการศึกษา
ความเข้มข้นของสารละลาย CTAB	50-800 ppm
ระยะเวลาที่ใช้ในการผสมกากตะกอน และสารละลาย CTAB	30 – 720 นาที
อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการอบกากตะกอนก่อนทำการตัดแปร	100 °C (3 ช.ม.) และ 300 °C (3 ช.ม.)

##### 3.3.1.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว

นำกากตะกอนมา 0.01 g ใส่ลงในหลอดทดลองจากนั้นเติมสารละลาย CTAB 50 ppm ปริมาตร 5 mL กวนของผสมเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นสารละลายและส่วนที่เป็นของแข็งออกโดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นของแข็งไปหาประสิทธิภาพในการดูดซับสีข้อมเอซิคบลู 25 เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย CTAB เป็น 200, 300, 400, 500, 600, 700 และ 800 ppm โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เมื่อได้ความเข้มข้นของ CTAB ที่ให้ได้ตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีข้อมเอซิคบลู 25 สูงสุดแล้วจึงนำเอาความเข้มข้นนี้ไปทำการศึกษาในพารามิเตอร์ต่อไป

### 3.3.1.2 ศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการผสมของกากตะกอน และสารละลายของสารลดแรงตึงผิว (CTAB)

นำกากตะกอนมา 0.01 g ใส่ในหลอดทดลอง และเติมสารละลาย CTAB จากความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วทำกวนของผสม โดยใช้ระยะเวลาต่างๆกัน คือ 30, 60, 120, 180, 360 และ 720 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นสารละลายและส่วนที่เป็นของแข็งออกโดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำส่วนที่เป็นของแข็งไปหาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 ทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ แล้วจึงนำระยะเวลาที่เหมาะสมไปทำการศึกษาในพารามิเตอร์ต่อไป

### 3.3.1.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการอบกากตะกอนก่อนทำการตัดแปร

นำกากตะกอนที่ผ่านการตากแดด และร้อนผ่านตะแกรงแบ่งออกเป็นสามส่วน โดยส่วนแรกไม่ต้องนำไปอบ จากนั้นนำส่วนที่สองไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 3 ชม. และนำส่วนที่สามไปอบที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 3 ชม. แล้วนำกากตะกอนทั้งสามส่วนมาทำการทดลองโดยชั่งกากตะกอน 0.01 g ใส่ในหลอดทดลองเติมสารละลาย CTAB ที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสม ปริมาตร 5 mL และเคลือบกากตะกอนในระยะเวลาที่เหมาะสม จากนั้นแยกส่วนที่เป็นสารละลายและส่วนที่เป็นของแข็งออกโดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นของแข็งไปหาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

ในการศึกษาผลของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดแปรกากตะกอนด้วยสารลดแรงตึงผิว จะทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีย้อมของตัวดูดซับที่ได้จากการเตรียมในภาวะที่ต่างกัน โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ของสีย้อมเอซิคบลู 25 เป็นตัวแทนของสีย้อมเอซิค และทำการทดลองแบบแบทช์ โดยนำตัวดูดซับที่เตรียมได้ผสมกับสารละลายสีย้อมความเข้มข้น 400 mg/L ปริมาตร 5 mL กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นสารละลายและส่วนที่เป็นของแข็งออกโดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นสารละลายไปตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสีย้อมที่เหลือด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรีที่ความยาวคลื่น 599 nm โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ



### 3.3.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีของกากตะกอน

ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของกากตะกอน โดยเปรียบเทียบกากตะกอนก่อน และหลังการตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวโดยใช้เครื่องมือดังตาราง 3.4

ตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากตะกอน

สมบัติของกากตะกอนที่ทำการศึกษา	เครื่องมือ
ประจุบนพื้นผิว (ศักย์ไฟฟ้าซีต้า)	Zeta potential meter
ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน (%)	CHN Elemental Analyzer

### 3.3.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียดังเคราะห์ด้วยกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

จากการศึกษาพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว โดยใช้กากตะกอนที่ไม่ได้ทำการอบ ผสมกับสารละลาย CTAB 600 ppm ปริมาตร 5 mL และกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 120 นาที จากนั้นจะนำกากตะกอนที่เตรียมได้ไปทำการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีข้อมต่อไป โดยศึกษาผลของปัจจัยที่จะส่งผลต่อการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียดังเคราะห์ดังต่อไปนี้

#### 3.3.3.1 ผลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายสีข้อม

นำสารละลายสีข้อมเอซิคบลู 25 ความเข้มข้น 400 ppm ที่พีเอชต่าง ๆ กัน ได้แก่ 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ปริมาตร 5 mL ผสมกับตัวดูดซับที่เตรียมได้ กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนที่เป็นสารละลายและส่วนที่เป็นของแข็งออกโดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดหาความเข้มข้นของสีข้อมที่เหลือด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

### 3.3.3.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ

นำสารละลายสีข้อมความเข้มข้น 400 ppm ที่มีพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสม ปริมาตร 5 mL ผสมกับตัวดูดซับที่เตรียมได้กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กที่ระยะเวลาต่างๆกัน ดังนี้ 30, 60, 180, 360 และ 960 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นสารละลายและส่วนที่เป็นของแข็งออกโดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดหาความเข้มข้นของสีข้อมที่เหลือด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

### 3.3.3.3 ผลความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีข้อมเอซิคบลู 25 และไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption isotherm)

ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสีข้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่เคลือบด้วยสารลดแรงตึงผิวโดยศึกษาการดูดซับสีข้อมเอซิคบลู 25 ที่อุณหภูมิ 25 °C โดยใช้สารละลายสีข้อมเอซิคบลู 25 ความเข้มข้น 1.0 – 4.5 mmol/L ปริมาตร 5 mL ที่ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 4-5 ผสมกับตัวดูดซับที่เตรียมได้กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กเป็นระยะเวลา 60 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นสารละลายและส่วนที่เป็นของแข็งออกโดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดหาความเข้มข้นสีข้อมที่เหลือด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

### 3.3.3.4 ผลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ และจลศาสตร์การดูดซับ (kinetics)

ในการศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีข้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่เคลือบด้วยสารลดแรงตึงผิวจะทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 25 °C โดยใช้สารละลายสีข้อมเอซิคบลู 25 ความเข้มข้น 400 ppm ปริมาตร 5 mL โดยปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 4-5 ผสมกับตัวดูดซับที่เตรียมได้ในปริมาณ 0.005, 0.01 และ 0.025 g หรือคิดเป็นความเข้มข้นของตัวดูดซับ 1, 2 และ 5 g/L และระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ คือ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นสารละลายและส่วนที่เป็นของแข็งออกโดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดหาความเข้มข้นของสีข้อมที่เหลือด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

### 3.3.4 ผลของไอออนรบกวน

ทำการศึกษาผลของไอออนรบกวนโดยเลือกศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) ตามความเข้มข้น ที่ใช้ในกระบวนการย้อมไหมของโรงงานผลิตไหมแห่งหนึ่ง โดยเตรียมสารละลายสีย้อมเอซิคบลู 25 ความเข้มข้น 400 ppm พีเอช 4-5 ที่มีความเข้มข้นของ NaCl 0.0342 mol/L และ  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  0.0061 mol/L จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไว้ 5 mL ผสมกับตัวดูดซับ 0.01 g ที่เตรียมได้กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นสารละลายและส่วนที่เป็นของแข็งออกโดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดหาความเข้มข้นสีย้อมที่เหลือด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

### 3.3.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมด้วยกากตะกอนต่างแหล่งที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25 ด้วยตัวดูดซับที่เตรียมจากกากตะกอนสามแหล่ง ได้แก่ โรงควบคุมคุณภาพน้ำจตุจักร โรงควบคุมคุณภาพน้ำห้วยขวาง และโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี โดยนำกากตะกอนทั้งสามแหล่งมาดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวตามภาวะที่เหมาะสมในข้อ 3.3.2 และนำไปศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเอซิคบลูที่มีความเข้มข้น 400 ppm

ชั่งตัวดูดซับที่ไม่ได้อบ และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 mesh มา 0.01 g ใส่สารละลาย CTAB ความเข้มข้น 600 ppm ปริมาตร 5 mL ทำการกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 120 นาที จากนั้นทำการแยกส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวออกโดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นของเหลวออก แล้วนำส่วนที่เป็นของแข็งมาทำการดูดซับสีย้อม โดยใส่สารละลายเอซิคบลู 25 ความเข้มข้น 400 ppm พีเอช 4-5 ปริมาตร 5 mL ทำการกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นทำการแยกส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวออกโดยนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นของเหลวไปหาความเข้มข้นที่เหลือของสีย้อมเอซิคบลู 25 ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

### 3.3.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมด้วยกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวกับตัวดูดซับที่นิยมใช้กันทั่วไป

ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวเปรียบเทียบกับตัวดูดซับที่นิยมใช้ ได้แก่ Granular Activated Charcoal (GAC) ขนาด 20-60 mesh และ Powder Activated Charcoal (PAC) ขนาด  $< 100 \mu\text{m}$  โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

เตรียมสารละลายเอซิคบลู 25 ความเข้มข้น 400 ppm พีเอช 4-5 ปีเปตมา 5 mL ใส่ในหลอดทดลองที่มีตัวดูดซับที่เตรียมจากกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวตามภาวะที่เหมาะสมปริมาณ 0.01 g แล้วนำไปกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นทำการแยกส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวออกโดยนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นของเหลวไปหาความเข้มข้นที่เหลือของสารละลายสีย้อมเอซิคบลู 25 ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ จากนั้นทำการทดลองโดยเปลี่ยนตัวดูดซับ GAC และ PAC ตามลำดับ

### 3.3.7 ทดสอบตัวดูดซับกับน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตพรม

นำน้ำเสียจากกระบวนการย้อมไหมที่มีการผสมกันของสีย้อมเอซิคหลายชนิดจากโรงงานผลิตพรมแห่งหนึ่งมาทำการดูดซับด้วยกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้ นำกากตะกอนที่ไม่ได้อบและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 เมชเรียบร้อยแล้วมาผสมกับสารละลาย CTAB 600 ppm เป็นเวลา 120 นาที จากนั้นทำการแยกส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวออกจากกันโดยนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที แยกส่วนที่เป็นของเหลวออก จากนั้นนำส่วนที่เป็นของแข็งมาทำการดูดซับสีย้อมออกจากน้ำเสียจริง โดยทำการเจือจางน้ำเสียจริงด้วยอัตราส่วน 1:100 ซึ่งมีพีเอชประมาณ 6 – 6.5 จากนั้นนำไปทำการดูดซับโดยปีเปตน้ำเสียจริงปริมาตร 5 mL ใส่ในหลอดทดลอง แล้วทำการกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นทำการแยกส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวออกโดยนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์ COD เพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเอซิคออกจากน้ำเสียจริง โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพของการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 พิจารณาจากความสามารถของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วย CTAB ที่จับกับสีย้อมเอซิคบลู 25 (Adsorption capacity; Q) ดังสมการ (3.1) และเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25 (%Removal; R) ดังสมการ (3.2)

$$Q = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (3.1)$$

$$\%R = \frac{(C_0 - C_e) \times 100}{C_0} \quad (3.2)$$

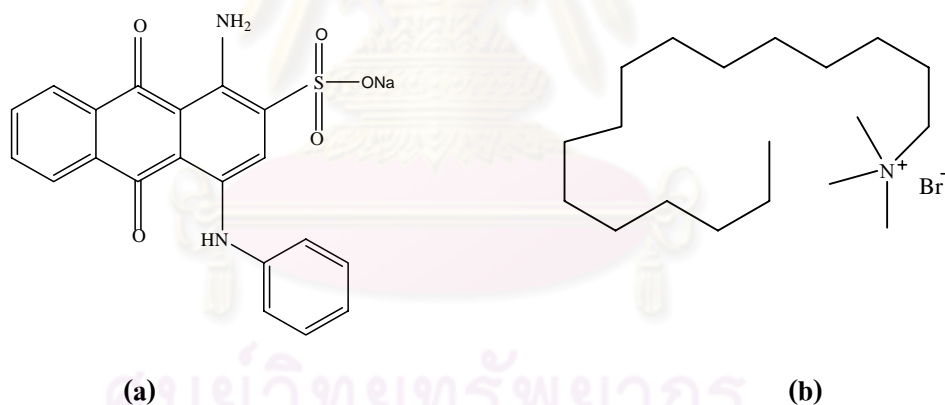
- Q = ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 (mmol/g)  
 %R = เปอร์เซนต์การกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25  
 C<sub>0</sub> = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเอซิคบลู 25 (mmol/L)  
 C<sub>e</sub> = ความเข้มข้นที่เหลือของสีย้อมเอซิคบลู 25 (mmol/L)  
 m = น้ำหนักของกากตะกอนที่ใช้ในการดูดซับ (ตัวดูดซับ) (g)  
 V = ปริมาตรของสารละลาย (L)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมออกจากน้ำเสียฟอกย้อมโดยนำกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำทิ้งบ้านเรือนของกรุงเทพมหานครมาดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว ซึ่งกากตะกอนที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบมาจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำจตุจักร โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง และโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี โดยนำกากตะกอนที่ผ่านการรีดน้ำออกด้วยเครื่องรีดตะกอน (belt filter press) มาตากแห้งและบดให้ละเอียดก่อนนำไปใช้ในการทดลอง ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้กากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำจตุจักรเป็นตัวแทนกากตะกอนเพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรพื้นผิวของกากตะกอนด้วยสารลดแรงตึงผิว Hexadecyltrimethylammoniumbromide (CTAB) (รูปที่ 4.1(a)) และศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมเอซิคโดยใช้สารละลายสีข้อมเอซิคบลู 25 (รูปที่ 4.1(b)) ในการทดลอง โดยมีรายละเอียดในการศึกษาดังนี้



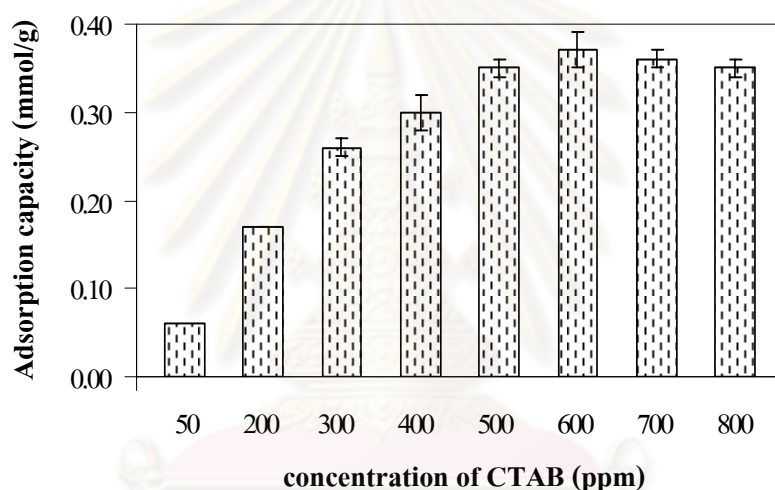
รูปที่ 4.1 โครงสร้างของ acid blue 25 (a) และ CTAB (b)

#### 4.1 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

การดัดแปรกากตะกอนด้วยสารลดแรงตึงผิวในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรกากตะกอน ได้แก่ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการดัดแปร ระยะเวลาสัมผัสระหว่างกากตะกอนกับสารลดแรงตึงผิวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกากตะกอน

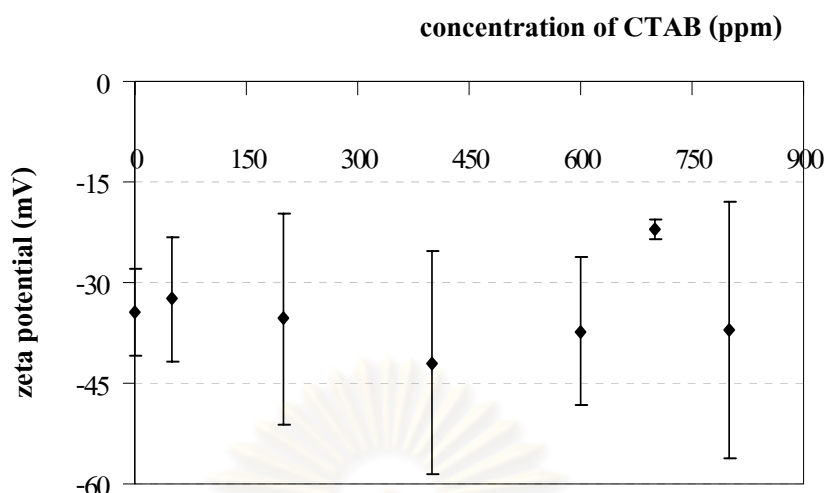
#### 4.1.1 ผลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการตัดแปรงกากตะกอน

การศึกษาความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการตัดแปรงกากตะกอนทำได้โดยการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของ CTAB ที่ใช้ในการเคลือบกากตะกอนตั้งแต่ 50 ถึง 800 ppm ซึ่งคาดว่าช่วงความเข้มข้น CTAB ที่ใช้ในการทดลองยังไม่ถึง critical micelle concentration (CMC) โดย CMC ของ CTAB ที่ 25°C มีค่าเท่ากับ 16 mmol/L (Clint, 1992) โดยใช้ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างสารลดแรงตึงผิวและกากตะกอนเป็นเวลา 60 นาที และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมเอซิคบลู 25 ด้วยกากตะกอนที่ถูกตัดแปรงด้วย CTAB ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสามารถในการดูดซับสีข้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่ตัดแปรงด้วย CTAB ที่ความเข้มข้น 50 – 800 ppm

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อมีการตัดแปรงพื้นผิวกากตะกอนด้วย CTAB จะทำให้ตัวดูดซับที่ได้มีความสามารถในการดูดซับสีข้อมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CTAB ที่ใช้ในการตัดแปรงกากตะกอนจาก 50 ppm ไปจนถึง 500 ppm ความสามารถในการดูดซับสีข้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่ถูกตัดแปรงนั้นจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.06 mmol/g ไปจนถึง 0.35 mmol/g และที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวตั้งแต่ 500 – 800 ppm ความสามารถในการดูดซับสีข้อม เริ่มมีค่าคงที่อยู่ในช่วง 0.35 – 0.37 mmol/g



รูปที่ 4.3 ค่า zeta potential ของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วย CTAB ที่ความเข้มข้น 50 – 800 ppm

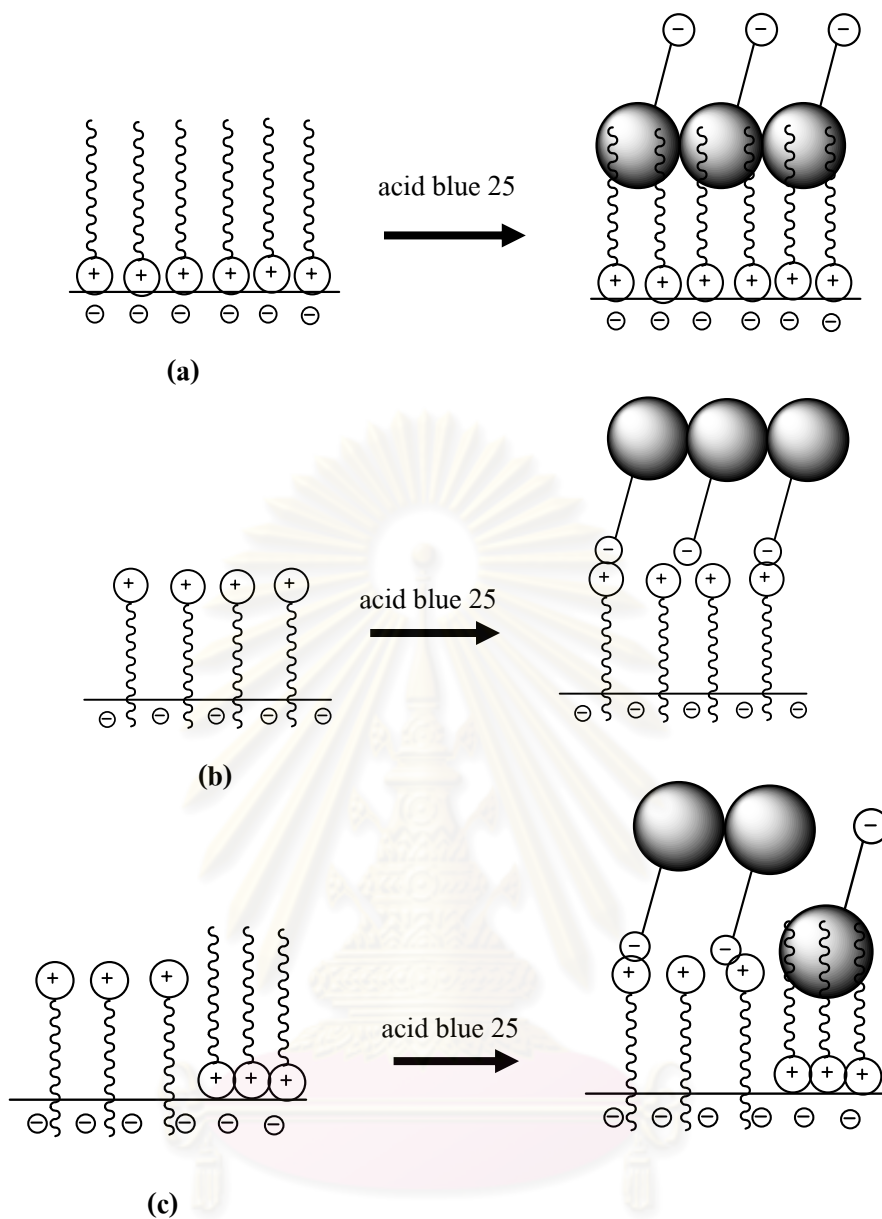
เมื่อนำกากตะกอนที่ถูกตัดแปรด้วย CTAB ที่ความเข้มข้นต่างๆ กันไปวิเคราะห์ค่า zeta-potential (รูปที่ 4.3) พบว่า ค่า zeta potential ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่ากระจายตัวอยู่ในช่วงที่กว้างมากในแต่ละความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เคลือบกากตะกอน ผลการวิเคราะห์แสดงว่าพื้นผิวของกากตะกอนที่ยังไม่ได้ตัดแปรด้วย CTAB มีคุณสมบัติที่แสดงความเป็นประจุลบ ตามทฤษฎีแล้วเมื่อทำการเคลือบผิวกากตะกอนด้วย CTAB ที่มีประจุบวกพื้นผิวของกากตะกอนควรแสดงความเป็นประจุน้อยลง แต่จากผลการทดลองพบว่าในการทำการเคลือบซ้ำที่แต่ละความเข้มข้นของ CTAB ประจุบนพื้นผิวของตัวดูดซับแตกต่างกันมาก เป็นการบ่งชี้ว่าการเคลือบ CTAB ลงบนพื้นผิวของกากตะกอนแต่ละครั้งเกิดขึ้นแตกต่างกันแม้จะใช้ความเข้มข้นของ CTAB เท่ากันก็ตาม สิ่งที่น่าคิดว่าเกิดขึ้นเมื่อเคลือบผิวกากตะกอนด้วย CTAB (รูปที่ 4.4) ได้แก่

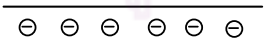
(a) หมู่ที่มีประจุบวกของ CTAB ถูกดูดซับบนผิวของกากตะกอนที่มีประจุลบด้วยแรงระหว่างประจุ (รูปที่ 4.4 a) หากเกิดการดูดซับแบบนี้ความเป็นประจุลบบนพื้นผิวของตัวดูดซับที่ได้จะลดลงหรือเป็นบวกมากขึ้น




(b) โมเลกุลในส่วนไม่มีขั้วของ CTAB ถูกดูดซับทางกายภาพบนผิวของกากตะกอนในส่วนที่ไม่มีประจุและทำให้พื้นผิวของกากตะกอนที่มีหมู่ฟังก์ชันที่แสดงความเป็นประจุลบยังคงอยู่ (รูปที่ 4.4 b) ซึ่งกรณีนี้พื้นผิวยังคงมีประจุลบอยู่

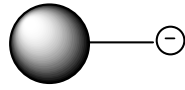


(c) การดูดซับของ CTAB บนผิวของกากตะกอนอาจเป็นรูปแบบที่ผสมกันระหว่างการดูดซับด้วยแรงระหว่างประจุระหว่างประจุบวกของ CTAB กับประจุลบของกากตะกอนและการดูดซับทางกายภาพระหว่างส่วนที่ไม่มีประจุของ CTAB กับพื้นผิวของกากตะกอน (รูปที่ 4.4 c) ซึ่งกรณีนี้จะทำให้พื้นผิวแสดงความเป็นประจุลบที่มีอยู่เดิมและประจุบวกเพิ่มมากขึ้นจาก CTAB





เมื่อ  คือ พื้นผิวของกากตะกอน

 คือ CTAB โดย  แทนหมู่ quaternary ammonium และ  แทนส่วนที่ไม่มีขั้ว

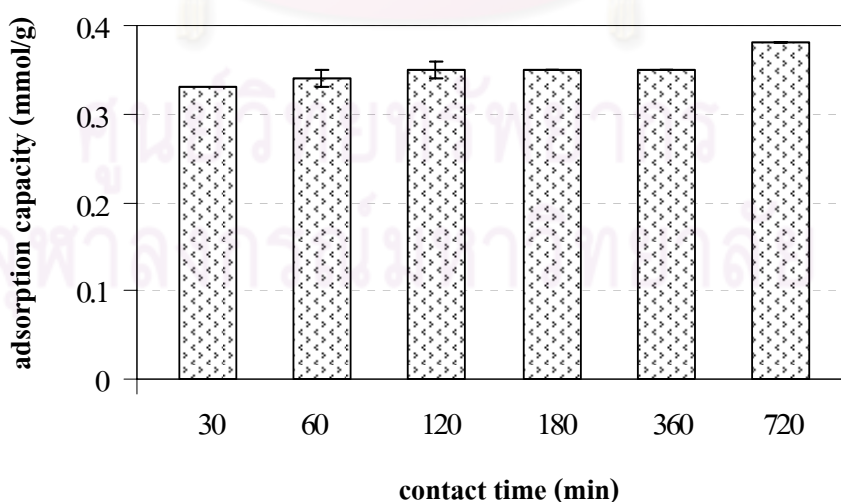
 คือ acid blue 25 โดย  แทนหมู่  $-SO_3^-$  และ  แทนส่วนที่ไม่มีขั้ว

รูปที่ 4.4 รูปแบบการดูดซับ CTAB บนผิวกากตะกอนและกลไกการดูดซับสีย้อมที่เป็นไปได้

ซึ่งไม่ว่าจะเกิดการดูดซับของ CTAB ในรูปแบบไหน พื้นผิวของตัวดูดซับที่ได้ก็สามารถที่จะดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 ได้ทั้งนั้น ดังแสดงกลไกการดูดซับสีย้อมที่เป็นไปได้ในรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่า zeta potential ของกากตะกอนที่เคลือบ CTAB ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า zeta potential ไม่ได้เป็นแนวโน้มที่ชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาจากค่าความสามารถในการดูดซับในช่วงความเข้มข้นนี้ (รูปที่ 4.2) จะเห็นแนวโน้มที่ชัดเจนมากกว่าและตัวดูดซับที่เตรียมจากการใช้ CTAB ที่ความเข้มข้น 600 ppm จะให้ค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดและเมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ANOVA ของความสามารถในการดูดซับสีย้อมของตัวดูดซับที่เตรียมโดยใช้ CTAB ที่ความเข้มข้น 500-800 ppm พบว่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมของตัวดูดซับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นเพื่อลดความเสี่ยงในการทำงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 600 ppm เพื่อใช้ในการตัดแปรกากตะกอนต่อไป

#### 4.1.2 ผลของระยะเวลาสัมผัสระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับกากตะกอน

ในการทดลองนี้จะศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเคลือบผิวกากตะกอนด้วยสารลดแรงตึงผิวโดยจะใช้ระยะเวลาสัมผัส 30, 60, 120, 180, 360 และ 720 นาที ที่ความเข้มข้น CTAB 600 ppm และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 ของตัวดูดซับที่เตรียมโดยใช้เวลาสัมผัสต่างกัน ทำการทดลองละ 3 ซ้ำ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 ของตัวดูดซับที่เตรียมโดยใช้ระยะเวลาสัมผัสระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับกากตะกอนตั้งแต่ 30-720 นาที

จากผลการทดลองพบว่าความสามารถในการดูดซับสีของเมธิลบลู 25 ของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วย CTAB เพิ่มขึ้นจาก 0.33 mmol/g ไปถึง 0.35 mmol/g เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการต้มพืชของ CTAB และกากตะกอนจาก 30 ไปถึง 120 นาที แสดงว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาจาก 30 เป็น 120 นาที จะมีปริมาณ CTAB ที่ถูกดูดซับบนผิวกากตะกอนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่จะเห็นว่าเมื่อใช้เวลา 30 นาที CTAB ส่วนใหญ่ก็ถูกดูดซับบนผิวกากตะกอนแล้ว และเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นความสามารถในการดูดซับสีของเมธิลบลู 25 ของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวก็เริ่มคงที่อยู่ที่ 0.35 mmol/g ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจากพื้นผิวของกากตะกอนนั้นมีพื้นที่ผิวจำกัดทำให้เมื่อระยะเวลาในการต้มพืชระหว่างกากตะกอนและ CTAB มากขึ้นก็ไม่ทำให้มีปริมาณ CTAB เพิ่มขึ้นได้อีกบนผิวของกากตะกอนและความสามารถในการดูดซับสีของกากตะกอนที่เคลือบด้วยสารลดแรงตึงผิวเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และเมื่อเพิ่มระยะเวลาต้มพืชเป็น 720 นาทีความสามารถในการดูดซับสีของเมธิลบลู 25 ของกากตะกอนที่ทำการตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวมีค่าเพิ่มเพียงเล็กน้อยเป็น 0.38 mmol/g แต่เนื่องจากระยะเวลาที่ 720 นาที เป็นระยะเวลาที่นานเกินไปทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ระยะเวลาในการตัดแปรพื้นผิวกากตะกอนด้วย CTAB อยู่ที่ 120 นาที ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 600 ppm เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาตัวแปรถัดไป

#### 4.1.3 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกากตะกอนก่อนนำมาใช้

ในการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกากตะกอนก่อนการตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวนี้ ได้นำกากตะกอนแห้งมาอบที่อุณหภูมิ 100°C และ 300°C โดยใช้ระยะเวลาในการอบ 3 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับกากตะกอนที่ไม่ได้ผ่านการอบ และทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับสีของเมธิลบลู 25 ของกากตะกอนเหล่านี้ทั้งก่อนและหลังตัดแปรด้วย CTAB โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 พบว่ากากตะกอนที่อบที่อุณหภูมิ 300°C เมื่อนำมาตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวจะให้ความสามารถในการดูดซับสีของเมธิลบลู 25 ลดลงจาก 0.37 mmol/g เป็น 0.23 mmol/g เมื่อเทียบกับกากตะกอนที่ไม่ผ่านการอบ และกากตะกอนที่ทำการอบที่อุณหภูมิ 100°C ทั้งนี้เนื่องมาจากองค์ประกอบ และคุณลักษณะของกากตะกอนที่ไม่ได้ออบ และกากตะกอนที่อบที่อุณหภูมิ 100°C นั้นแตกต่างจากกากตะกอนที่อบที่อุณหภูมิ 300°C เมื่อพิจารณากากตะกอนที่ไม่ได้ทำการตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวพบว่า ค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่ากากตะกอนที่ทำการตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวมาก โดยกากตะกอนทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการอบและไม่ได้ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวจะมีความสามารถในการดูดซับสีของเมธิลบลู 25 ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่ากากตะกอนที่ไม่ได้ตัดแปรด้วย CTAB นั้นมีคุณลักษณะที่ไม่เหมาะสมในการดูดซับสีของเมธิลบลู 25

กล่าวคือพื้นผิวของกากตะกอนที่ไม่ได้ทำการตัดแปรนั้นจะมีประจุลบบนพื้นผิว แต่เมื่อทำการตัดแปรพื้นที่ผิวของกากตะกอนด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวกแล้ว ทำให้พื้นผิวของกากตะกอนนั้นมีความเหมาะสมมากขึ้นในการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 ซึ่งมีประจุเป็นลบไว้ได้ ดังเสนอไว้ข้างต้น (รูปที่ 4.4) นอกจากนี้กากตะกอนที่อบที่อุณหภูมิ 300 °C มีพื้นที่ผิวและองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนเปลี่ยนแปลงไป โดยกากตะกอนที่อบที่อุณหภูมิ 300 °C มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจาก 6.31 เป็น 35.59 m<sup>2</sup>/g แต่มีเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของคาร์บอนลดลงจาก 17.78% เป็น 7.90% เมื่อเทียบกับกากตะกอนที่ไม่ได้อบ (ฐาปนพงศ์ พึ่งประสพ, 2550) ซึ่งลักษณะดังกล่าวน่าจะไม่เหมาะสมสำหรับการตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวและส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสีย้อมหลังจากตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับตัวดูดซับที่เตรียมจากกากตะกอนที่ไม่อบ

**ตารางที่ 4.1** ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่อบก่อนนำไปตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ	ความสามารถในการดูดซับ (mmol AB 25/g sludge)	
	กากตะกอนที่ไม่ได้ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว	กากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว
ไม่อบ	0.03 ± 0.01	0.37 ± 0.02
100 °C	0.03	0.36 ± 0.01
300 °C	0.04	0.23 ± 0.03

ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้กากตะกอนที่ไม่ได้ผ่านการอบมาใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวเพื่อนำไปดูดซับสีย้อมเอซิคต่อไป ทั้งนี้เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน และความสามารถในการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 ก็มีค่าไม่แตกต่างกันนักระหว่างกากตะกอนที่นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C กับกากตะกอนที่ไม่ได้ทำการอบ ก่อนนำไปตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงกากตะกอนด้วยสารลดแรงตึงผิว พบว่าภาวะที่เหมาะสมในตัดแปรกากตะกอน คือ ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 600 ppm สกัดส่วนของกากตะกอนต่อสารละลาย CTAB คือ 2 g/L โดยใช้ระยะเวลาในการผสม 120 นาที

#### 4.2 ผลการศึกษาลักษณะทางเคมีของกากตะกอนก่อนและหลังดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

นำกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวที่เตรียมได้จากภาวะที่เหมาะสมมาทำการศึกษาคุณลักษณะทางเคมี โดยทำการวิเคราะห์ค่า zeta potential และเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน และเปรียบเทียบกับกากตะกอนที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.2

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.2 พบว่ากากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวมีค่าประจุบนพื้นผิวไม่แตกต่างกับตะกอนที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว และจาก paired t-test พบว่าค่า zeta potential ที่ได้ไม่นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนก็พบว่ากากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวนั้นมีปริมาณของธาตุทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเปอร์เซ็นต์คาร์บอน และไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งจากผลการทดลองก็เป็นการยืนยันให้เห็นว่ากากตะกอนนั้นได้ถูกดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวได้จริงเช่นเดียวกับการทดลองของ Özcan ได้ใช้ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์คาร์บอนและไนโตรเจนในการพิสูจน์ว่ามี benzyltrimethylammonium (BTMA) ดัดแปรบน bentonite จริงเช่นกัน โดยได้นำ BTMA-bentonite ไปดูดซับเอซิคบลู 193 (Özcan และคณะ, 2005)

ตารางที่ 4.2 ค่า zeta potential และเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนของกากตะกอนที่ไม่ได้ดัดแปร และดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

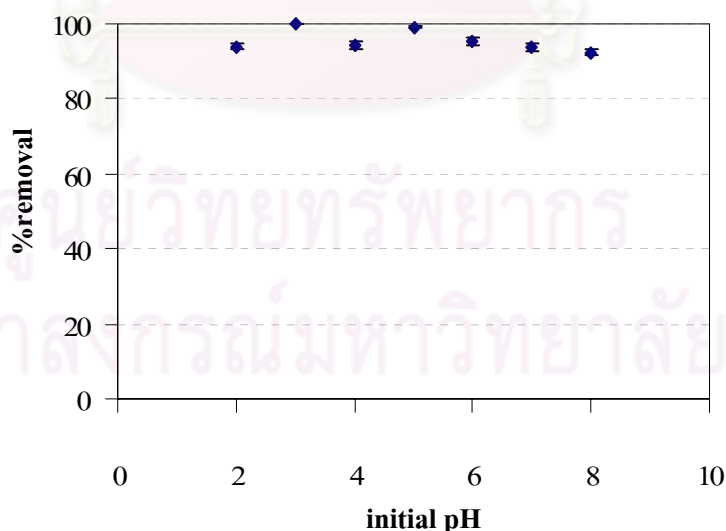
ตัวแปรที่ศึกษา	ประเภทของกากตะกอน	
	กากตะกอนที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว	กากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว
Zeta potential (mV)	-34.37 ± 6.40	-37.22 ± 11.02
เปอร์เซ็นต์คาร์บอน (%C)	16.76	25.64
เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจน (%H)	2.73	4.47
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (%N)	2.26	2.50

#### 4.3 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

ในการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25 จะใช้ระบบแบทช์ และใช้ตัวดูดซับเป็นกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวที่เตรียมขึ้นในภาวะที่เหมาะสมโดยตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาที่ได้ทำการศึกษาได้แก่ พีเอชเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม และผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

##### 4.3.1 ผลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม

เนื่องจากสีย้อมเอซิคจะอยู่ในรูป (form) ที่แตกต่างกันเมื่อสารละลายมีพีเอชเปลี่ยนไป โดยโมเลกุลสีย้อมอาจอยู่ในรูป protonated form ในสารละลายกรดแก่ ในขณะที่โมเลกุลจะแสดงความเป็นประจุลบหรือเกิด deprotonation ในสารละลายที่มีพีเอชสูงขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปสีย้อมเอซิคมักจะสามารแสดงประจุลบในช่วงพีเอชที่กว้าง (Herinrich, 2003) ในการศึกษาการกำจัดสีย้อมยังต้องคำนึงถึงค่าพีเอชที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมด้วย โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25 จากสารละลายที่มีพีเอชเริ่มต้น 2 - 8 ด้วยตัวดูดซับที่เตรียมจากกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว โดยความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเอซิคบลู 25 คือ 400 ppm ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6

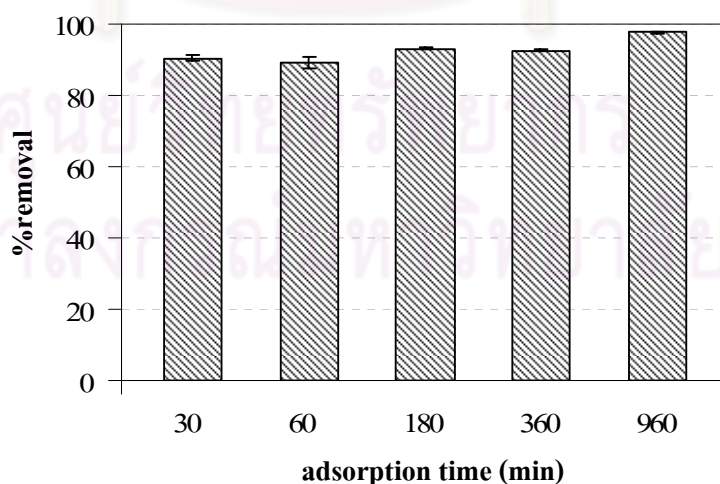


รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25 ในสารละลายที่มีพีเอชเริ่มต้นต่างๆ

จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25 อยู่ในช่วง 92–99 % เมื่อทำการดูดซับในช่วงพีเอช 2 – 8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพีเอชของสารละลายสีย้อมมีผลต่อการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 ด้วยกากตะกอนที่ดัดแปรด้วย CTAB น้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณลักษณะของสีย้อมเอซิคบลูที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีเนื่องจากมีหมู่ sulfonate เป็นองค์ประกอบ และสามารถแสดงประจุเป็นลบได้ในช่วงพีเอชของสารละลายที่กว้าง (Herinrich, 2003) ในขณะที่ตัว CTAB บนพื้นผิวกากตะกอนน่าจะแสดงความเป็นประจุบวกในช่วงพีเอชดังกล่าวจึงสามารถดูดซับสีย้อมไว้บนตัวดูดซับได้ด้วยแรงระหว่างประจุ นอกจากนี้ยังเป็นไปได้อีกว่าสีย้อมบางส่วนอาจถูกดูดซับโดยอาศัยแรง van der Waals ระหว่างหมู่ที่ไม่มีขั้วของสีย้อมและส่วน hydrophobic ของ CTAB โดยพีเอชของสารละลายสีย้อมหลังการดูดซับอยู่ในช่วง 6.86 - 8.05 ดังนั้นค่าพีเอชในช่วงพีเอช 2 – 8 จึงไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25 ด้วยตัวดูดซับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้สารละลายสีย้อมที่มีพีเอช 3 สำหรับการศึกษาคต่อไป

#### 4.3.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับสีย้อม

ทำการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับสีย้อมที่เหมาะสมสำหรับกำจัดสีย้อมโดยเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีย้อมของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวที่ระยะเวลาต่างกัน ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับสีย้อม คือ 30, 60, 180, 360 และ 960 นาที โดยใช้ตัวดูดซับที่เตรียมได้ 0.01 g ผสมกับสีย้อมปริมาตร 5 mL ที่ความเข้มข้น 400 ppm ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7

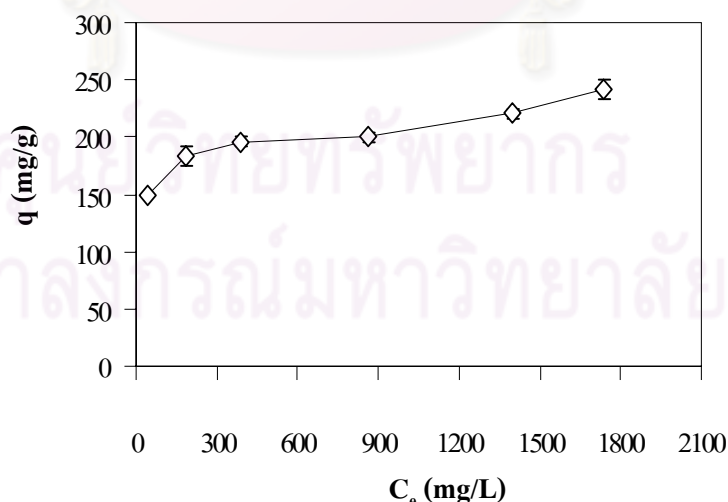


รูปที่ 4.7 ความสามารถในการกำจัดสีย้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

จากผลการทดลองพบว่าความสามารถในการกำจัดสีข้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวจะค่อยๆเพิ่มขึ้น ซึ่งในช่วงเริ่มต้นที่ทำการศึกษาที่ระยะเวลา 30 นาที ความสามารถในการกำจัดสีข้อมเอซิคบลู 25 นั้นสูงถึง 90.5% และไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเพิ่มเวลาสัมผัสเป็น 60 นาที หลังจากนั้นที่ระยะเวลา 180 ถึง 360 นาทีนั้นความสามารถในการกำจัดสีข้อมเอซิคบลู 25 มีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 92-93 % ในขณะที่การกำจัดเพิ่มเป็น 97 % ที่ระยะเวลา 960 นาที และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับในช่วงที่ศึกษามีผลต่อความสามารถในการกำจัดสีข้อมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและลดพลังงานในงานวิจัยนี้จึงใช้ระยะเวลาในการดูดซับ 60 นาที

#### 4.4 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

ทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสีข้อมของตัวดูดซับโดยทำการดูดซับสีข้อมที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกันและเลือกใช้ภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับจากข้อ 4.3 คือ ทำในระบบแบบที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  ที่พีเอชสารละลายเท่ากับ 3 และระยะเวลาสัมผัสของสารละลายและตัวดูดซับ 60 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ทำการศึกษาอยู่ในช่วง  $400 - 2300 \text{ mg/L}$  แยกส่วนที่เป็นสารละลายไปวัดหาความเข้มข้นสีข้อมที่เหลือด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี ได้ผลดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับสีข้อม ( $q$ ) กับความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับที่เวลา 60 นาที ( $C_e$ ) ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การดูดซับสีข้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวเมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ



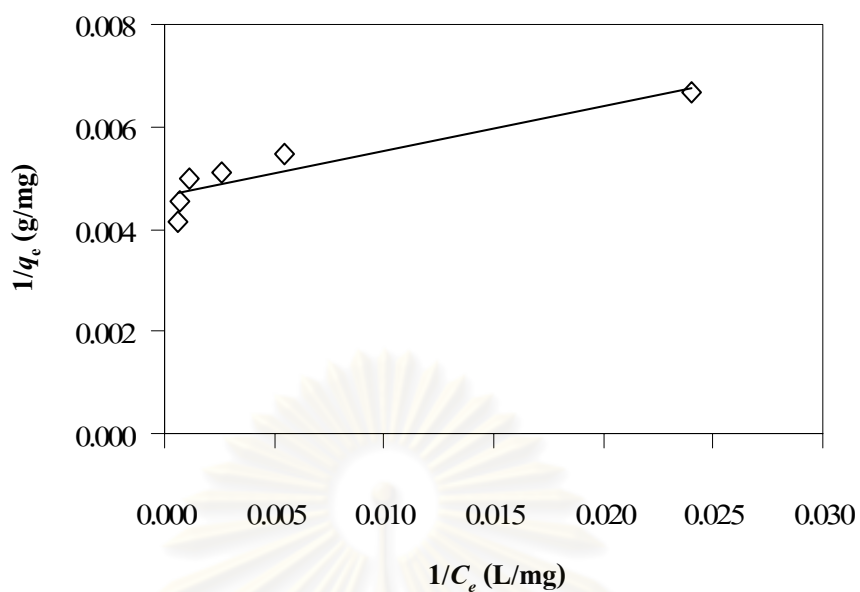
จากรูปที่ 4.8 พบว่าความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นและจากการทดลองสามารถนำผลมาคำนวณโดยใช้สมการเชิงเส้นเพื่ออธิบายพฤติกรรมของการดูดซับ โดยใช้สมการไอโซเทอมการดูดซับตามแบบจำลองของแลงเมียร์และแบบจำลองของฟรุนด์ลิช ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

$$\frac{1}{q_e} = \left( \frac{1}{C_e} \right) \left( \frac{1}{bq_m} \right) + \left( \frac{1}{q_m} \right) \quad (4.1)$$

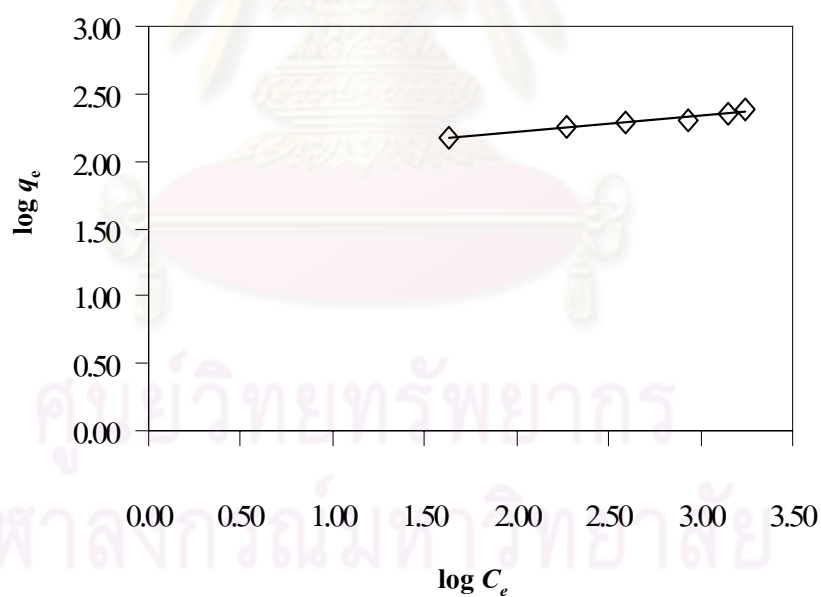
โดย  $C_e$  = ความเข้มข้นของสีย้อมที่ยังเหลืออยู่ในสารละลายหลังการดูดซับ 60 นาที มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)  
 $q_e$  = ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับหลังการดูดซับ 60 นาที มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g)  
 $q_m$  = ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับได้สูงสุดต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g)  
 $b$  = ค่าคงที่พลังงานของระบบ  
 สามารถคำนวณหาค่า  $q_m$  และค่า  $b$  ได้จากการสร้างกราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/q_e$  กับ  $1/C_e$  ดังรูปที่ 4.9

$$\log q_e = \log K_f + \left( \frac{1}{n} \right) \log C_e \quad (4.2)$$

โดย  $C_e$  = ความเข้มข้นของสีย้อมที่ยังเหลืออยู่ในสารละลายหลังการดูดซับ 60 นาที มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)  
 $q_e$  = ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับหลังการดูดซับ 60 นาที มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g)  
 $K_f$  = ค่าคงที่ซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับ  
 $n$  = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของระบบ  
 สามารถคำนวณหาค่า  $K_f$  และค่า  $n$  ได้จากการสร้างกราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log q_e$  กับ  $\log C_e$  ดังรูปที่ 4.10 ผลการคำนวณค่าคงที่ของแบบจำลองแลงเมียร์และฟรุนด์ลิช แสดงดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.9 การดูดซับสี่ข้อมเอชิตบตุ 25 ของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวตามแบบจำลองแลงเมียร์



รูปที่ 4.10 การดูดซับสี่ข้อมเอชิตบตุ 25 ของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวตามแบบจำลองฟรอนด์ลิช

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลจากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสีข้อมเอชิตบลู 25 ของกากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

Langmuir isotherm	สมการเส้นตรง	$r^2$	$q_m$ (mg/g)	$b$ (L/mg)
	$y = 0.0883 x + 0.0046$	0.8488	217.39	0.0521
Freundlich isotherm	สมการเส้นตรง	$r^2$	$n$	$K_f$
	$y = 0.1173 x + 1.9818$	0.9425	8.5251	95.8959

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีข้อมเอชิตของตัวดูดซับชนิดอื่นๆ

adsorbents	dye	maximum sorption capacity (mg/g) <sup>a</sup>	adsorption isotherm	Reference
surfactant modified sludge	acid blue 25	241.5 <sup>b</sup>	Freundlich isotherm	งานวิจัยนี้
sepiolite	acid red 57	$71.12 \times 10^3$	Langmuir isotherm	Alkan และคณะ (2004)
cationized starch-based material	acid blue 25	322	Langmuir isotherm	Renault และคณะ (2008)
activated carbon - sawdust - rice husk	acid yellow 36	183.8 86.9	Freundlich isotherm	Malik (2003)

<sup>a</sup> ความจุการดูดซับที่คำนวณจาก adsorption isotherm

<sup>b</sup> ความจุการดูดซับที่ได้จากการทดลองการดูดซับสีข้อมเอชิตบลู 25 ที่ความเข้มข้น 400 ppm

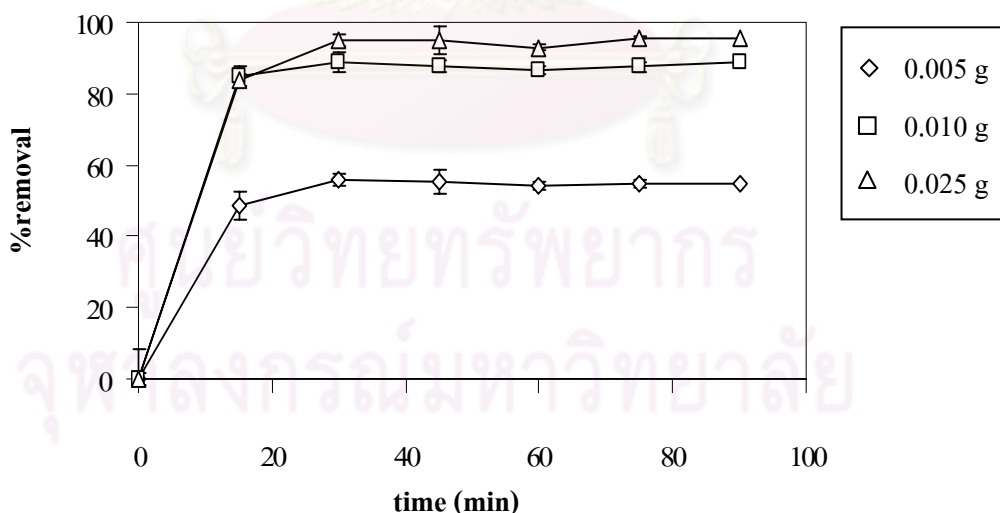
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 พบว่าการดูดซับมีแนวโน้มเป็นไปตามความสัมพันธ์การดูดซับแบบฟรุนด์ลิช มากกว่าที่จะเป็นแบบแลงเมียร์ เนื่องจากมีค่า  $r^2$  ที่สูงกว่าซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีข้อมเอซิคด้วยกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวกับตัวดูดซับจากงานวิจัยอื่นๆ (ตารางที่ 4.4) พบว่า ตัวดูดซับที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้มีความสามารถในการดูดซับเทียบเคียง ได้กับตัวดูดซับชนิดอื่นๆ

#### 4.5 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้และจลนศาสตร์การดูดซับ (adsorption kinetics)

##### 4.5.1 ผลของปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้

ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับสีข้อมเอซิคบลู 25 โดยทำการเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีข้อมของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวในช่วงเวลาต่างๆ โดยใช้ตัวดูดซับที่มีปริมาณต่างกัน น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ คือ 0.005, 0.010 และ 0.025 g ต่อปริมาตรของสารละลาย 5 mL หรือคิดเป็นความเข้มข้นของตัวดูดซับเท่ากับ 1, 2 และ 5 g/L และระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ คือ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 นาที โดยควบคุมความเข้มข้นเริ่มต้นของสีข้อมเอซิคบลู 25 อยู่ที่ 400 ppm (รูปที่ 4.11)



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมเอซิคบลู 25 โดยใช้ตัวดูดซับ 1, 2 และ 5 g/L ในช่วงระยะเวลา 15 - 90 นาที

จากรูปที่ 4.11 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดเมื่อเปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับที่ใช้กับระยะเวลาในการสัมผัส พบว่า เมื่อปริมาณของตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้นความสามารถในการกำจัดสีข้อมเอซิคบลู 25 ก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย และจะเห็นได้ว่าระยะเวลาที่ประสิทธิภาพการกำจัดเริ่มคงที่ของตัวดูดซับทั้งสามความเข้มข้นนั้นจะใกล้เคียงกันที่ระยะเวลา 30 นาที แต่เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับมากขึ้นความสามารถในการดูดซับหรือจำนวนมิลลิโมลของสีข้อมที่ถูกดูดซับต่อกรัมของตัวดูดซับจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะการเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับทำให้สัดส่วนของปริมาณของสีข้อมหรือความเข้มข้นของสีข้อมต่อปริมาณตัวดูดซับลดลง ซึ่งส่งผลให้สมดุลการดูดซับในสารละลายเปลี่ยนไปด้วย นอกจากนี้เมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับมากขึ้นการดูดซับเกิดได้ไม่เต็มพื้นผิวของตัวดูดซับทั้งหมดที่มี (unsaturation) เมื่อเทียบเป็นประสิทธิภาพการดูดซับต่อกรัมของตัวดูดซับ ค่าที่ได้จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมากขึ้น (Bulut และคณะ, 2007)

#### 4.5.2 จลนศาสตร์การดูดซับ (adsorption kinetics)

ศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับของสีข้อมเอซิคบลู 25 ด้วยกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว โดยใช้แบบจำลอง pseudo-first order และ pseudo-second order (Thinakaran และคณะ, 2008) เพื่ออธิบายกลไก และอัตราเร็วในการดูดซับ ซึ่งทำการศึกษาการดูดซับสารละลายสีข้อมเอซิคบลู 25 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นคงที่แต่เพิ่มปริมาณตัวดูดซับให้สูงขึ้น โดยใช้ระยะเวลาในการดูดซับอยู่ในช่วง 15 – 90 นาที แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณตามสมการของแบบจำลอง pseudo-first order และ pseudo-second order ดังสมการที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (4.3)$$

โดย  $q_e$  = ปริมาณของสีข้อมที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับเมื่อการดูดซับเริ่มคงที่ มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อกรัม (mmol/g)

$q_t$  = ปริมาณของสีข้อมที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่เวลาต่างๆ มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อกรัม (mmol/g)

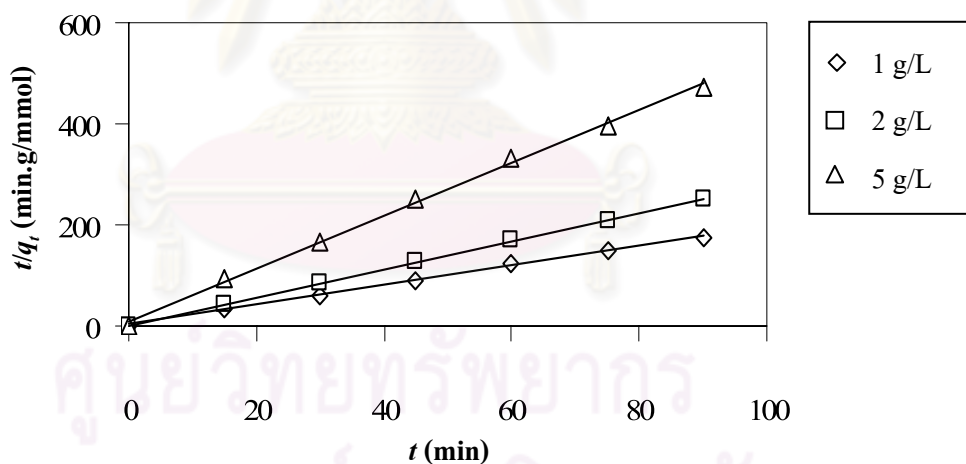
$t$  = ระยะเวลาในการดูดซับมีหน่วยเป็นนาที (min)

$k_1$  = ค่าคงที่อัตราการดูดซับแบบ pseudo-first order มีหน่วยเป็น 1 ต่อ นาที (1/min)

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4.4)$$

- โดย  $q_e$  = ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับเมื่อการดูดซับเริ่มคงที่มีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อกรัม (mmol/g)
- $q_t$  = ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับที่เวลาต่างๆ มีหน่วยเป็น มิลลิโมลต่อกรัม (mmol/g)
- $t$  = ระยะเวลาในการดูดซับ มีหน่วยเป็นนาที (min)
- $k_2$  = ค่าคงที่อัตราการดูดซับแบบ pseudo-second order มีหน่วยเป็น g/mmol.min

นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณตามแบบจำลองทั้งสองแบบ แต่เนื่องจากเมื่อนำค่าจากการทดลองที่ได้มาคำนวณตามสมการ pseudo-first order แล้วไม่สามารถ plot เป็นสมการเส้นตรงได้ เนื่องจากค่า  $q_e - q_t$  เมื่อนำมาใส่  $\log$  จะทำให้หาค่าไม่ได้ จึงแสดงได้เพียงกราฟเส้นตรงของผลการทดลองที่ใช้แบบจำลอง pseudo-second order เท่านั้น(รูปที่ 4.12) และค่าคงที่ของจลนศาสตร์ที่ได้จากการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.12 จลนศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-second order ของสีย้อมเอซิคบลู 25 ที่ถูกดูดซับด้วยกากตะกอนที่คัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว

ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่จลนศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-second order ที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรงของกราฟ

adsorbent dose (g/L)	$q_{e,exp}$ (mmol/g)	$k_2$ (g/mmol.min)	$q_{e,cal}$ (mmol/g)	$r^2$
1	0.50	1.3127	0.51	0.9971
2	0.36	2.9579	0.36	0.9995
5	0.18	2.7220	0.19	0.9980

$q_{e,exp}$  คือ ความสามารถในการดูดซับที่ได้จากการทดลอง

$q_{e,cal}$  คือ ความสามารถในการดูดซับที่ได้จากการคำนวณตามสมการแบบจำลอง pseudo-second order

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าสมมูลการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 เป็นไปตามจลนศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-second order ซึ่งดูได้จากค่า  $q_e$  ที่คำนวณได้จะพบว่ามีค่า  $q_e$  จากการทดลอง ( $q_{e,exp}$ ) มีค่าใกล้เคียงกันกับค่า  $q_e$  ที่ได้จากการคำนวณ ( $q_{e,cal}$ ) โดยใช้สมการ pseudo-second order ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดูดซับสีย้อมของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวน่าจะมีพฤติกรรมบางส่วนที่สอดคล้องกับสมมติฐานของการดูดซับที่เป็นไปตามแบบจำลองจลนศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-second order ดังนี้ (Ho และ McKay, 2000)

- พลังงานในการดูดซับของแต่ละโมเลกุลเท่ากันและไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณโมเลกุลที่ปกคลุมอยู่บนพื้นผิว
- เกิดการดูดซับเฉพาะที่ผิวของตัวดูดซับ และไม่มีการดูดซับ หรือเกิดพันธะระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยกัน
- อัตราเร็วในการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาเริ่มต้นของการดูดซับ และจะค่อยๆเกิดขึ้นอย่างช้าๆเมื่อเวลาผ่านไป

ค่า  $k_2$  ในตารางที่ 4.5 เป็นค่าคงที่ของจลนศาสตร์การดูดซับแบบ pseudo-second order ที่บอกถึงอัตราเร็วในการดูดซับซึ่งหาได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $t/q_t$  กับ  $t$  ถ้าในระบบสมมูลที่มีค่า  $k_2$  มากก็แสดงว่าอัตราเร็วในการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และเข้าสู่สมมูลการดูดซับได้เร็วกว่าสมมูลที่มีค่า  $k_2$  ที่มีค่าน้อย จากการทดลองเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับให้

สูงขึ้นในช่วงที่ทำการทดลอง พบว่าค่า  $k_2$  ของการดูดซับสี่ข้อมเอซิคบลู 25 มีค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าอัตราเร็วของการดูดซับก่อนเข้าสู่สมดุลในการดูดซับสี่ข้อมของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกันซึ่งตรงกับผลการทดลองในรูปที่ 4.11

#### 4.6 การศึกษาผลของไอออนรบกวน

ในน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมจะมีปริมาณของไอออนอื่นเป็นองค์ประกอบนอกเหนือจากสี่ข้อม ดังนั้นการนำกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวไปใช้ในการดูดซับสี่ข้อมจะต้องคำนึงถึงสิ่งเจือปนอื่นๆ ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการกำจัดสี่ข้อมของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว โดยในการทดลองนี้ได้ทำการเติม โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) ตามความเข้มข้น ที่ใช้ในกระบวนการย้อมไหมของโรงงานผลิตไหมแห่งหนึ่ง โดยเตรียมสารละลายสี่ข้อมเอซิคบลู 25 ความเข้มข้น 400 ppm ( $0.96 \times 10^{-3}$  mol/L) พีเอช 4-5 ที่มีความเข้มข้นของ NaCl 0.0342 mol/L และ  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  0.0061 mol/L ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซนต์การกำจัดสี่ข้อมเอซิคบลู 25 เมื่อมีเกลือต่างๆในสารละลาย

interfering ion	concentration (M)	%removal
Blank	-	88.43±0.13
NaCl	0.0342	99.57±0.04
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	0.0061	87.39±2.22

จากผลการทดลองพบว่าความสามารถในการกำจัดสี่ข้อมเอซิคบลู 25 ด้วยตัวดูดซับจากสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ตามความเข้มข้นที่ใช้ในกระบวนการย้อมไหมพรหมจะสูงขึ้นเมื่อเทียบกับสารละลายสี่ข้อมที่ไม่มีโซเดียมคลอไรด์ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากในสารละลายที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นสูง น้ำจะเข้าไปล้อมรอบโซเดียมคลอไรด์มากกว่าจะล้อมรอบโมเลกุลสี่ข้อม ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของสี่ข้อมลดลง (salting-out effect) ทำให้สี่ข้อมมีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับบนพื้นผิวดูดซับของแข็งได้มากขึ้น เมื่อพิจารณาการกำจัดสี่ข้อมจากสารละลายที่มีไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตตามความเข้มข้นที่ใช้ในกระบวนการย้อมไหมพรหมเทียบกับสารละลายสี่ข้อมที่ไม่มีไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตอยู่ พบว่าความสามารถในการกำจัดสี่ข้อมเอซิคบลู 25 ด้วยตัวดูดซับมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากในสารละลายสี่ข้อมมีได



โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของตัวดูดซับที่เตรียมได้ จากผลการทดลองพบว่ามีความเป็นไปได้สูงในการนำตัวดูดซับนี้ไปใช้กำจัดสีข้อมในน้ำเสียจริง

#### 4.7 ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมเอซิคบลู 25 ของตัวดูดซับที่เตรียมจากกากตะกอนต่างแหล่ง

ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับที่เตรียมจากกากตะกอนต่างแหล่ง ได้แก่ กากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำจตุจักร โรงควบคุมคุณภาพน้ำห้วยขวาง โรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี โรงบำบัดน้ำเสียนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และกากตะกอนจากโรงงานอาหารแช่แข็ง โดยนำกากตะกอนทั้งหมดมาเคลือบด้วย CTAB ตามภาวะที่เหมาะสม และนำมาศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้สีข้อมเอซิคบลู 25 ความเข้มข้น 400 ppm ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความสามารถในการดูดซับสีข้อมของตัวดูดซับที่เตรียมจากตะกอนต่างแหล่ง

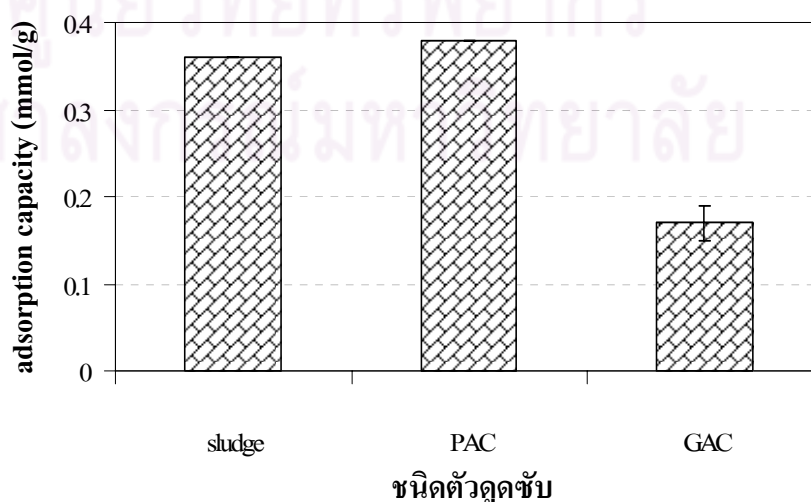
แหล่งที่มาของกากตะกอน	ความสามารถในการดูดซับสีข้อม (mmol AB 25/g sludge)	
	กากตะกอนที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว	กากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว
จตุจักร	0.03	0.34±0.01
ห้วยขวาง	0.03±0.01	0.35±0.01
ช่องนนทรี	0.02	0.35±0.01
นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง	0.04	0.34±0.01
โรงงานอาหารแช่แข็ง	0.01	0.26±0.01

จากตารางที่ 4.7 พบว่าตัวดูดซับที่เตรียมจากกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานคร ได้แก่ โรงควบคุมคุณภาพน้ำจตุจักร โรงควบคุมคุณภาพน้ำห้วยขวาง และโรงควบคุมคุณภาพน้ำช่องนนทรี มีค่าความสามารถในการดูดซับสีข้อมเอซิคบลู 25 ในช่วง

0.34 – 0.35 mmol/g ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตัวดูดซับที่เตรียมจากกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ขณะที่กากตะกอนจากโรงงานอาหารแช่แข็งที่นำมาดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวก็ให้ค่าความสามารถในการดูดซับที่ลดลงเล็กน้อย โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 0.26 mmol/g ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำทิ้งของกรุงเทพมหานครและกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังมีคุณสมบัติไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นเมื่อนำมาดัดแปรด้วย CTAB และมาใช้กำจัดสีข้อมจึงให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่กากตะกอนที่มาจากโรงงานอาหารแช่แข็งอาจมีองค์ประกอบทางเคมีและมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปจึงทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่เตรียมจากกากตะกอนเหล่านี้มีค่าที่ต่างกัน และองค์ประกอบของน้ำเสียแต่ละแหล่งนั้นมีความแตกต่างกัน เมื่อเข้าสู่กระบวนการบำบัดจึงใช้จุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายน้ำเสียไม่เหมือนกันส่งผลให้กากตะกอนที่ได้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองก็บ่งชี้ว่าตัวดูดซับที่เตรียมจากกากตะกอนชนิดต่างๆด้วยวิธีการเตรียมที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถดูดซับสีข้อมออกจากสารละลายได้ดีขึ้นมากเมื่อเทียบกับกากตะกอนที่ไม่ได้ทำการดัดแปรพื้นผิว

#### 4.8 ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวกับตัวดูดซับที่นิยมใช้

ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีข้อมเอซิคบลู 25 ของตัวดูดซับที่เตรียมจากกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว เปรียบเทียบกับตัวดูดซับที่นิยมใช้ ได้แก่ Granular Activated Charcoal (GAC) ขนาด 20-60 mesh หรือ 250-850  $\mu\text{m}$  และ Powder Activated Charcoal (PAC) ขนาด < 100  $\mu\text{m}$  ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ความสามารถในการดูดซับสีข้อมของตัวดูดซับที่เตรียมได้เทียบกับตัวดูดซับชนิดอื่น

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.13 พบว่ากากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวนั้นมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 ใกล้เคียงกับตัวดูดซับ PAC ซึ่งค่าความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 0.36 และ 0.38 mmol/g ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะขนาดของกากตะกอนและ PAC ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยกากตะกอนก่อนที่จะนำมาทำการตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวนั้นต้องทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 mesh ( $< 212 \mu\text{m}$ ) ส่วน PAC นั้นจะมีขนาด  $< 100 \mu\text{m}$  นอกจากนี้ PAC มักมีรูพรุนมากและพื้นที่ผิวสูงทำให้มีความจุในการดูดซับสูง ในขณะที่กากตะกอนที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาดใหญ่และมีพื้นที่ผิวดำกว่าโดยกากตะกอนที่ไม่ได้อบมีพื้นที่ผิวเท่ากับ  $6.31 \text{ m}^2/\text{g}$  (รูปนพวงสี่เหลี่ยม, 2550) แต่เมื่อปรับปรุงพื้นที่ผิวด้วย CTAB แล้วสามารถดูดซับสีย้อมได้ใกล้เคียงกับ PAC ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับปรุงพื้นที่ผิวนำเสนอสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับได้ดี แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับตัวดูดซับ GAC พบว่าความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับชนิดนี้ต่ำกว่ากากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวมากซึ่งค่าความสามารถในการดูดซับของ GAC มีค่าเท่ากับ  $0.17 \text{ mmol/g}$  ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก GAC มีขนาดอนุภาค  $250\text{-}850 \mu\text{m}$  ซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่ากากตะกอนที่นำมาใช้มาตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวจึงทำให้พื้นที่ผิวสำหรับดูดซับสีย้อมเอซิคบลู 25 มีน้อยกว่าตัวดูดซับอีกสองชนิดก่อนหน้านี้ และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถเป็นลำดับขั้นสามารถแสดงได้ดังนี้  $\text{PAC} > \text{กากตะกอนที่ตัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว} > \text{GAC}$

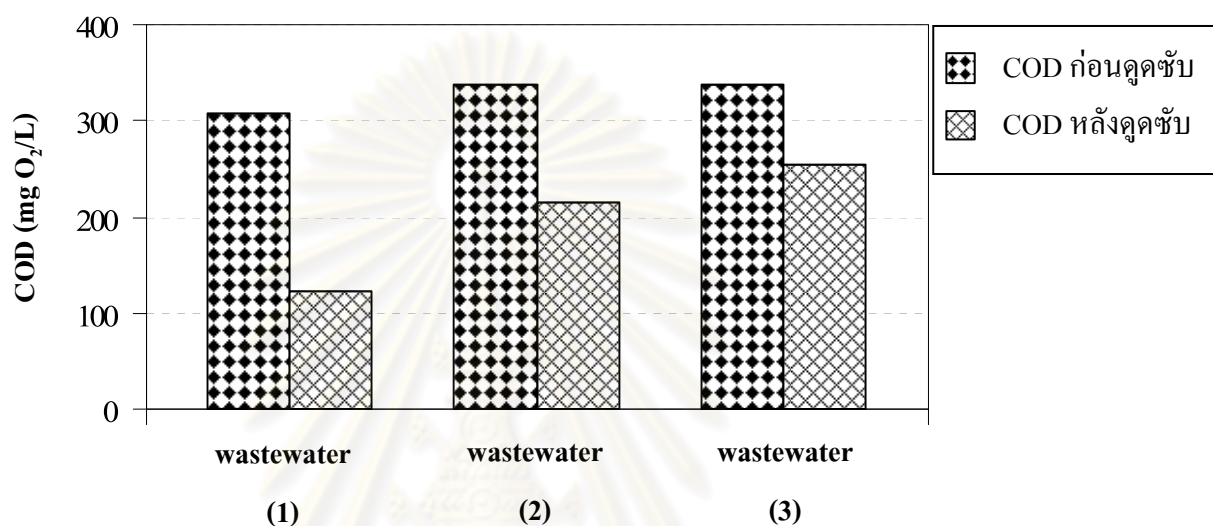
#### 4.9 ผลการศึกษาการประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจริง

น้ำเสียจริงที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำเสียที่มาจากโรงงานผลิตพรมแห่งหนึ่งซึ่งเป็นน้ำเสียที่ได้หลังจากกระบวนการย้อมไหมของพรม โดยลักษณะของน้ำเสียจะมีสีเข้มมาก และมีพีเอชอยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งแสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ลักษณะน้ำเสียที่ได้หลังจากการย้อมไหมของพรม

wastewater	สีของน้ำ	pH หลังย้อมไหม
wastewater (1)	สีเทาไม่เข้มมากนัก	6.33
wastewater (2)	สีแดงเข้ม	5.91
wastewater (3)	สีน้ำเงินเข้ม	6.41

เนื่องจากน้ำเสียจริงมีความเข้มข้นของน้ำเสียสูงมากซึ่งดูได้จากความเข้มของสี และเมื่อนำไปวิเคราะห์หา COD พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 30,720 - 33,792 mgO<sub>2</sub>/L จึงต้องทำการเจือจางน้ำเสียในอัตราส่วน 1:100 ก่อนที่จะทำการดูดซับสีข้อมออกจากน้ำเสียโดยใช้น้ำเสียปริมาตร 5 mL และน้ำหนักกากตะกอนเท่ากับ 0.01 g หรือคิดเป็นความเข้มข้นของกากตะกอน 2 g/L ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ความสามารถในการกำจัดสีข้อมออกจากน้ำเสียจริงด้วยตัวดูดซับที่เตรียมได้

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.14 พบว่าค่า COD ของน้ำเสียที่ถูกเจือจางมีค่าอยู่ในช่วง 300-350 mg O<sub>2</sub>/L และเมื่อทำการดูดซับด้วยตัวดูดซับที่เตรียมได้พบค่า COD ของน้ำเสียมีค่าลดลงจากความเข้มข้นในตอนเริ่มต้น โดยน้ำเสียแต่ละชุดมีค่า COD หลังจากการดูดซับดังนี้ wastewater (1) มีค่า COD เท่ากับ 122.88 mg O<sub>2</sub>/L, wastewater (2) มีค่า COD เท่ากับ 215.04 mg O<sub>2</sub>/L, wastewater (3) มีค่า COD เท่ากับ 254.76 mg O<sub>2</sub>/L ซึ่งความสามารถในการดูดซับสีข้อมออกจากน้ำเสียแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับชนิดของสีข้อมเอซิดที่มีอยู่ในน้ำทิ้งที่นำมาใช้ในการทดลองโดย wastewater (1) เป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการล้างไหมหลังจากย้อมสีไปแล้ว 1 รอบจึงทำให้น้ำทิ้งตัวอย่างนี้มีปริมาณสีข้อมน้อยกว่า ส่วน wastewater (2) และ(3) เป็นน้ำทิ้งหลังจากการย้อมจึงทำให้มีปริมาณสีข้อมที่เหลือมากโดยสีของน้ำทิ้งมีลักษณะแสดงดังตารางที่ 4.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณของสีและชนิดของสีข้อมที่แตกต่างกัน โดย wastewater (2) เป็นน้ำทิ้งที่มีสีเอซิดเรดเป็นองค์ประกอบหลัก ขณะที่ wastewater (3) มีสีเอซิดบลูเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งผลการทดลองบ่งชี้ว่าชนิดของสีข้อมที่มีอยู่ในน้ำจะส่งผลโดยตรงกับความสามารถในการกำจัดสีข้อมออกจากน้ำทิ้ง

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สัดส่วนของกากตะกอนให้เหมาะสมกับชนิดของน้ำเสียเพื่อทำให้การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงควรคำนึงถึงชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่จะนำมาใช้ในการตัดแปรพื้นผิวของกากตะกอน และชนิดของสีย้อมที่มีอยู่ในน้ำทิ้งเนื่องจากสีย้อมเอซิดแต่ละชนิดนั้นมีลักษณะโครงสร้างที่ต่างกันจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำทิ้งแตกต่างกันด้วย



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิธีการเตรียมตัวคูดซับจากกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว โดยทำการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกากตะกอน แล้วนำไปกำจัดสีข้อมเอชิตบลู 25 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมกากตะกอนใช้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 600 ppm สำหรับการดัดแปรกากตะกอนเข้มข้น 2 g ต่อสารละลาย 1 L ใช้ระยะเวลาในการผสม 120 นาที ซึ่งหลังจากทำการดัดแปรกากตะกอนด้วยสารลดแรงตึงผิวพบว่ามีประสิทธิภาพในการคูดซับสีข้อมเอชิตบลู 25 สูงขึ้นเมื่อเทียบกับกากตะกอนที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว เมื่อวิเคราะห์ค่า zeta potential พบว่ากากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวมีค่าประจุลบบนพื้นผิวที่ไม่ได้แตกต่างจากเดิม และค่าที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงกว้าง นอกจากนี้ยังพบว่ากากตะกอนที่ทำการดัดแปรมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกากตะกอนที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวซึ่งแสดงให้เห็นว่ากากตะกอนนั้นได้ถูกดัดแปรได้ด้วยสารลดแรงตึงผิวจริง

การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีข้อมเอชิตบลู 25 ของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวพบว่า

1. พีเอชเริ่มต้นของสารละลายสีข้อมที่เหมาะสมในการคูดซับพบว่าในช่วงพีเอช 2-8 ความสามารถในการคูดซับสีข้อมเอชิตบลู 25 ของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพในการกำจัดอยู่ในช่วง 92–99 %
2. ระยะเวลาที่ใช้ในการคูดซับอยู่ที่ 60 นาทีซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสม
3. เมื่อเพิ่มปริมาณตัวคูดซับจาก 1 g/L เป็น 5 g/L โดยให้ความเข้มข้นของสารละลายเท่าเดิม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวคูดซับจะทำให้ประสิทธิภาพในการคูดซับสูงขึ้นด้วย และเข้าสู่สมดุลที่ระยะเวลาใกล้เคียงกัน และเมื่อนำไปคำนวณจลนศาสตร์การคูดซับพบว่าจลนศาสตร์การคูดซับสีข้อมเอชิตบลู 25 เป็นไปตามความสัมพันธ์การคูดซับแบบ pseudo-second order
4. เมื่อเติมไอออนที่ใช้ในกระบวนการข้อมใหม่ซึ่งได้แก่ NaCl และ  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  ลงไปในสารละลายสีข้อมเอชิตบลู 25 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมที่มี NaCl มี

ความสามารถในการกำจัดสีข้อมที่สูงขึ้น ในขณะที่เมื่อเติม  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  ลงไปพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมเอซิคบลู 25 เท่าเดิม

ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และฟรุนด์ลิช พบว่าการดูดซับสีข้อมเอซิคบลู 25 สามารถอธิบายได้ด้วยสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนต่างแหล่งที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวพบว่าเมื่อเตรียมตัวดูดซับด้วยกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานครสามแห่ง กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และกากตะกอนจากโรงงานอาหารแช่แข็งโดยการดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว พบว่าประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่เตรียมจากกากตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานครสามแห่งและกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ใกล้เคียงกัน ขณะที่กากตะกอนจากโรงงานอาหารแช่แข็งมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่น้อยกว่าเล็กน้อยทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนที่ไม่เหมือนกันของกากตะกอน

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมเอซิคบลู 25 ของกากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวกับตัวดูดซับที่นิยมใช้พบว่ากากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมเอซิคบลู 25 ที่ใกล้เคียงกันกับ PAC และมากกว่า GAC และผลการศึกษาเกี่ยวกับน้ำเสียจริงพบว่ากากตะกอนที่ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิวนั้นมีความสามารถในการกำจัดสีข้อมออกจากน้ำเสียได้โดยน้ำเสียหลังการดูดซับมีค่า COD ลดลง

#### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับในหลายๆช่วงอุณหภูมิ
2. ควรทำการศึกษาสัดส่วนของกากตะกอนและสารลดแรงตึงผิวเพื่อใช้ในการกำจัดสีข้อมเอซิคในอุตสาหกรรมต่อไป

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กานดา สุชนกุลพานิช, ชูชัย ลืออุทัย และพิศุทธิ อนุรัตน์. 2545. การดูดซับฟีนอลในน้ำเสียโดยใช้  
เถ้าแกลบดำ. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กลุ่มอุตสาหกรรม 2. 2544. สถานการณ์อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มปี 2543และแนวโน้ม.  
กรุงเทพมหานคร: สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม.
- ขนิษฐา ชัยรัตนาวรรณ. 2549. ประเภทของสีย้อม [ออนไลน์]. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริม  
เทคโนโลยี. แหล่งที่มา: <http://www.tpa.or.th>[4 พฤศจิกายน 2550]
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กองจัดการคุณภาพน้ำ. 2545. น้ำเสียชุมชนและสิ่งแวดล้อม.  
กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ครุสภาลาดพร้าว.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กองจัดการคุณภาพน้ำ. 2545. น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย.  
กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ครุสภาลาดพร้าว.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ. 2548. แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษ  
อุตสาหกรรมฟอกย้อม. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวง  
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. 2546. การจัดการกากตะกอนน้ำเสียชุมชน. กรุงเทพมหานคร : กรมควบคุม  
มลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- จิรสา กรงกรด. 2548. สารลดแรงตึงผิว [ออนไลน์]. กรุงเทพฯ: กรมวิทยาศาสตร์บริการ. แหล่งที่มา:  
[http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp\\_7\\_2548\\_surfactant.pdf](http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_7_2548_surfactant.pdf)[4  
2550]
- ฐาปนพงศ์ พึ่งประสพ. 2550. การเตรียม และใช้กากตะกอนเคลือบด้วยเหล็กออกไซด์สำหรับกำจัด  
โลหะออกจากน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดร.ฉวี มั่นทวีทยา. 2537. การแพร่กระจายของแอลเอเอสในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- เพ็ญลักษณ์ เทศสุวรรณ. 2547. ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



- มณฑา จันทร์เกิดเล็ก. 2541. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: หอรัตนชัยการพิมพ์.
- ยุพา ตันทวี. 2547. การควบคุมมลพิษทางน้ำ. 1. กรุงเทพมหานคร: โครงการตำราเรียนภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รัชনী รุกษชาติ. 2549. สีย้อมและการบำบัดน้ำทิ้ง [ออนไลน์]. กรุงเทพฯ: กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ. แหล่งที่มา: [http://www.navy.mi.th/science/BrithDay46/Brithday\\_data/biology.htm](http://www.navy.mi.th/science/BrithDay46/Brithday_data/biology.htm) [6 พฤศจิกายน 2550]
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2542. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานฟอกย้อม. กรุงเทพมหานคร : กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- วิชาภา ภูจินดา. 2549. สารเคมีภัณฑ์ [ออนไลน์]. กรุงเทพฯ: สำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย. แหล่งที่มา: [www.chemtract.org](http://www.chemtract.org) [20 พฤศจิกายน 2550]
- วิไล พันธุ์งาญ. 2548. การใช้ประโยชน์เถ้าลอยและกากตะกอนน้ำเสียชุมชน เป็นแหล่งธาตุปุ๋ยในการปลูกข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักจัดการคุณภาพน้ำ. 2548. การจัดการคุณภาพน้ำ[ออนไลน์]. กรุงเทพมหานคร. : สำนักจัดการคุณภาพน้ำกรุงเทพมหานคร.แหล่งที่มา:<http://dds.bma.go.th/wqm/Thai/home.html> [30 มกราคม 2552]

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาษาอังกฤษ

- Alkan, M., Demirbas, Ö., Çelikkaya, S., and Dogan, M.. 2004. Sorption of acid red 57 from aqueous solution onto sepiolite. Journal of Hazardous Materials. B116 : 135–145.
- Bingol, A., Uzun, H., Bayhan, Y.K., Karagunduz, A., Cakici, A., and Keskinler, B. 2004. Removal of chromate anions from aqueous stream by a cationic surfactant-modified yeast. Bioresource Technology 94: 245-249.
- Bulut, Y., Gozubenli, N., and Aydin, H. 2007. Equilibrium and kinetics studies for adsorption of direct blue 71 from aqueous solution by wheat shells. Journal of Hazardous Materials. 144: 300-305.
- Clint, J.H. 1992. Surfactant aggregation. 1. New York: Chapman and hall.
- Eckfelder, W. W. 1981. Application of adsorption to wastewater treatment. Tennessee: Enviro Press.
- Fan, X., and Zhang, X. 2008. Adsorption properties of activated carbon from sewage sludge to alkaline-black. Materials Letters 62: 1704-1706.
- Hameed, B.H., Ahmad, A.A., and Aziz, N. 2007. Isotherm, kinetics and thermodynamics of acid dye adsorption on activated palm ash. Chemical Engineering Journal 133: 195-203.
- Herinrich, Z. 2003. Color chemistry syntheses, properties, and applications of organic dyes and pigments. 3. Germany: Konrad Tritsch, print und Digitale Medien,
- HO, Y., S., and MCKAY, G. 2000. The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. Water Research 34 : 735-742.
- Jain, A.K., Gupta, V.K., Bhatnagar, A., and Suhas. 2003. Utilization of industrial waste products as adsorbents for the removal of dyes. Journal of Hazardous Materials B101: 31-42.
- Malik, P.K. 2003. Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dye: a case study of Acid Yellow 36. Dyes and Pigments 56: 239-249.
- Martin, M.J., Artola, A., Balaguer, M.D., and Rigola, M. 2003. Activated carbon developed from surplus sewage sludge for the removal of dyes from dilute aqueous solutions. Chemical Engineering Journal 94: 231-239.
- Mohamed, M.M. (2004). Acid dye removal: comparison of surfactant-modified mesoporous FSM-16 with activated carbon derived from rice husk. Journal of Colloid and Interface Science 272: 28-34.

- Özcan, A.S., Erdem, B., and Özcan, A. 2005. Adsorption of acid blue 193 from aqueous solutions onto BTMA-bentonite. Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects 226: 73-81.
- Renault, F., Morin-Crini, N., Gimbert, F., Badot, P., and Crini, G. 2008. Cationized starch-based material as a new ion-exchanger adsorbent for the removal of C.I. Acid Blue 25 from aqueous solutions. Bioresource Technology. 99 : 7573–7586.
- Thinakaran, N., Panneerselvam, P., Baskaralingam, P., Elango, N., and Sivanesan, S. 2008. Equilibrium and kinetic studies on the removal of Acid Red 114 from aqueous solutions using activated carbons prepared from seed shells. Journal of Hazardous Materials. 158 : 142-150.
- Wang, X., Zhu, N., and Yin, B. (2008). Preparation of sludge-based activated carbon and its application in dye wastewater treatment. Journal of Hazardous Materials 153 : 22-27.
- Zhang, F., Nriagu, J.O., and Itoh, H. 2005. Mercury removal from water using activated carbons derived from organic sewage sludge. Water Research. 39(2-3): 389-395.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสกุลรัตน์ รัตนายน เกิดเมื่อวันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ.2526 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีพ.ศ.2548 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2549



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย