

การกำจัดซีโอดี และ สีของน้ำกากส่าโดยการตกตะกอนด้วยสารส้มกับ โพลีเมอร์ และ ถ่านกัมมันต์



นาย เพิ่มศักดิ์ กาญจนบุตร

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COD REMOVAL AND DECOLORIZATION OF DISTILLERY SLOP
BY ALUM WITH POLYMER AND ACTIVATED CARBON



Mr.Permsak Kanjanaboot

สถาบันวิทยบริการ
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

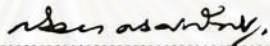
Chulalongkorn University


Academic Year 2007


Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำจัดซีโอดี และ สีของน้ำจากสำโดยการตกตะกอนด้วยสารส้มกับ
โพลีเมอร์ และ ถ่านกัมมันต์
โดย นายเพิ่มศักดิ์ กาญจนบุตร
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว. กัลยา ดิงศภทิพย์)
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


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


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทรายงษ์ วิทิตสานต์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริมา ปัญญาเมธีกุล)

เพิ่มศักดิ์ กาญจนบุตร : การกำจัดซีโอดี และ สีของน้ำกากสำโดยการตกตะกอนด้วย สารส้มกับโพลีเมอร์ และ ถ่านกัมมันต์ (COD REMOVAL AND DECOLORIZATION OF DISTILLERY SLOP BY ALUM WITH POLYMER AND ACTIVATED CARBON) อ. ที่ปรึกษา: รศ.ดร. ชเรศ ศรีสถิตย์, 129 หน้า

น้ำกากสำเป็นน้ำเสียที่ได้จากโรงงานผลิตสุราและ เอธิลแอลกอฮอล์ มีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ มีฤทธิ์เป็นกรด และมีความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์สูง ดังนั้นการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการลด ซีโอดีของน้ำกากสำ โดยใช้สารส้มร่วมกับสารโพลีเมอร์ช่วยในการตกตะกอน และศึกษาประสิทธิภาพในการลดสีของน้ำกากสำโดยใช้การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ในขั้นตอนการตกตะกอนพบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนน้ำกากสำคือ 84 กรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และใช้สารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบปริมาณ 1.2 กรัมต่อลิตรโดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 32.23 และกำจัดสีร้อยละ 56.12

จากนั้นใช้สารส้มร่วมกับสาร โพลีเมอร์ในการตกตะกอนน้ำกากสำและใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าร้อยละ 58.11 และประสิทธิภาพการกำจัดสีมีค่าร้อยละ 83.45

จากการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับผิว สามารถอธิบายได้ด้วยไอโซเทอมแบบแลงมัวร์พบว่า มีค่า $R^2 = 0.9972$ ค่า $1/X_m$ เท่ากับ -0.0025 แพลทคินัม-โคบอลต์ต่อกรัมถ่านกัมมันต์ และ $1/bX_m$ เท่ากับ 0.3143

การทดลองแบบต่อเนื่องโดยบรรจุถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ลงในถังดูดซับผิวแบบแท่ง ทำการป้อนน้ำกากสำที่ผ่านการกำจัดค่าซีโอดีจากขั้นตอนการตกตะกอนด้วยสารส้มลงไปในถังดูดซับผิวแบบแท่งโดยปล่อยให้ไหลลงแบบต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล 0.498 ลิตรต่อชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำกากสำที่ระดับความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ที่ 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร พบว่า สามารถกำจัดสีน้ำกากสำได้ 13.94 19.92 29.88 และ 37.85 ลิตร ตามลำดับ ถึงหมดสภาพการใช้งาน

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต.....*ทิพย์ อำนวย*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*ชเรศ ศรีสถิตย์*.....

4889114520: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: COD/DISTILLERY SLOP/ALUM/COAGULATION/ACTIVATED CARBON

PERMSAK KANJANABOOT: COD REMOVAL AND DECOLORIZATION OF

DISTILLERY SLOP BY ALUM WITH POLYMER AND ACTIVATED CARBON. THESIS

ADVISOR: ASSOC.PROF.THARES SRISATIT, Ph.D,129 pp.

Distillery slop is waste water from liquor and ethylalcohol factory. It contains brown or black molasses which composed of acid and high concentration of organic substances. The objective of this research is to study efficiency of COD removal from distillery slop using alum with polymer and decolorization by activated carbon.

It found that the most suitable quantity of alum in the process for precipitation of distillery slop is 84 grams per liter at pH 10 and using negative polymer is 1.2 grams per liter, that give the efficiency of COD removal from distillery slop at 32.23% and decolorization at 56.12%.

After using the optimum dose of alum with negative polymer in the process for precipitation of distillery slop and using activated carbon adsorption, the efficiency of COD removal is 58.11% and decolorization is 83.45%

From testing in term of color adsorption can explain by Langmuir isotherm that $R^2 = 0.9972$, $1/X_m = -0.0025$ platinum-cobalt per grams activated carbon and $1/bX_m = 0.3143$.

The continual testing using Filtrasorb 300 activated carbon in column test and put distillery slop which passed COD removal from precipitation by the optimum dose of alum and negative polymer into column with flow rate at 0.498 liter per hour. At the depth of activated carbon 30 60 90 and 120 centimeters, the decolorization of distillery slop bed volume is 13.94 19.92 29.88 and 37.85 liter at breakthrough point.

Field of study Environmental Science

Academic year 2007

Student's signature

Advisor's signature




กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ดังนั้นจึงขอแสดงความขอบคุณทุกท่าน ดังมีรายนามต่อไปนี้

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยดูแลเอาใจใส่ลูกศิษย์ตลอดมา อีกทั้งยังเป็นผู้ที่ให้ความรู้ ให้ข้อคิดต่างๆ เช่น การดำเนินชีวิต การวางแผนการทำวิทยานิพนธ์ คอยชี้แนะ และแก้ไขในสิ่งที่บกพร่องที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ อันทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์ ที่เป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ธารพงษ์ วิทิตสานต์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล ที่เป็นกรรมการ และ ให้คำชี้แนะ ปรึกษา และช่วยแก้ไข จนวิทยานิพนธ์สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท Water doctor Co.,Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างสารช่วยตกตะกอนมาใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ หลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม ที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้ใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อทำการทดลอง และ ได้ศึกษาในระดับมหาบัณฑิต

ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการขยะมูลฝอย ณ หน่วยวิจัยการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนเพื่อใช้ในการวิจัยนี้

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบคุณพี่น้องในครอบครัวทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจในการศึกษาเล่าเรียนเสมอมา อีกทั้งเพื่อนๆ และน้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้ อันเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 น้ำกากสำ.....	4
2.1.1 กรรมวิธีการผลิตสุรา.....	4
2.1.2 ประเภทน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา.....	7
2.1.3 ลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา.....	7
2.1.4 ลักษณะของน้ำกากสำ.....	8
2.1.5 การใช้ประโยชน์จากน้ำกากสำในปัจจุบัน.....	10
2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี.....	12
2.3 กระบวนการตกตะกอนทางเคมีหรือโคแอกกูเลชัน.....	12
2.3.1 พฤติกรรมของคอลลอยด์.....	13
2.3.2 การเลือกใช้สารสร้างตะกอน.....	23
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน.....	26
2.3.4 การควบคุมกระบวนการตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์.....	27
2.4 ความต้องการออกซิเจนทางเคมี.....	27
2.5 การวัดสีน้ำกากสำ.....	29
2.6 การดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์.....	30
2.6.1 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์.....	31
2.6.2 สมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์.....	33

	หน้า
2.7 กระบวนการดูดติดผิว.....	35
2.7.1 กลไกการดูดติดผิว.....	35
2.7.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล.....	36
2.7.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว.....	38
2.7.4 ไอโซเทอมการดูดติดผิว.....	39
2.8 ถังดูดติดผิวแบบแห้ง.....	43
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	45
บทที่ 3 แผนการทดลองและดำเนินการวิจัย	49
3.1 แผนการทดลอง.....	49
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	51
3.2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำกากส่า.....	51
3.2.2 การศึกษาการตกตะกอนโดยการทำจาร์เทสต์โดยใช้สารส้มเป็น สารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน.....	51
3.2.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ชนิด F 300.....	60
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	69
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	71
4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำกากส่า.....	71
4.2 ผลการตกตะกอนโดยการทำจาร์เทสต์ โดยใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอน และใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน.....	72
4.2.1 ผลการหาปริมาณสารส้มเบื้องต้นเพื่อใช้ในการตกตะกอน น้ำกากส่า.....	72
4.2.2 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสม.....	73
4.2.3 ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน น้ำกากส่า.....	74
4.2.4 ผลการหาปริมาณสารช่วยตกตะกอน (Polymer) ร่วมกับ สารสร้างตะกอนที่เหมาะสม.....	76
4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ Filtrasorb300.....	79
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น และ ค่าซีไอดีของน้ำกากส่าที่เตรียม จากขั้นตอน 4.2.....	79
4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของ พีเอช ต่อการดูดติดผิว.....	81
4.3.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิว.....	83

4.3.4	ผลการทดสอบไอโซโทมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์.....	86
4.3.5	ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำากาสำด้วยถ่านกัมมันต์ ชนิด F300 โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง.....	89
4.3.6	ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด สีโอดี และ สีของน้ำากาสำ โดยการตกตะกอนด้วยสารส้มกับ โพลีเมอร์และถ่านกัมมันต์.....	92
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....		94
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	94
5.1.1	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนน้ำากาสำ โดยใช้สารส้มกับสาร โพลีเมอร์เพื่อลดค่าสีโอดี.....	94
5.1.2	ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวสีน้ำากาสำโดยใช้ ถ่านกัมมันต์.....	94
5.1.3	ผลการทดสอบไอโซโทม.....	95
5.1.4	ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำากาสำของ ถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ในถังดูดติดผิวแบบแท่ง.....	95
5.1.5	ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด สีโอดี และ สีของน้ำากาสำ โดยการตกตะกอนด้วยสารส้มกับ โพลีเมอร์และดูดติดผิว ด้วยถ่านกัมมันต์.....	95
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	96
รายการอ้างอิง.....		97
ภาคผนวก.....		101
ภาคผนวก ก	วิธีการวัดสีของน้ำในหน่วยแพลทตินัมโคบอลต์.....	102
ภาคผนวก ข	วิธีวิเคราะห์สีโอดี โดยวิธีรีฟลักซ์ปิด แบบไตเตรชัน.....	106
ภาคผนวก ค	ผลการตกตะกอนโดยการทำการทดสอบ โดยใช้สารส้ม เป็นสาร สร้างตะกอนและใช้สาร โพลีเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน.....	110
ภาคผนวก ง	ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300	
ภาคผนวก จ	การคำนวณระยะเวลาเก็บกักของคอลัมน์.....	121
ภาคผนวก ฉ	ผลการทดสอบไอโซโทมแบบฟรุนดลิชและแลงมัวร์.....	123
ภาคผนวก ช	ผลการกำจัดสีน้ำากาสำของถ่านกัมมันต์ F300 โดยการ ทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง.....	125
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....		129

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	คุณภาพและปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสุรา..... 7
ตารางที่ 2.2	ลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุราในประเทศไทย..... 9
ตารางที่ 2.3	องค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ทำให้แห้งแล้ว..... 10
ตารางที่ 2.4	คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ในท้องตลาด..... 34
ตารางที่ 3.1	วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำกากส่า..... 51
ตารางที่ 4.1	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำกากส่าที่ได้จาก กระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์ในครั้งที่ 1 และ 2 รวมกัน..... 71
ตารางที่ 4.2	ผลการหาปริมาณสารส้มเบื้องต้นเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากส่า..... 72
ตารางที่ 4.3	ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำกากส่า..... 73
ตารางที่ 4.4	ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม..... 75
ตารางที่ 4.5	ชนิดของโพลีเมอร์ที่เหมาะสม..... 77
ตารางที่ 4.6	ปริมาณสารโพลีเมอร์ที่เหมาะสม..... 78
ตารางที่ 4.7	ผลการวิเคราะห์ค่าความขุ่นสีและค่าซีไอดี ก่อนและหลังการตกตะกอน ด้วยสารส้มและโพลีเมอร์..... 80
ตารางที่ 4.8	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่าที่พีเอชต่าง ๆ..... 81
ตารางที่ 4.9	ประสิทธิภาพการกำจัด ซีไอดี ของน้ำกากส่าที่พีเอชต่างๆ..... 82
ตารางที่ 4.10	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่าที่เวลาสัมผัสต่างๆ..... 84
ตารางที่ 4.11	ประสิทธิภาพการกำจัด ซีไอดี ของน้ำกากส่าที่เวลาสัมผัสต่างๆ..... 85
ตารางที่ 4.12	การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรอนคลิชและแลงมัวร์ของถ่านกัมมันต์ filtrisorb 300..... 87
ตารางที่ 4.13	ค่าคงที่ของไอโซเทอมแบบฟรอนคลิชและแลงมัวร์..... 88
ตารางที่ 4.14	ปริมาตรและน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ F300 ที่ระดับความลึกต่างๆ..... 89
ตารางที่ 4.15	ประสิทธิภาพการใช้งานของถังดูดติดผิวแบบแท่งที่บรรจุถ่านกัมมันต์ Filtrisorb 300 ณ จุดยุติ ที่ระดับความลึก 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร อัตราการไหล 0.498 ลิตรต่อชั่วโมง..... 91
ตารางที่ 4.16	ประสิทธิภาพการกำจัด ซีไอดี และ สีของน้ำกากส่าที่ผ่าน กระบวนการทั้งหมด..... 92

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	กรรมวิธีการผลิตสุรากลั่นจากกากน้ำตาล..... 6
รูปที่ 2.2	โมเดลที่ใช้อธิบาย Electrical Double Layer Theory..... 16
รูปที่ 2.3	แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ..... 17
รูปที่ 2.4	ผลของการเติมอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์..... 18
รูปที่ 2.5	การเปรียบเทียบปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้ในการทำลาย เสถียรภาพของคอลลอยด์ ด้วยกลไกแบบต่างๆ 19
รูปที่ 2.6	กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยโพลิเมอร์..... 22
รูปที่ 2.7	(ก) Al^{3+} รวมตัวกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นอนุภาคใหญ่ (ข) $Al(OH)_3$ รวมกับอนุภาคที่มีประจุบวกเกิดเป็นตะกอนใหญ่..... 24
รูปที่ 2.8	โครงสร้างของกราฟไฟท์..... 31
รูปที่ 2.9	โครงสร้างของถ่านกัมมันต์..... 32
รูปที่ 2.10	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์..... 37
รูปที่ 2.11	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบ แลงมัวร์..... 41
รูปที่ 2.12	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบ BET..... 42
รูปที่ 2.13	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนคลิช..... 43
รูปที่ 2.14	ระบบดูดติดผิวแบบไหลต่อเนื่อง..... 44
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนดำเนินการวิจัย..... 50
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการหาปริมาณสารสัมเบื้องต้นเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากสำ..... 52
รูปที่ 3.3	ขั้นตอนการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากสำ..... 54
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนการหาปริมาณสารสัมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการตกตะกอน น้ำกากสำ..... 56
รูปที่ 3.5	ขั้นตอนการหาชนิดของสาร โพลิเมอร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ใน การตกตะกอนน้ำกากสำ..... 58
รูปที่ 3.6	ขั้นตอนการหาปริมาณของสาร โพลิเมอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ใน การตกตะกอนน้ำกากสำ..... 59
รูปที่ 3.7	ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของพีเอชต่อการดูดติดผิว..... 61
รูปที่ 3.8	ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิว..... 63
รูปที่ 3.9	ขั้นตอนการทดสอบ ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์..... 65

รูปที่ 3.10	ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกาฬสาด้วย ถ่านกัมมันต์ โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในถังคูตติผิวแบบแบ่ง.....	67
รูปที่ 3.11	การทำงานของระบบในถังคูตติผิวแบบแบ่ง.....	68
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและค่าพีเอชหลังการตกตะกอน กับร้อยละการกำจัดซีโอดี.....	74
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มกับร้อยละการกำจัดซีโอดี และค่าพีเอชหลังการตกตะกอน.....	75
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารโพลีเมอร์ประจุลบกับร้อยละ การกำจัดซีโอดีและค่าพีเอชหลังการตกตะกอน.....	78
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละการกำจัดสีและ ค่าพีเอชหลังการตกตะกอน.....	82
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละการกำจัดซีโอดีและ ค่าพีเอชหลังการตกตะกอน.....	83
รูปที่ 4.6	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกาฬสาที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	84
รูปที่ 4.7	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีน้ำกาฬสาที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	85
รูปที่ 4.8	การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนคลิชและแลงมัวร์ ของถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300.....	88
รูปที่ 4.9	ความเข้มข้นน้ำกาฬสาที่ผ่านถังคูตติผิวแบบแบ่งบรรจุถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ที่ระดับความลึก 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร อัตราการไหล 0.498 ลิตรต่อชั่วโมง.....	90
รูปที่ 4.10	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกาฬสาที่ผ่านถังคูตติผิวแบบแบ่ง บรรจุถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ที่ระดับความลึก 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร อัตราการไหล 0.498 ลิตรต่อชั่วโมง.....	91

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการผลิตสุรากลั่นที่ใช้กากน้ำตาล (molasses) เป็นวัตถุดิบ ก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกในรูปของ ซีโอดี และ บีโอดีสูงมาก อีกทั้งโรงงานผลิตสุราในประเทศไทยส่วนมากได้ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ สำหรับกระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาล แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ ได้แก่ การหมัก การกลั่น การผลิตสุราขาว และการผลิตสุราผสม ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการกลั่นแล้วจะได้ของเสียที่เรียกว่า น้ำกากสำ

จากรายงานการวิจัยการสำรวจการปนเปื้อนของน้ำกากสำในดินบริเวณรอบๆ ที่เก็บกักกากสำของโรงงานสุรา กรมสรรพสามิต พบว่า น้ำกากสำมีค่า BOD ประมาณ 71,250 มิลลิกรัม/ลิตร, ซีโอดี 158,340 มิลลิกรัม/ลิตร (ชเรศ ศรีสถิตย์ และสุนีย์, 2548) จากข้อมูลนี้ทำให้น้ำกากสำจัดเป็นน้ำเสียที่ต้องบำบัดทิ้งอย่างถูกต้องตามกฎหมายของทางราชการ ในขณะที่การบำบัดน้ำกากสำจากโรงงานสุรา ส่วนใหญ่นิยมที่จะทิ้งในหลุมดินที่ตั้งอยู่ในเขตของโรงงาน และเมื่อมีฝนตกลงมาจะทำให้เกิดการชะล้างน้ำกากสำ พาคความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ในระดับสูงลงไปตามชั้นดินต่างๆ รวมถึงเกิดการปนเปื้อนลงไปในแหล่งน้ำใต้ดิน นอกจากนั้นยังเกิดการสั่นไหวไปสู่แหล่งน้ำผิวดินในบริเวณข้างเคียง อาทิ คลอง แม่น้ำ เป็นต้น จนก่อให้เกิดความเดือดร้อนต่อประชาชนและสิ่งมีชีวิตที่อยู่ใกล้เคียง

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าน้ำกากสำ ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก และวิธีการบำบัดยังเป็นวิธีที่ยังไม่ดีพอเนื่องจากยังไม่ได้มีการนำน้ำกากสำมาบำบัดโดยการลดค่า ซีโอดี และ บีโอดี แต่อย่างใด ดังนั้นหากนำการบำบัดทางเคมี (chemical treatment) เข้ามาใช้ในการลดค่า ซีโอดี และ บีโอดี ก่อนที่นำไปทิ้งในหลุมดิน หรือนำไปบำบัดด้วยวิธีอื่น เช่น การบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพ จะทำให้ปัญหาที่เกิดขึ้นต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมลดลง

งานวิจัยนี้ใช้สารส้ม (alum) ร่วมกับสารโพลีเมอร์ (polymer) ช่วยในการตกตะกอนน้ำกากสำเพื่อลดค่า ซีโอดี และใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ในการดูดซับคือน้ำกากสำ ซึ่งปัจจุบันมีการนำสารส้มกับโพลีเมอร์และถ่านกัมมันต์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างมากมาย เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมฟอกย้อม เป็นต้น เนื่องจาก

กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน อีกทั้ง สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ยังมีราคาถูก และไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารส้มเป็นสารเคมีที่มีอันตรายน้อยมากต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมไม่มากนัก จึงทำให้วิธีการนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน จากเหตุผลดังกล่าว สารส้มกับ โพลีเมอร์และถ่านกัมมันต์จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตสุรากลั่นที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพในการลด ซีโอดี ของน้ำกากสำโดยใช้สารส้ม ร่วมกับสาร โพลีเมอร์ช่วยในการตกตะกอน

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการลดสีของน้ำกากสำโดยใช้การดูดติดสีด้วย ถ่านกัมมันต์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 งานวิจัยนี้ใช้น้ำกากสำจากโรงงานสุราแห่งหนึ่งในจังหวัดนครปฐม เพื่อนำมากำจัด ซีโอดี และสี โดยใช้สารส้ม สารโพลีเมอร์ และถ่านกัมมันต์

1.3.2 สารสร้างตะกอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นสารส้มที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด ส่วนสารช่วยตกตะกอนเป็นสาร โพลีเมอร์ที่มีประจุเป็นบวก ประจุลบ และไม่มีประจุ ของบริษัท Water doctor Co.,Ltd. และถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300

1.3.3 การวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยใช้วิธีฟลักซ์ปิด แบบไตเตรชัน

1.3.4 การวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นสีใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในหน่วย Pt.Co unit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางในการนำสารส้มซึ่งมีราคาถูกและก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาใช้ในการบำบัดน้ำกากส่าก่อนที่จะนำไปพักไว้ในบ่อฝังเป็นการลดปัญหาการปนเปื้อนน้ำกากส่าสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะจูงใจผู้ประกอบการให้หันมาสนใจลงทุนทำการบำบัดน้ำกากส่ามากขึ้น เพราะมีค่าใช้จ่ายต่ำ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น

1.4.2 ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นพื้นฐานในการบำบัดน้ำเสียจากน้ำทิ้งโรงงานอื่น ๆ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำกากสำ

น้ำกากสำ (Distillery Slop) เป็นน้ำเสียที่ได้จากโรงงานผลิตสุรา โดยทั่วไปน้ำกากสำแบ่งได้ 2 ชนิด คือ กากสำขาว ได้จากการใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบในการผลิต และกากสำแดง ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้กากน้ำตาล (molasses) เป็นวัตถุดิบ น้ำกากสำจากโรงงานสุราเกือบทุกแห่งในประเทศไทยเป็นชนิดกากสำแดง มีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ มีฤทธิ์เป็นกรด และมีความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยปกติที่อัตราการผลิต 90,000 ลิตรต่อวัน จะมีปริมาณน้ำกากสำเกิดขึ้นประมาณ 300 ลบ.ม.ต่อวัน หรือมีปริมาณน้ำกากสำประมาณ 3.5 เท่า ของอัตราการผลิต (กรมสรรพสามิต, 2526)

ชเรศ และ สุจนีย์ (2548) ได้ศึกษาถึงลักษณะของน้ำกากสำของโรงงานสุรา 3 แห่งโดยพบว่าน้ำกากสำจากองค์การสุรากรมสรรพสามิต มีค่า BOD 71,250 มิลลิกรัม/ลิตร ซีไอดี 158,340 มิลลิกรัม/ลิตร suspended solid 21,200 มิลลิกรัม/ลิตร และ total solid 148,520 มิลลิกรัม/ลิตร บริษัท สี่มาธุรกิจ จำกัด จ.นครสวรรค์ มีค่า BOD 12,500 มิลลิกรัม/ลิตร ซีไอดี 118,752 มิลลิกรัม/ลิตร suspended solid 55,600 มิลลิกรัม/ลิตร และ total solid 91,315 มิลลิกรัม/ลิตร บริษัท ประมวลผล จำกัด จ.นครปฐม มีค่า BOD 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซีไอดี 32,162 มิลลิกรัม/ลิตร suspended solid 9,450 มิลลิกรัม/ลิตร และ total solid 38,420 มิลลิกรัม/ลิตร

2.1.1 กรรมวิธีการผลิตสุรา (Distilleries Processes)

สุราเป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการผสมแอลกอฮอล์ น้ำ และส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อให้มีรสชาติและสีแตกต่างกันไป สุราแบ่งตามประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตรวบรวมไว้ได้ 3 ประเภท คือ

- สุราที่ผลิตจากเมล็ดธัญพืช (Grain Distilleries) ได้แก่ สุราประเภท สก๊อชวิสกี้ (Scotch Whiskey) ผลิตจากเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวบาเลย์ เป็นต้น
- สุราที่ผลิตจากผลไม้ (Fruit Distilleries) เช่น สับปะรด องุ่น เป็นต้น ได้แก่ สุราประเภทไวน์ (Wine) บรั่นดี (Brandy) แชมเปญ (Champagne)
- สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาล (Molasses Distilleries) เช่น สุราขาว สุราผสม รัม (Rum) เป็นต้น

กระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาล แบ่งได้ 4 ขั้นตอน ได้แก่

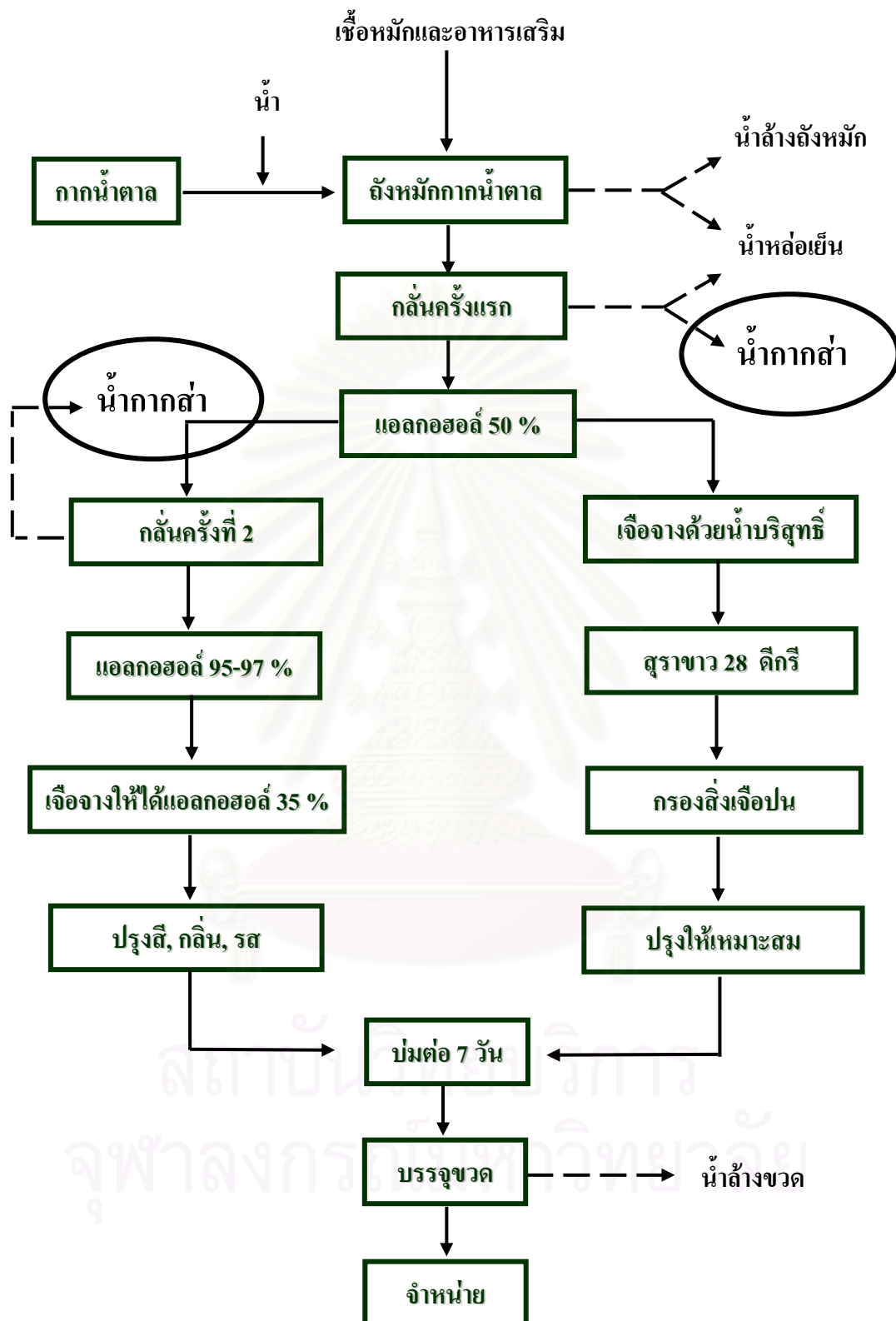
2.1.1.1 การหมักกากน้ำตาล (Fermentation) กากน้ำตาล (Molasses) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการผลิตน้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถตกผลึกได้อีกต่อไป มีสีดำ หรือน้ำตาลเข้ม มีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก อัตราความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสมในการหมักประมาณร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการหมักจึงต้องเจือจางกากน้ำตาลด้วยน้ำ 3 เท่า แล้วจึงใส่เชื้อหมัก (yeast) และอาหารเสริม การหมักใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง จะได้แอลกอฮอล์ร้อยละ 8-10 โดยปริมาตร ส่วนผสมของแอลกอฮอล์ภายหลังการหมักนี้เรียกว่า เบียร์ (beer) หรือแมช (mash) หรือน้ำสำ ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังหอกลั่น

2.1.1.2 การกลั่นแอลกอฮอล์ (Distillation) น้ำสำถูกส่งมายังหอกลั่นแรก เพื่อกลั่นแยกแอลกอฮอล์ออกมา ได้แอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 50 ส่วนหนึ่งของที่กลั่นได้นี้ถูกนำไปผลิตเป็นสุราขาว และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปกลั่นในขั้นต่อไป เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95-97 โดยปริมาตร ในการกลั่นแอลกอฮอล์ครั้งแรกจะมีน้ำกาสาซึ่งเป็นน้ำเสียออกมาเป็นจำนวนมาก และการกลั่นครั้งที่ 2 ก็ได้น้ำเสียที่เป็นน้ำกาสาออกมาเช่นกัน

2.1.1.3 การผลิตสุราขาว (Raw Alcohol Production) ส่วนหนึ่งของแอลกอฮอล์ ร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งแรก จะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์เพื่อให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 28 โดยปริมาตร เรียกว่า สุราขาว จากนั้นกรองเศษผงและสิ่งเจือปนออก บรรจุให้เหมาะสมแล้วนำมาบ่มต่อประมาณ 7 วัน จากนั้นจึงนำไปบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

2.1.1.4 การผลิตสุราผสม (Blended Liquor Production) นำแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95-97 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งที่สอง มาเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 35 โดยปริมาตร แล้วเติมสี ยาสมุนไพร และส่วนประกอบอื่น ๆ เพื่อให้ได้กลิ่นหอมและรสชาติตามความต้องการ จากนั้นนำมากรองแล้วบ่มต่อประมาณ 7 วัน จากนั้นจึงนำไปบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

ขั้นตอนการผลิตสุราดังแสดงในรูปที่ 2.1



ที่มา: ชเรศ ศรีสถิตย์ และสุนีย์, 2548

รูปที่ 2.1 กรรมวิธีการผลิตสุรากลั่นจากกากน้ำตาล

2.1.2 ประเภทน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา

น้ำทิ้งจากโรงงานสุราแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.1.2.1 น้ำทิ้งประเภทเข้มข้น น้ำทิ้งส่วนนี้มีค่าบีโอดีสูงประมาณ 2,500 – 35,000 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ได้แก่ น้ำล้างถังหมัก และน้ำกากสำ ปริมาณน้ำทิ้งทั้งสองขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตของแต่ละโรงงาน เนื่องจากน้ำล้างถังหมักมีปริมาณน้อยประมาณ 5-10 ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน ส่วนน้ำกากสำมีประมาณ 300-450 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน น้ำทิ้งทั้งสองจึงนำมาบำบัดรวมกัน แม้ว่าค่า บีโอดีจะแตกต่างกันประมาณ 14 เท่า

2.1.2.2 น้ำทิ้งประเภทเจือจาง เป็นน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีต่ำ ประมาณ 10-450 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ได้แก่ น้ำล้างขวด น้ำหล่อเย็น และน้ำใช้จากอาคารบ้านเรือน เป็นต้น น้ำทิ้งประเภทนี้ไม่นำมาบำบัดรวมกับน้ำกากสำ เนื่องจากมีค่าบีโอดีแตกต่างกันมากและมีปริมาณสูงการแยกบำบัดจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่า

2.1.3 ลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา

น้ำทิ้งของโรงงานสุราส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิตสุราในแต่ละขั้นตอน สำหรับลักษณะของน้ำทิ้งประเภทต่าง ๆ จากโรงงานสุรา มีลักษณะแตกต่างกันไปดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณภาพและปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสุรา

ประเภทน้ำเสีย	คุณสมบัติโดยเฉลี่ย		ปริมาณน้ำเสียต่อวันคิดเป็นเท่าของน้ำกากสำ
	บีโอดี (mg/l)	ซีโอดี (mg/l)	
1. น้ำกากสำ	27,500	118,000	1
2. น้ำหล่อคอนเดนเซอร์	27	53	18
3. น้ำหล่อถังหมัก	160	223	8
4. น้ำแช่ข้าวเหนียว	1,344	2,246	น้อยมาก
5. น้ำล้างขวด	100	220	0.5
6. น้ำดักเถ้าในหม้อไอน้ำ	-	24	น้อยมาก

ที่มา : ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ , 2524

หมายเหตุ เนื่องจากงานวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพและปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสุรามีน้อยมาก ดังนั้น ข้อมูลที่ได้จึงเป็นข้อมูลเก่า แต่ยังสามารถนำมาอ้างอิงได้

จากรายงานการแก้ไขปัญหาน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสุราและเอทิลแอลกอฮอล์, 2524 โดยไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ ได้ศึกษาคุณภาพและปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสุราจากกระบวนการต่างๆ ได้แก่ น้ำกากสำ น้ำหล่อคอนเดนเซอร์ น้ำหล่อถังหมัก น้ำแช่ข้าวเหนียว น้ำล้างขวด และน้ำดักเฝ้าในหม้อไอน้ำ ผลดังตารางที่ 2.1 พบว่า ประเภทของน้ำเสียที่มีความสกปรกมากกว่าน้ำเสียประเภทอื่นๆ คือ น้ำกากสำ และ น้ำแช่ข้าวเหนียว โดยน้ำกากสำมีค่า บีโอดี 27,500 มิลลิกรัม/ลิตร ซีโอดี 118,000 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณน้ำเสียต่อวันของน้ำแช่ข้าวเหนียวเมื่อเทียบกับน้ำกากสำ พบว่ามีค่าน้อยมาก

จากเอกสาร โครงการก่อสร้างสุราใหม่ กรมสรรพสามิต, 2526 ซึ่งสำรวจคุณภาพของน้ำเสียประเภทต่างๆ ของโรงงานต้มกลั่นสุรา 32 แห่งทั่วราชอาณาจักร โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (สวท.) แสดงดังตารางที่ 2.2 พบว่า น้ำกากสำ ค่า บีโอดี มีค่าอยู่ระหว่าง 17,500 – 45,000 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าเฉลี่ย 27,475 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนค่า ซีโอดี มีค่าอยู่ระหว่าง 56,970 – 193,600 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าเฉลี่ย 118,100 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) เฉลี่ย 75,830 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนน้ำล้างขวดและน้ำหล่อเย็นคอนเดนเซอร์มีค่าความสกปรกในรูป บีโอดี และ ซีโอดี น้อยกว่าน้ำกากสำมาก

2.1.4 ลักษณะของน้ำกากสำ

สำหรับสุรากลั่น น้ำเสียจากโรงงานผลิตสุราและเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้กากน้ำตาล (Molasses) เป็นวัตถุดิบนั้นมีค่าความสกปรกสูงมาก โดยเฉพาะน้ำเสียจากกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์ ซึ่งเรียกว่าน้ำกากสำ (Distillery Slop) มีค่าบีโอดีประมาณ 20,000 – 35,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งหากมิได้มีการบำบัดน้ำกากสำก่อนระบายทิ้งลงในแหล่งรับน้ำแล้ว จะมีผลทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งรับน้ำเสื่อมโทรมลง (นิศากร โขมิตรรัตน์, 2526)

ในประเทศไทย โรงงานผลิตสุรามีส่วนมากใช้ กากน้ำตาล เป็นวัตถุดิบ ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการกลั่นแล้วจะได้ของเสียที่เรียกว่า น้ำกากสำ ซึ่งมีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 7-10 และมีค่า บีโอดี สูงถึง 18,000-30,000 มิลลิกรัม/ลิตร มีสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ ซึ่งเป็นสีของ molasses melanoidin มีความเป็นกรดและอุณหภูมิสูง โดยเฉลี่ยในแต่ละโรงงานจะมีน้ำกากสำทิ้งประมาณ 138.46 ลูกบาศก์เมตร/วัน (สฤณี, 2526)

Underkofler และ Hickley. (1954) ได้แสดงองค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ทำให้แห้งแล้วในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุราในประเทศไทย

ลักษณะ	ค่าเฉลี่ย	
pH	3.66	-
อุณหภูมิ	88.6	องศาเซลเซียส
COD	118,098.0	มิลลิกรัม/ลิตร
BOD	27,475.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Suspended Solids	11,319.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Total Solids	75,829.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Total Volatile Solids	58,523.0	มิลลิกรัม/ลิตร
Settleable Solids	9.00	มิลลิกรัม/ลิตร
Total-N	935.0	มิลลิกรัม/ลิตร
PO ₃ ³⁻ -p	115.2	มิลลิกรัม/ลิตร
K	4,763.0	มิลลิกรัม/ลิตร
SO ₄ ²⁻	3,718.0	มิลลิกรัม/ลิตร
BOD load	3,806.0	กิโลกรัม/วัน
BOD load	2.77	กิโลกรัม/เท*
ปริมาณน้ำเสีย	0.106	ลูกบาศก์เมตร/เท

ที่มา : กรมสรรพสามิต, 2526

หมายเหตุ : *1 เท เท่ากับ 20 ลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ทำให้แห้งแล้ว

องค์ประกอบ	ร้อยละ
Mineral matter	28.5 - 29.0
Sugar (copper reducing substances)	10.0 - 12.0
Protein	8.0 - 10.0
Volatile acids	1.0 - 2.0
Gums	19.0 - 20.0
Combined lactic acid	4.0 - 5.0
Other combine organic acid	1.0 - 2.0
Glycerol	5.0 - 6.0
Wax, phenolic bodies, lignin, glucoside, etc.	12.0 - 22.0

ที่มา : Underkofler และ Hickley, 1954

2.1.5 การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าในปัจจุบัน

จากเอกสารการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียโรงงานผลิตสุรา กล่าวไว้ว่า การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าของโรงงานผลิตสุรา ขณะนี้มีการนำไปใช้ประโยชน์ยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของน้ำกากส่าจะพบว่าน้ำกากส่ามีองค์ประกอบต่างๆ ที่ซับซ้อน ฉะนั้นการที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านจุลชีววิทยาก็ต้องอาศัยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถเฉพาะตัวในการที่จะใช้น้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุราเป็นวัตถุดิบและให้ผลผลิตอื่นๆ อย่างไรก็ตามมีผู้นำน้ำกากส่ามาใช้ประโยชน์บ้างดังต่อไปนี้

2.1.5.1 การนำน้ำกากส่ามาใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ย โดยใช้หลักการ incineration ซึ่งกระทำได้โดยการใช้เครื่อง evaporator ที่ใช้ในโรงงานสุรบางยี่ขัน จังหวัดปทุมธานี ทำการเกี่ยวน้ำกากส่าจนงวดแห้ง โดยให้มีเนื้อของแข็งประมาณร้อยละ 50 จากนั้นนำเนื้อของแข็งดังกล่าวพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้และยังได้ผลพลอยได้คือปุ๋ยอินทรีย์ที่มีโปแตสเซียมในสัดส่วนที่สูงอีกด้วย ต่อมามีการนำหลักการดังกล่าวมาใช้กับน้ำกากส่าที่ได้จากโรงงานผลิตสุราที่ใช้ กากน้ำตาล เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสุรา

2.1.5.2 การนำน้ำกากส่ามาใช้ทำปุ๋ยหมัก โดยอาศัยเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งปัจจุบันได้มีการค้นพบว่าจุลินทรีย์บางชนิด สามารถนำมาใช้สลายน้ำกากส่าได้ ซึ่งใช้เวลาเพียง 1 เดือนเท่านั้น โดยมี

วิธีการดังนี้ คือ นำน้ำกากส่าดังกล่าวพ่นลงบนกองกากอ้อยที่ได้จากโรงงานน้ำตาลหลังจากที่ตากกองกากอ้อยให้แห้งแล้ว กลับกองกากอ้อยด้วยรถแทรกเตอร์ แล้วพ่นน้ำกากส่าลงบนกากอ้อยดังกล่าวอีก ทำดังนี้สลับกันไป ก็จะได้ปุ๋ยหมักตามที่ต้องการ ซึ่งการผลิตปุ๋ยหมักดังกล่าวจะเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่าประมาณ 24 บาท/การบำบัดน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร (เกษตรอุตสาหกรรม, 2530)

2.1.5.3 การนำน้ำกากส่ามารดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น (road spray) ซึ่งพบเห็นทั่วไปในเขตใกล้เคียงที่มีโรงงานผลิตสุราตั้งอยู่ วิธีนี้แม้จะเป็นการลดฝุ่นของถนนลูกรังแต่ก็สามารถใช้ได้ทดแทนน้ำ เพราะในช่วงฤดูฝนน้ำกากส่าเหล่านั้นจะถูกน้ำฝนชะล้างไป

2.1.5.4 การใช้น้ำกากส่าในการเลี้ยงปลา (fish farming) จากการทดลองแม้ว่าจะใช้ได้ผลแต่ก็ใช้ในปริมาณที่จำกัด เนื่องจากหากใช้ในปริมาณที่มากเกินไปแล้วจะเป็นอันตรายต่อปลาได้ ทั้งนี้เพราะจะทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลง

2.1.5.5 การนำน้ำกากส่ามาเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียว เนื่องจากในน้ำกากส่ามีน้ำตาลฟลูคโตสเหลืออยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งพบว่ามียีสต์หลายชนิดสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโตได้ดี ฉะนั้นในการนำน้ำกากส่ามาเลี้ยงยีสต์ดังกล่าวเพียงแต่เติมแหล่งไนโตรเจนเพียงเล็กน้อย เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต ยีสต์ก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี หลังจากทำการแยกยีสต์ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนออกไปแล้ว พบว่าน้ำกากส่ามีค่า บีโอดี และ ซีโอดี ลดลง จึงเป็นการช่วยลดมลภาวะในน้ำกากส่าได้อีกทางหนึ่งจากการเลี้ยงเชื้อ *S. Cerevisiae* และ *Candida valida* ในน้ำกากส่าสามารถผลิตโปรตีนได้ประมาณร้อยละ 45

2.1.5.6 การนำน้ำกากส่าไปใช้ในการหมักก๊าซมีเทน การหมักดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์สาร โดยจุลินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งผลที่ได้คือ ก๊าซผสมซึ่งมีก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 60 คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าร้อยละ 30 และไฮโดรเจนซัลไฟด์กับ stabilized sludge (ซึ่งนำไปใช้เป็นปุ๋ย) สำหรับก๊าซมีเทนที่ได้นั้นจะถูกนำไปใช้เผาไหม้ทำให้เกิดพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในกิจกรรมอื่นๆ ของโรงงานต่อไป

2.1.5.7 มีการนำน้ำกากส่าไปใช้ในการเลี้ยงกุ้งเพื่อปรับสภาพน้ำ แต่มีอัตราส่วนการใช้น้อย เพราะอาจจะทำให้กุ้งตายได้ง่าย แต่ผลจากการใช้น้ำกากส่านี้จะให้อัตราการรอดของลูกกุ้งสูงขึ้นและกินอาหารได้ดี มีการเติบโตที่รวดเร็ว

2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical Treatment Process)

ระบบบำบัดน้ำเสียในสมัยแรกๆ ได้รู้จักการใช้สารเคมีเพื่อช่วยตกตะกอนของแข็งแขวนลอย (suspended solids) และอนุภาคขนาดเล็กออกจากน้ำเสีย แต่ก็มีปัญหาอยู่ที่ไม่สามารถกำจัดมลสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย (soluble organics) ออกได้ ทำให้ในระยะต่อมาได้เปลี่ยนมาใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแทน จนกระทั่ง ปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรได้เริ่มให้ความสนใจในการใช้กระบวนการทางฟิสิกส์-เคมีมากขึ้น เพื่อลดมลสารอาหารเสริม (nutrient) เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และใช้ในการปรับสภาพของตะกอน (sludge conditioning) ช่วยในการตกตะกอน และกำจัดสารโลหะต่างๆ ที่มีมากขึ้นในน้ำเสีย

วัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี แบ่งออกเป็นหัวข้อใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. สร้างตะกอนให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถตกตะกอนได้ง่าย (coagulation and flocculation)
2. ทำให้มลสารที่ละลายอยู่ในน้ำตกตะกอน (precipitation) หรือทำให้ไม่ละลายน้ำ (insolubilization)
3. ปรับสภาพของน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการ เช่น ปรับค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เติมอาหารเสริม (nutrients)
4. ฆ่าเชื้อโรค (disinfection)
5. ปรับสภาพของตะกอน (sludge conditioning) เพื่อใช้ในกระบวนการย่อยตะกอน และ/หรือ แยกเอาน้ำออกจากตะกอน

2.3 กระบวนการตกตะกอนทางเคมีหรือโคแอกกูเลชัน (Chemical Coagulation)

มันสิน ตัณฑุลเวศน์ (2527) กระบวนการโคแอกกูเลชัน หมายถึง กระบวนการทั้งหมดในการทำให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมกันเป็นกลุ่มก้อน (floc) ซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ

1. การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของคอลลอยด์ เช่น ลดแรงผลักระหว่างอนุภาคโดยทางใดทางหนึ่ง เป็นต้น

2. การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ เคลื่อนที่มากระทบสัมผัสกันให้มากที่สุด (Transport of Colloidal Particles) เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคย่อมเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าเดิม เมื่ออนุภาคต่างๆ สัมผัสกันแล้วควรเกาะติดกันแน่นและหลุดน้อยที่สุด

ความสำคัญของทั้ง 2 ขั้นตอนมีความเท่าเทียมกัน และต้องมีทั้ง 2 ขั้นตอนจึงจะเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันที่สมบูรณ์ ปฏิกิริยาโคแอกกูเลชัน จะเกิดเกือบสมบูรณ์เมื่อสารเคมีละลายน้ำได้หมดโดยในขั้นแรกจะเกิดตะกอนขนาดเล็กและรวมตัวกันใหญ่ขึ้น เนื่องจากเกิดการลดประจุไฟฟ้าของอนุภาค และ Brownian movement จากนั้นจึงส่งเข้ากระบวนการ flocculation เพื่อกวบซ้าๆ ให้อนุภาคมาชนกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น จนสามารถแยกออกได้ง่าย

การที่จะแยกอนุภาคออกจากของเหลวได้นั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้การแยกโดยถังตกตะกอน แต่ถ้าจะแยกอนุภาคออกโดยการตกตะกอนและอาศัยแรงดึงดูดของโลกแล้ว ขนาดของอนุภาคที่จะแยกจะต้องมีขนาดที่ใหญ่พอและตกตะกอนได้ง่าย จึงทำให้ต้องอาศัยกระบวนการ coagulation และ flocculation ร่วมกัน

แรงที่กระทำต่ออนุภาค นอกจากแรงดึงดูดของโลกแล้วยังมีแรง electrostatic และ interionic ซึ่งสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของอนุภาค ในกรณีที่อนุภาคมีขนาดเล็กมาก แรงทั้งสองจะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดของโลก ทำให้เกิดแรงยึดระหว่างอนุภาค จนไม่สามารถตกตะกอนได้ ดังนั้นจึงต้องใส่สารเคมี (coagulant) ลงไปเพื่อลด (destabilize) แรงที่กระทำที่ผิวโดยประจุไฟฟ้า ทำให้อนุภาคสามารถมาสัมผัสและรวมตัวกันให้ใหญ่ขึ้นได้

2.3.1 พฤติกรรมของคอลลอยด์

มันสิน ตันฑุลเวศน์ (2527) ได้กล่าวถึงเสถียรภาพของคอลลอยด์ และการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ไว้ว่า การที่อนุภาคคอลลอยด์ สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอนเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า ซึ่งอาจมีประจุบวกหรือลบก็ได้ ทำให้มีแรงผลักระหว่างอนุภาคจึงเป็นสาเหตุให้อนุภาคต่างๆ กระจายอยู่ในน้ำโดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อก ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าประจุไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ในน้ำอนุภาคคอลลอยด์จะมีแรงกระทำซึ่งกันและกันอยู่ 2 ชนิด คือ แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคและแรงผลักทางไฟฟ้า ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ผิวของอนุภาคมีประจุชนิดเดียวกัน จึงเกิดการผลักกัน บทบาทของแรงทั้งสองมีผลต่อเสถียรภาพของคอลลอยด์ แรงผลักจะต้องสูงกว่าแรงดึงดูด จึงจะทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดึงดูดมากกว่าแรงผลักอนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ สามารถจับกันเป็นกลุ่มก้อน หรือฟล็อกได้ ทำให้คอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพ ผลลัพธ์ของแรงระหว่างอนุภาคทั้ง 2 ชนิดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค แรงดึงดูดมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลักก็ต่อเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากๆ แต่ถ้าหากอนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้าสูง หรือมีชั้นกระจาย (diffuse layer) หนาจะทำให้เกิดแรงผลักสูงกว่าแรงดูด

2.3.1.1 สมบัติทางไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์

อนุภาคคอลลอยด์แตกต่างจากตะกอนแขวนลอย อะตอม และโมเลกุลขนาดเล็กทั้งขนาดและสมบัติทางไฟฟ้า อนุภาคคอลลอยด์อาจมีทั้งประจุบวกหรือลบก็ได้ แต่ที่พบในงานด้านสิ่งแวดล้อมมักเป็นประจุลบ และเป็นอนุภาคแบบไฮโดรโฟบิก (อนุภาคที่ไม่ชอบน้ำ) ตัวอย่างของอนุภาคประจุลบในน้ำ คือ ความขุ่นในน้ำผิวดิน ส่วนอนุภาคประจุบวกมักเป็นอินทรีย์สารอนุภาคแบบไฮโดรฟิลิก

อนุภาคคอลลอยด์มีประจุไฟฟ้า จึงทำให้มีแรงดันระหว่างอนุภาค เป็นสาเหตุให้อนุภาคต่างๆ กระจายอยู่ในน้ำ โดยไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน หรือฟล็อก ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ประจุไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ

2.3.1.2 Electric Double Layer Theory

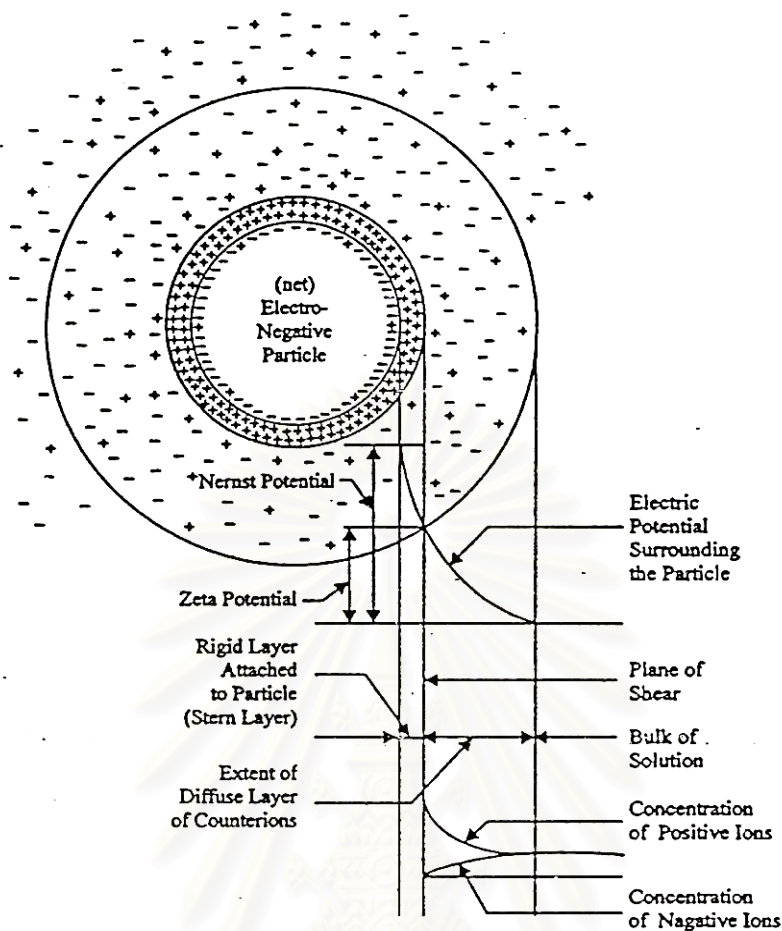
ความแตกต่างระหว่างคอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิกและแบบไฮโดรฟิลิก คือ เสถียรภาพ (Stability) ของคอลลอยด์ คอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิกจะมีเสถียรภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงผลักระหว่างอ้อนชนิดเดียวกัน ส่วนเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบไฮโดรฟิลิกจะเกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาค (Particle Solvation) ความแตกต่างดังกล่าวมีความสำคัญมากต่อกลไกในการทำลายเสถียรภาพ

ทฤษฎีที่ใช้อธิบายสมบัติทางไฟฟ้าของคอลลอยด์ คือ Electric Double Layer Theory พิจารณาอนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ซึ่งอนุภาคนี้สามารถสร้างแรงดึงดูดที่ทำให้ อ้อนประจุบวก (ประจุตรงกันข้าม) ที่อยู่ในน้ำวิ่งเข้ามาหาทำให้ประจุบวกมาแออัดอยู่ใกล้อนุภาคคอลลอยด์ อ้อนบวกนี้ เรียกว่า Counter Ion ความหนาแน่นของอ้อนบวกสูงที่สุดในบริเวณที่อยู่ติดกับอนุภาคคอลลอยด์ และลดน้อยลงไปตามระยะห่างจากอนุภาค ทั้งนี้เป็นไปตามศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ผิว (Nernst Potential) และน้อยลงเมื่อห่างออกไป

ณ ตำแหน่งที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ แสดงว่าไม่อยู่ภายใต้อำนาจไฟฟ้าของคอลลอยด์ ทำให้การกระจายตัวของอ้อนบวกและลบเป็นไปตามปกติ ตามทฤษฎีของ Double Layer นั้นเชื่อว่าอ้อนบวกชั้นในสุดไม่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งนี้เพราะอ้อนบวกมักมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ ระยะห่างระหว่างผิวอนุภาคคอลลอยด์กับจุดศูนย์กลางของอ้อนที่อยู่ใกล้ที่สุด (ขึ้นอยู่

กับขนาดของอออน) คล้ายมีเปลือกทรงกลมบางขวางอยู่ เปลือกหรือชั้นบางนี้เรียกว่า Stern Layer และถือว่าเป็นชั้นในสุด ศักย์ไฟฟ้าที่เปลือกนี้มีค่าเท่ากับ Stern Potential ส่วนเปลือกชั้นนอกมีชื่อเรียกว่า ชั้นกระจาย (diffuse layer) ครอบคลุมจากเปลือกชั้นในไปถึงตำแหน่งที่อนุภาคคอลลอยด์หมดอำนาจไฟฟ้าพอดี (ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศูนย์)

ขนาดของประจุไฟฟ้าบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์หรือ Nernst Potential ไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่อาศัยการวัดอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้า (Electrophoretic Mobility) และคำนวณศักย์ไฟฟ้าจากค่าที่วัดได้ ศักย์ไฟฟ้าที่คำนวณได้ เรียกว่า ซีตาโพเทนเชียล (Zeta Potential, Z_p) ซีตาโพเทนเชียล หมายถึง ศักย์ไฟฟ้าที่ที่ผิว (หรือเปลือก) นอกสุดของน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับอนุภาคคอลลอยด์ ผิววนอกสุดนี้เรียกว่า Plane of Shear ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ตำแหน่งที่แน่นอนของ Plane of Shear ยังไม่เป็นที่ทราบ ประมาณว่าอยู่นอก Stern Layer แต่ยังคงอยู่ใน Diffuse Layer อย่างแน่นอน บทบาทของซีตาโพเทนเชียลมีมากกว่าศักย์ไฟฟ้าตัวอื่นๆ เนื่องจากซีตาโพเทนเชียลใช้เป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงระดับของเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูงหรือคอลลอยด์มีแรงผลักระหว่างอนุภาคสูง จะมีค่าซีตาโพเทนเชียลสูงด้วย ในทางตรงกันข้าม ระบบคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำ จะมีค่าซีตาโพเทนเชียลต่ำ และทำให้รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกได้ง่าย

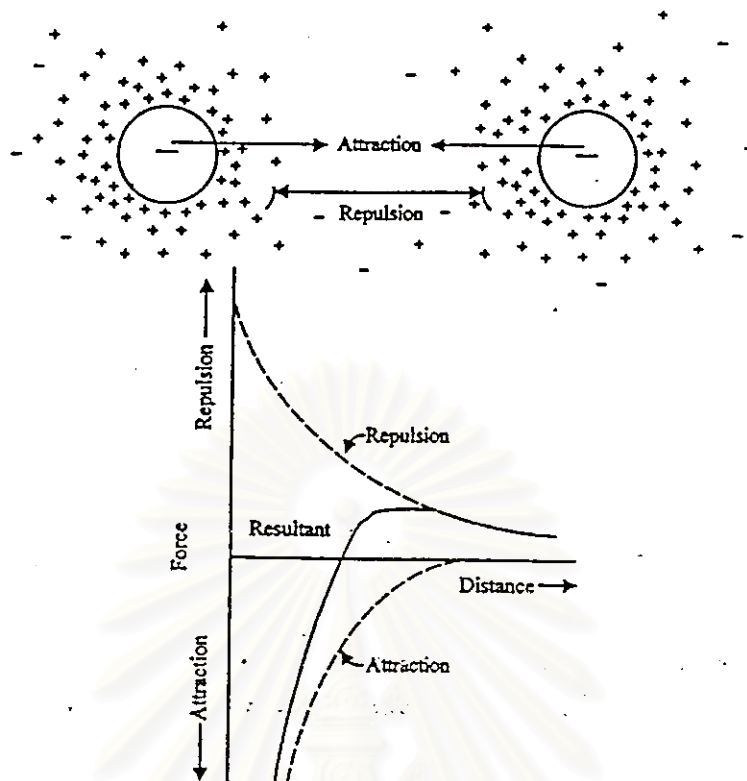


ที่มา : Amirtharajah และ O'Melia, 1990.

รูปที่ 2.2 โมเดลที่ใช้อธิบาย Electrical Double Layer Theory

2.3.1.3 เสถียรภาพของคอลลอยด์

เมื่อคอลลอยด์ยังคงมีเสถียรภาพ จะสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอนในระยะเวลาสั้นๆ แต่เมื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ทำให้เกิดการตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำ ดังนั้นเสถียรภาพของคอลลอยด์ จึงขึ้นอยู่กับแรงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค ถ้าคอลลอยด์มีเสถียรภาพแสดงว่ามีแรงผลักรสูงกว่าแรงดูด แต่ถ้าอนุภาคมีแรงดูดมากกว่าแรงผลัก ทำให้สามารถจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (floc) ได้ทำให้คอลลอยด์ไม่มีเสถียรภาพ แรงดูดระหว่างอนุภาค เรียกว่าแรงแวนเดอวาลส์ (Van Der Waals' Forces) เป็นแรงอ่อนๆ ที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือซีตาโพเทนเชียล ผลลัพธ์ของแรงระหว่างอนุภาคทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 2.3



ที่มา : Samuel และ Osman, 1983.

รูปที่ 2.3 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ

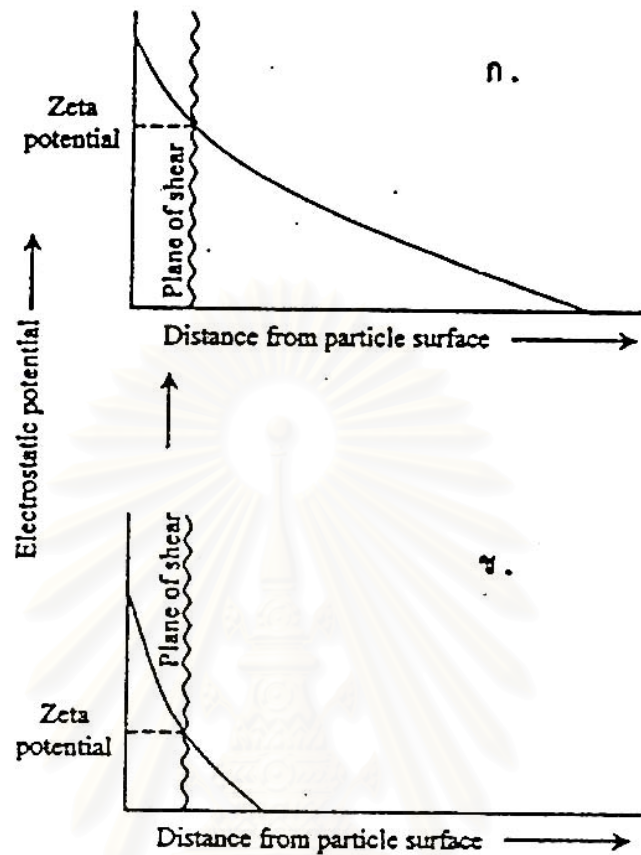
แรงคูมมีอำนาจเหนือแรงผลักรก็ต่อเมื่ออนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากๆ โดยปกติแรงผลักรซึ่งเกิดจากซีตาโพเทนเชียล จะไม่ยอมให้อนุภาคต่างๆ เข้ามาใกล้กันจนเกิดการดูดเข้าหากัน

2.3.1.4 การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถกระทำได้โดยอาศัยกลไก 4 แบบ คือ

1. การลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer)

การเพิ่มจำนวนของไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาคเป็นการเพิ่มความหนาของ Counter Ion ในชั้นกระจาย ผลที่เกิดขึ้นคือ ชั้นกระจายมีความหนาลดลง ทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลงตามไปด้วย ดังแสดงดังรูป 2.4

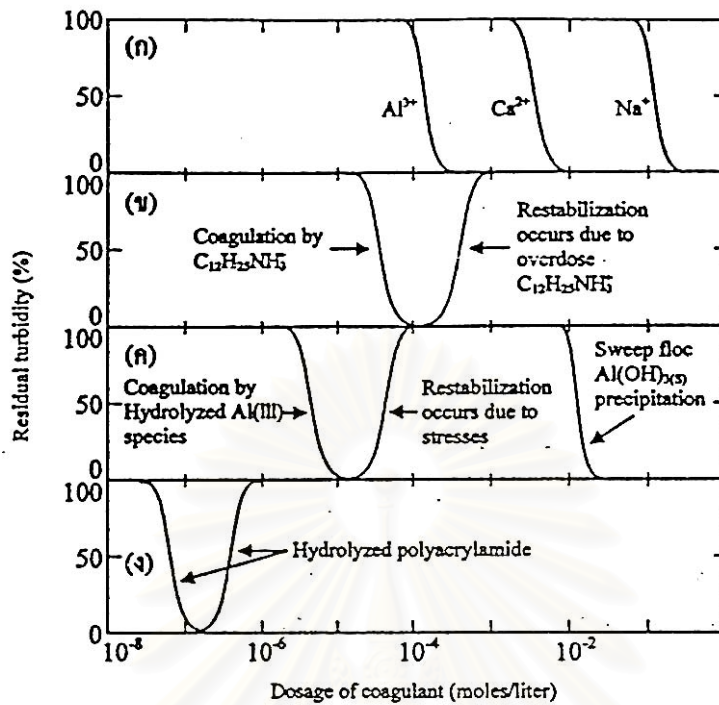


ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2527.

รูปที่ 2.4 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์

(ก) ก่อนเติมไอออน (ข) หลังจากเติมไอออนแล้ว

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมีประจุบวกเข้าไปออกันอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้น ทำให้อำนาจของประจุลบของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปได้ไกลเท่าเดิม ไอออนต่างๆ มีอำนาจการลดความหนาของชั้นกระจาย (ซึ่งเท่ากับลดซีตาโพเทนเชียล) ได้ไม่เท่ากัน ไอออนที่มีเวเลนซ์ (Valence) 1 2 และ 3 มีอำนาจในการลดความหนาของชั้นกระจายเป็นสัดส่วน 1 : 10 : 1000 ตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น Al^{3+} จะให้ผลดีกว่า Ca^{2+} ถึง 1000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 2.5



ที่มา : Samuel และ Osman, 1983.

รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบต่างๆ

ข้อที่ควรคำนึงถึง คือ อีออนบวกดังกล่าวไม่ได้อยู่ในรูปอิสระในน้ำ เนื่องจากอีออนบวกเหล่านี้มักมีโมเลกุลของน้ำห่อหุ้มอยู่ เช่น Al^{3+} มีน้ำ 6 โมเลกุล จับกันอยู่ (เรียกว่า Aqua Complex) ดังนั้นสูตรโมเลกุลที่ถูกต้อง คือ $Al(H_2O)_6^{3+}$ แต่การเขียนสูตรโมเลกุลโดยที่มี H_2O อยู่ด้วย มักเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและไม่นิยม จึงมักจะเว้นการเขียนโมเลกุลของน้ำ การที่ Al^{3+} หรือโลหะอื่นๆ มีน้ำจับรวมอยู่ด้วยเป็นข้อเสียเพราะทำให้อีออนบวก (ของโลหะ) ไม่สามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ โมเลกุลของน้ำเป็นเหมือนเกราะป้องกันการสัมผัสโดยตรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับอีออนบวก อีออนบวกต่างๆ จึงอ้อนกันอยู่ในชั้นกระจาย และไม่สามารถทำลายประจุลบของคอลลอยด์ได้ดีเท่าที่ควร การลดโมเลกุลของน้ำในสารประกอบเชิงซ้อน (Aqua Complex) ช่วยทำให้อีออนบวกและอนุภาคคอลลอยด์เข้าใกล้กันมากขึ้น เช่น $Al(OH)(H_2O)_5^{2+}$ สามารถเกาะติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ แต่ $Al(OH)(H_2O)_6^{3+}$ ไม่สามารถทำได้ ด้วยเหตุนี้ในรูปที่ 2.5 (ค) จึงแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า $Al(OH)^{2+}$ หรือ $Al(OH)_2^+$ หรือสารประกอบเชิงซ้อนอื่นๆ ลื่นเป็ลื่องน้อย

กว่า Al^{3+} ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ การทำลายเสถียรภาพโดยลดความหนาของชั้นกระจายด้วยการเติมสารละลายของเกลือต่างๆ มีข้อที่น่าสนใจดังนี้

ก) ปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติมเพื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยวิธีการลดความหนาของชั้นกระจายไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคอลลอยด์

ข) อนุภาคคอลลอยด์ไม่สามารถเปลี่ยนสภาพจากประจุลบไปเป็นประจุบวกได้ (Charge Reversal) ไม่ว่าจะเติมไอออนบวกมากเพียงใดก็ตาม

2. การทำลายอำนาจประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (กลไกแบบดูดซับผิว)

อนุภาคคอลลอยด์สามารถดูดซับ (Adsorb) สารเคมีบางชนิดไว้ที่ผิวได้ ถ้าสารเคมีนั้นมีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับคอลลอยด์ การดูดซับผิวจะมีผลในการลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ กลไกแบบดูดซับผิวนี้นี้แตกต่างจากกลไกแบบแรกที่กำลังกล่าวไว้ในข้อ 1 (ซึ่งไอออนต่างประจุหรือ Counter Ion อยู่ในชั้นกระจายโดยไม่ดูดซับผิวอนุภาคคอลลอยด์) 3 ประการ ดังนี้

ก) กลไกแบบดูดซับผิวต้องการไอออนที่ต่างชนิดน้อยกว่าแบบแรก เนื่องจากไอออนต่างประจุสามารถเข้าถึงผิวอนุภาคคอลลอยด์ การทำลายศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์จึงได้ผลดีกว่าไอออนต่างประจุที่ไม่สามารถเข้าถึงผิวของอนุภาคได้

ข) การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบดูดซับผิวนั้นเป็นแบบสโตยชิโอเมตริก (Stoichiometric) ปริมาณสารสร้างตะกอนที่ใช้จะมากหรือน้อยตามปริมาณของอนุภาคคอลลอยด์ (ที่ถูกควรเป็นพื้นที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์) แต่การทำลายเสถียรภาพแบบลดความหนาของชั้นกระจายไม่เป็นไปตามสโตยชิโอเมตริก

ค) กลไกแบบดูดซับผิว สามารถเปลี่ยนประจุอนุภาคคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้ามกับของเดิมโดยการใส่สารสร้างตะกอนที่มากเกินไปโดยกลไกการลดความหนาของชั้นกระจายไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนประจุเป็นตรงกันข้าม อาจเป็นเพราะจำนวนไอออนต่างชนิดในชั้นกระจายถูกจำกัดด้วยศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ไอออนต่างประจุ (สารสร้างตะกอน) ส่วนที่เติมเกินพอจะอยู่นอกชั้นกระจาย ดังนั้น ไม่ว่าจะใส่สารสร้างตะกอนมากเท่าใดก็ไม่สามารถเปลี่ยนประจุคอลลอยด์ให้เป็นตรงกันข้ามได้ ข้อควรสังเกตเกี่ยวกับการเปลี่ยนประจุคอลลอยด์ของกลไกแบบดูดซับผิว ก็คือ การที่ไอออนต่างประจุสามารถดูดซับผิวของอนุภาคคอลลอยด์จนประจุเปลี่ยนเป็น

ตรงกันข้ามย่อมแสดงว่ามีปฏิกิริยาเคมีระหว่างอออนต่างประจุกับอนุภาคคอลลอยด์ จนเอาชนะแรงผลักระหว่างประจุชนิดเดียวกันได้

3. การจับอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น

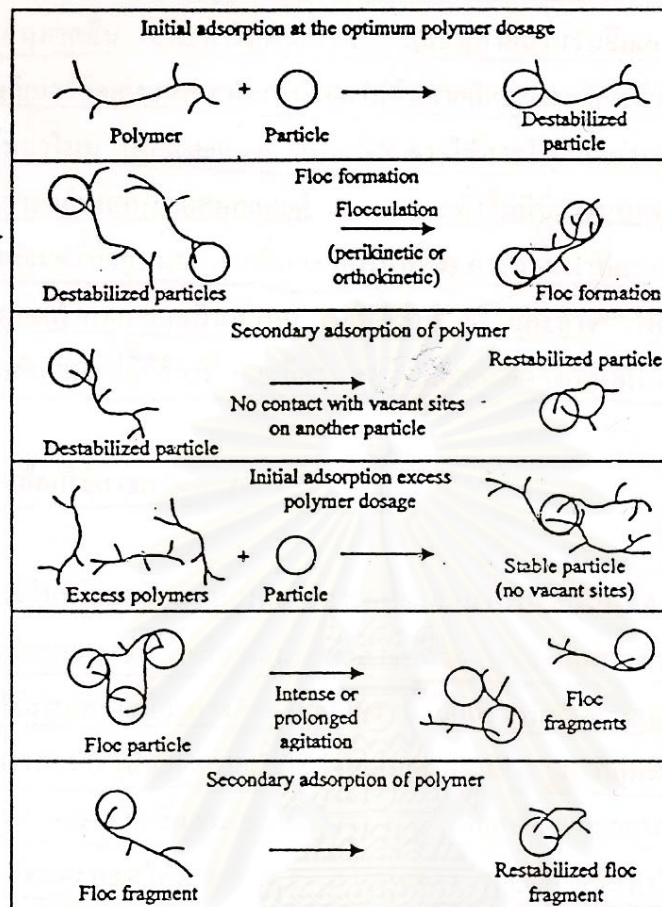
ถ้าเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่เพียงพอ จะเกิดการตกผลึกลงอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวนี้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเพิ่มขนาดหรือนำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและเกิดการตกตะกอนได้ สารสร้างตะกอนดังกล่าว เช่น สารส้ม เฟอริกคลอไรด์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต และปูนขาว สามารถทำให้เกิดการโคแอกกูเลชันได้โดยการสร้าง $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, $Mg(OH)_2$ และ $CaCO_3$ ซึ่งล้วนแต่เป็นผลึกสาร (Precipitation) ที่ไม่ละลายน้ำ การกำจัดคอลลอยด์โดยกลไกแบบนี้มักเรียกว่าเป็น Sweep Flocc Coagulation หรือ Sweep Coagulation

กลไกที่ใช้ผลึกสารอนินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ มีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรก คือ ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม (Optimum Dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือ น้ำที่มีปริมาณมลสารน้อยต้องใช้สารสร้างตะกอนจำนวนมาก จึงจะเกิดการระบวณการโคแอกกูเลชันได้ดี ในทางตรงกันข้าม น้ำที่มีปริมาณสารมากอาจใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนน้อยกว่า เพราะน้ำที่มีปริมาณมลสารน้อยจะมีโอกาสที่จะสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าจะเกิดการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แล้ว แต่กระบวนการโคแอกกูเลชันอาจเกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงต้องใช้ปริมาณสารสร้างตะกอนสูง เพื่อสร้างผลึกจำนวนมากสำหรับเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีปริมาณมลสารอยู่มาก โอกาสสัมผัสย่อมมีมาก จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่าในกรณีแรก

เนื่องจากกลไกแบบนี้ไม่จำเป็นต้องทำลายประจุที่ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ กระบวนการโคแอกกูเลชันจึงไม่จำเป็นต้องเกิดในขณะที่ค่าซีตาโพเทนเชียลมีค่าต่ำที่สุด แต่ค่าที่มีบทบาทสำคัญมากต่อกลไกนี้คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้นสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดจะมีระดับค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมที่สุดแตกต่างกัน

4. การใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยสารอินทรีย์ ทั้งที่เป็นสารประกอบตามธรรมชาติหลายชนิด เช่น แป้ง เซลลูโลส น้ำตาลบางชนิด และโปรตีนบางชนิด รวมทั้งสารอินทรีย์โพลีเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองที่เรียกว่า Polymer Bridging ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



ที่มา : Samuel และ Osman, 1983

รูปที่ 2.6 กลไกการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยโพลีเมอร์

ตามทฤษฎีนี้ โมเลกุลของสาร โพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง (ปฏิกิริยาที่ 1) การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized Particle) อนุภาคดังกล่าวนี้สามารถจับกับอนุภาคตัวอื่นๆ โดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม (ปฏิกิริยาที่ 2) การเชื่อมต่อกับโพลีเมอร์เกิดขึ้นได้ตลอดเท่าที่มีโพลีเมอร์และตำแหน่งว่างที่ผิวอนุภาค ถ้าปลายอิสระของโพลีเมอร์ไม่มีที่สำหรับเกาะจับอนุภาคอื่น (ไม่ว่าจะเหตุผลใดก็ตาม) ปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคเดิม (ปฏิกิริยาที่ 3) ซึ่งทำให้เสียประโยชน์ 2 ประการ คือ ทำให้ไม่มีปลายอิสระไว้จับอนุภาคอื่น และทำให้ตำแหน่งว่างบนอนุภาคสำหรับยึดเกาะมีน้อยลง อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระและไม่

มีที่ว่างเรียกว่า อนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (Restabilized Particle) การใช้สารโพลีเมอร์มากเกินไป ทำให้โพลีเมอร์หลายโมเลกุลไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์ จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลีเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่น (ปฏิกิริยาที่ 4) การกวนน้ำที่แรงเกินไปหรือนานเกินไปทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นมาแล้วแตกออกเป็นส่วนๆ (ปฏิกิริยาที่ 5) และอาจทำให้ปลายอิสระของโพลีเมอร์เกาะจับบนอนุภาคอันเดิม (ปฏิกิริยาที่ 6) เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่

2.3.2 การเลือกใช้สารสร้างตะกอน

สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น กลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ เช่น โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์หรือ PAC เป็นสารตัวใหม่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อสะดวกในการใช้งานเพราะมีอำนาจในการสร้างตะกอนและรวมตัวตะกอนสูง ตกตะกอนเร็วกว่าสารส้มใช้เวลาในการกวนเร็วน้อยกว่าละลายน้ำได้ดี แต่ราคาค่อนข้างสูง กลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ เช่น เฟอร์ริกซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_3$) ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 4-9 ตะกอนเคมีของ Ferric มีน้ำหนักมากพอสมควรทำให้ตกตะกอนได้ดี และการใช้ปูนขาว (Lime) เพื่อทำให้เกิดผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งวิธีนี้ปกติจะใช้ในการกำจัดฟอสเฟตเท่านั้น แต่ก็สามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เพื่อลดค่าบีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอยได้ด้วย ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดค่าซีโอดีควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการเลือกใช้สารเคมีเพื่อลดต้นทุนและก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ในปัจจุบันสารสร้างตะกอนจะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ หรืออลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์

เมื่อเติมสารสร้างตะกอนในกลุ่มที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ หรืออลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ลงในน้ำโมเลกุลของมันจะแตกตัวเป็น อลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) และสารประกอบเชิงซ้อนจำนวนมาก (Complex ion) อลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์ที่ใช้อยู่มีหลายชนิดเช่น

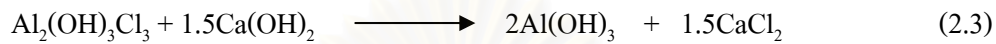
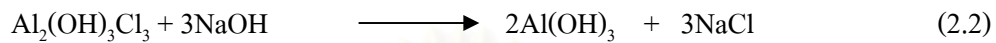
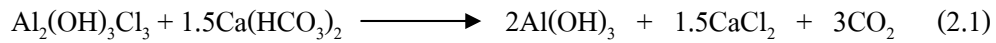
1.1 aluminium sulphate ($Al(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$) หรือสารส้ม (alum) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป Filter alum ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$) ซึ่งละลายน้ำได้

1.2 liquid alum จะมี water-soluble alumina (Al_2O_3) อยู่ ร้อยละ 5.8-8.5 ราคาถูกกว่าชนิดแรก

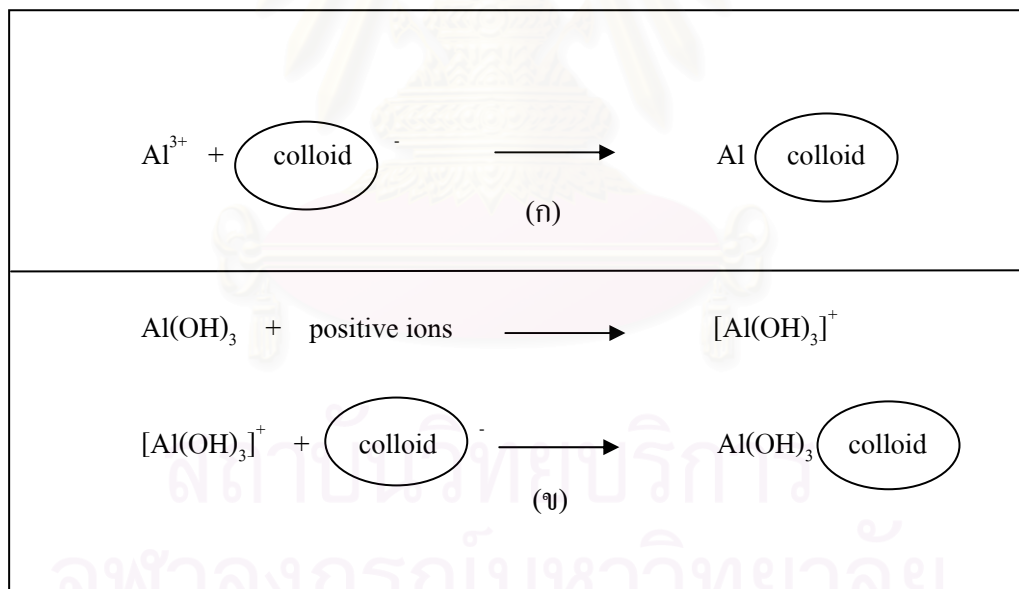
1.3 sodium aluminate ประกอบด้วย Al_2O_3 ซึ่งทำให้อยู่ตัวด้วย NaOH สารตัวนี้ไม่ใช่โคโคฯ มักใช้คู่กับสารส้ม เพื่อให้ได้ผลที่ดี

1.4 activated silica มักใช้ร่วมกับ alum ทำให้การตกตะกอนเกิดเร็วขึ้น

1.5 PAC เป็นโคแอกกูแลนต์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้น ช่วงพีเอชในการเกิดปฏิกิริยาที่กว้างกว่าโคแอกกูแลนต์ตัวอื่นๆ สร้างตะกอนได้เร็วกว่าสารส้ม ใช้เวลาในการกวนเร็วน้อยกว่า เป็นสารโมเลกุลใหญ่ มีสูตรโมเลกุลเป็น $[Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}]$ ($n = 2, 2.7, m = 3.9, 1.0$) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



$Al(OH)_3$ ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ในน้ำเหมือนกับปฏิกิริยาของสารส้มคือ แยกตัวให้ Al^{3+} ซึ่งจะรวมกับอนุภาคคอลลอยด์และทำลายประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์จนสามารถจับกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นอนุภาคใหญ่ได้ ดังรูปที่ 2.7 (ก) นอกจากนี้ Al^{3+} ยังทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็น $Al(OH)_3$ ซึ่งเป็นตะกอนเล็กๆ สามารถรวมตัวกับอนุภาคอื่นที่มีประจุบวก เกิดเป็นตะกอนที่มีประจุบวกไปจับกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นตะกอนใหญ่ได้เช่นกัน ดังรูปที่ 2.7 (ข)



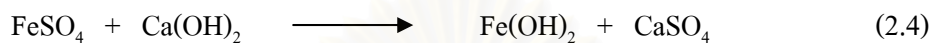
รูปที่ 2.7 (ก) Al^{3+} รวมตัวกับอนุภาคคอลลอยด์กลายเป็นอนุภาคใหญ่

(ข) $Al(OH)_3$ รวมกับอนุภาคที่มีประจุบวกเกิดเป็นตะกอนใหญ่

2. กลุ่มที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหรือไอออนโคแอกกูแลนต์

ไอออนโคแอกกูแลนต์จะทำงานในสภาวะที่มีพีเอชต่ำกว่า อลูมิเนียมโคแอกกูแลนต์และสามารถทำงานในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า คือ 4-11 นอกจากนี้ Fe(OH)_3 flocc ยังหนักกว่า Al(OH)_3 flocc ทำให้ตกตะกอนได้เร็วกว่า ไอออนโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้กัน ได้แก่

2.1 Ferrous sulphate (FeSO_4) FeSO_4 จะทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดเป็น Fe(OH)_2 ในสภาวะที่พีเอชสูงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ถ้าพีเอชต่ำกว่า 8.5 ดังนั้นจึงมักเติมปูนขาวลงไปดังสมการ



โดยทั่วไป FeSO_4 มักใช้คู่กับปูนขาวในการกำจัดน้ำกระด้างและตกตะกอนเหล็กกับแมงกานีส

2.2 Ferric Sulphate ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) ละลายได้ดีในน้ำอุ่น และจะทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างในน้ำหรือกับปูนขาวที่เติมลงไป เกิดเป็น Fe(OH)_3 flocc ในกรณีของ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำเพื่อออกซิไดส์ ตามทฤษฎี

1 ppm ของ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ จะทำปฏิกิริยากับ 0.75 ppm alkalinity as CaCO_3 0.58 ppm 95% hydrate lime ดังสมการ 2.6



โดยทั่วไป Ferric coagulant จะทำงานที่พีเอชต่ำกว่าเกลือของอลูมิเนียมและสามารถใช้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าคือตั้งแต่ 4-11 ที่พีเอชต่ำ Ferric coagulant ใช้ได้ดีในการกำจัดสีและที่พีเอชสูงๆ Ferric coagulant ก็ใช้ได้ดีในการกำจัดเหล็ก แมงกานีส ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสี นอกจากนี้ Fe(OH)_3 flocc ยังหนักกว่า Al(OH)_3 flocc และตกตะกอนได้เร็วกว่า

ข้อดีของ Ferric coagulant เปรียบเทียบกับ Aluminum coagulant คือ Fe(OH)_3 flocc จะไม่กลับมาละลายที่ค่าความเป็นด่างสูงๆ อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้องใช้ที่พีเอชสูงทำให้เปลืองด่าง จึงมักใช้กับน้ำที่ผ่านการกำจัดความกระด้างด้วยปูนขาวเท่านั้น

2.3 Ferric chloride (FeCl_3) มีฤทธิ์กัดกร่อน ถ้ามีความชื้นอยู่ด้วย FeCl_3 จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ในน้ำเกิดเป็น Al(OH)_3

การที่เกลือของเหล็กและอลูมิเนียมเหมาะที่จะใช้เป็นตัวตกตะกอน เพราะมีคุณสมบัติในการตกตะกอนคอลลอยด์ได้มากกว่าตัวอื่น ทั้งนี้เพราะการตกตะกอนของคอลลอยด์จะมีผลโดย

ของอออนิเลคโตรไลต์ที่เติมลงไปมีประจุตรงข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ และผลที่เกิดจากอออนเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประจุบนตัวของมัน

3. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, Ca(OH)₂)

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือปูนขาวผงน้ำ เป็นสารเคมีที่ใช้กันมากในการตกตะกอนผลึก ความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยทำให้เกิดตกตะกอนผลึกในรูปหินปูน การเก็บรักษาจึงค่อนข้างยุ่งยาก การป้อนปูนขาวผงน้ำ จะต้องให้ในลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (slurry) ข้อดีในการใช้ปูนขาวผงน้ำคือมีราคาถูก เมื่อเติมลงไปใต้น้ำ จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอเนตและฟอสเฟตที่มีอยู่ กลายเป็นสารตัวใหม่ตกตะกอนชะพาเอาสารแขวนลอยตกลงมาด้วย ดังสมการ



สมการ 2.3.8 สามารถกำจัดฟอสเฟตออกจากน้ำเสียได้ด้วย

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการตกตะกอน

ในกระบวนการตกตะกอนจะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการดังต่อไปนี้

1. ชนิดของคอลลอยด์ในน้ำ ถ้าหากทราบชนิดของคอลลอยด์จะได้เลือกใช้สารที่ช่วยในการตกตะกอนได้อย่างเหมาะสม
2. ชนิดของสารที่ใช้ในการตกตะกอน สารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับคอลลอยด์ต่างชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนคุณสมบัติในการตกตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำลักษณะของฟล็อก ความเร็วในการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้น จะต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดของคอลลอยด์และสารที่ใช้ในการตกตะกอน
3. พีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน สารที่ใช้ในการตกตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่พีเอชหนึ่งเท่านั้น ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดไม่อยู่ในช่วงพีเอชนี้ ผลการตกตะกอนจะเกิดขึ้นไม่ดี จึงต้องมีการปรับพีเอชให้ได้ตามต้องการของสารเคมี
4. ปริมาณของสารที่ช่วยให้ตกตะกอน มีความสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการตกตะกอน เพราะธรรมชาติสารใดก็ตามถ้าค่าผลคูณไอออนโปรดัก (ion product) ไม่เกินค่า K_{sp} (หรือค่าคงที่สมดุลในการละลาย) ของสารนั้นแล้ว สารนั้นจะไม่ตกผลึกตะกอนออกมาในน้ำ แต่ถ้าเกินค่า K_{sp} สารนั้นจะตกผลึกตะกอนทันที ดังนั้น ปริมาณสารที่ช่วยในการตกตะกอนจะต้อง

เหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินไปก็จะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่ (มันสิน ตันทุลเวศม์,2527)

5. เวลาและความแรงของการผสม การทำให้สารเคมีละลายน้ำอย่างทั่วถึงและเกิดการสร้างตะกอน จำเป็นต้องกวนน้ำอย่างรวดเร็วด้วยเวลาที่สั้น เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวออกไปทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยได้ดี ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้อาจใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการรวมตะกอน ดังนั้นถ้าการใช้การกวนที่รุนแรงมากเท่าใดก็จะช่วยประหยัดเวลามากขึ้นเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อต้องการให้เกิดการรวมตัวของตะกอน จำเป็นต้องใช้การกวนอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนแตก แต่จะใช้เวลานานขึ้นเพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสมาสัมผัสกันได้มากที่สุด (ศุภฤกษ์ สิ้นสุพรรณ,2528)

2.3.4 การควบคุมกระบวนการตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์

เครื่องมือในการทำจาร์เทสต์ ประกอบด้วยใบพัดสำหรับการกวนน้ำจำนวน 6 ใบ ที่หมุนรอบในแนวนอน ใช้ในการทดสอบน้ำตัวอย่างและสารโคแอกกูแลนต์ที่ใส่ในบีกเกอร์ โดยปกติในการทำจาร์เทสต์มีช่วงของการกวนเร็ว ซึ่งใช้ความเร็วรอบสูงและใช้เวลาน้อย ช่วงของการกวนเร็วจะเป็นช่วงในการเติมโคแอกกูแลนต์ลงในบีกเกอร์ที่ใช้ทดลองโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้สารเคมีที่ใช้มีการกระจายตัวออกและผสมกับน้ำอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ หลังจากการกวนเร็วแล้วจะเป็นช่วงการกวนช้า เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นสัมผัสกันและรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น หลังจากนั้นจึงปล่อยให้ตกตะกอนที่เกิดขึ้นแยกตัวออกจากน้ำ โดยปล่อยให้ตกตะกอน แล้วจึงนำน้ำใสส่วนบนมาวัดค่าต่างๆ ตามต้องการ

2.4 ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD)

มันสิน ตันทุลเวศน์ (2543) ได้กล่าวไว้ว่า การวิเคราะห์หาซีโอดีเป็นวิธีวิเคราะห์หาความสกปรกของน้ำเสียต่างๆ โดยการวัดปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ของน้ำเสียเพื่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นผลปฏิกิริยาสุดท้าย นอกจากนี้พวกกรดอะมิโน ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน เงื่อนไขสำคัญในการวิเคราะห์ซีโอดีคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันต้องเกิดขึ้นโดยอาศัยออกซิไดซิงเอเจนต์ (Oxidizing Agent) อย่างแรง ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเข้มข้นและมีอุณหภูมิสูง หลักการของซีโอดีจะคล้ายกับบีโอดีคือ สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์จนได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ เพียงแต่บีโอดีต้องใช้แบคทีเรียในการย่อยสลาย ส่วนซีโอดีใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์ ซีโอดีและบีโอดีต่างเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำ แต่ซีโอดีไม่สามารถจะบอกได้ถึงความยากง่ายในการย่อยสลายทางชีวภาพได้

เนื่องจากสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดส์ได้หมดหรือเกือบหมดไม่ว่าจะสามารถออกซิไดส์ได้ทางชีวภาพหรือไม่ แม้กระนั้นซีโอดีก็มีข้อดีที่ใช้เวลาในการหาเพียง 3 ชม. ในขณะที่การหาบีโอดีใช้เวลาถึง 5 วัน มีตัวแปรพื้นน้อยกว่าค่าที่ได้มีความแน่นอนน่าเชื่อถือกว่าและสารมีพิษไม่ขัดขวางการหาซีโอดี โดยปกติซีโอดีมักมีค่าสูงกว่าบีโอดี อัตราส่วนของค่าซีโอดีและค่าบีโอดีสำหรับน้ำเสียชนิดต่างๆ มีค่าไม่เท่ากันเพราะส่วนประกอบของน้ำเสียไม่เหมือนกัน อัตราส่วนระหว่างบีโอดีและซีโอดี (BOD:COD) อาจเป็นไปได้ตั้งแต่ 0.1-0.8 แต่ไม่เกิน 1 บีโอดีอาจมีค่าสูงกว่าซีโอดีได้แต่มีโอกาสน้อยมาก

ซีโอดีมีประโยชน์สรุปได้ดังนี้

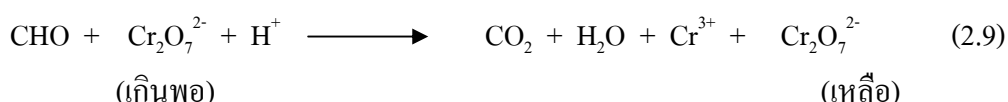
- 1) ถ้าใช้พิจารณาพร้อมกับค่าบีโอดี ทำให้บอกได้ว่าน้ำเสียนั้นมีแนวโน้มในการย่อยสลายโดยทางชีววิทยาได้ยากหรือง่ายเพียงใด
- 2) ใช้ในการประมาณค่าบีโอดีอย่างคร่าวๆ ถ้ารู้แหล่งกำเนิดหรือที่มาของตัวอย่างน้ำ
- 3) เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย
- 4) เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์สำหรับการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย
- 5) ใช้บอกความสกปรกของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ หรือจากบ้านเรือนได้
- 6) ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีเมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าบีโอดีสามารถบอกได้ว่าน้ำนั้นมีส่วนเป็นพิษหรือไม่

วิธีวิเคราะห์ซีโอดีโดยใช้โคโครเมตเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ มี 2 วิธี ดังนี้

1. วิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open Reflux Method)

วิธีรีฟลักซ์แบบเปิดเหมาะสำหรับหาค่าซีโอดีในช่วงกว้างๆ ต้องการใช้ปริมาณตัวอย่างมาก มีหลักการคือ ภายใต้สภาวะการรีฟลักซ์ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่มีอุณหภูมิสูง สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์โดยสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมตที่ทราบความเข้มข้นและมีปริมาณเกินพอที่ทราบจำนวน หลังจากรีฟลักซ์ วัดปริมาณโปแตสเซียมไดโครเมตที่เหลือโดยนำไปไทเตรตกับเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate) และใช้เฟอโรอิน (Ferroin) เป็นอินดิเคเตอร์ ทำให้ทราบปริมาณของโปแตสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ได้ ปฏิกริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

- เมื่อรีฟลักซ์ด้วย $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$



3) วัดความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำที่ปรับสภาพแล้วโดยการปรับพีเอชของตัวอย่างน้ำให้ได้เท่ากับค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 7.6

การวัดสีในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น วัดโดยหน่วยซิลิกา (Silica Scale Method) วัดโดยหน่วยแพลตตินัม-โคบอลต์ (Platinum-Cobalt Method) วัดโดยหน่วยโลวิบอนด์ (Lovibond Method) หรือวัดโดยหน่วยเอดีเอ็มไอ (ADMI Method; ADMI = American Dye Manufacturing Institute) เนื่องจากสีของน้ำจากสาเกิดจากสารอินทรีย์รวมกันอยู่หลายชนิด โดยเฉพาะ molasses melanoidin เป็นสารสำคัญที่ทำให้สีน้ำจากสาเป็นสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งการวัดสีของน้ำที่เกิดจากสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ นั้น เหมาะที่จะใช้วิธีวัดสีในหน่วยแพลตตินัม-โคบอลต์ (ASTM, 2000) โดยสีมาตรฐานที่ใช้จะเตรียมจากสารละลายมาตรฐานแพลตตินัม-โคบอลต์ สีที่มีความเข้ม 1 หน่วยแพลตตินัม-โคบอลต์ จะเกิดจากสารละลายแพลตตินัมจำนวน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของคลอโรแพลตตินेट (Chloroplatinate Ion) ซึ่งสีมาตรฐานที่เตรียมได้จะมีสีเหลืองใกล้เคียงกับสีของน้ำจากสาที่ผ่านการเจือจางแล้ว สำหรับวิธีวัดสีในหน่วยแพลตตินัม-โคบอลต์แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

2.6 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

ความรู้ที่ว่าถ่านเป็นสารดูดซับ (adsorbent) และสามารถนำมาใช้งานได้นั้นเกิดขึ้นมานานมาก ในศตวรรษที่ 13 ถ่านถูกนำมาใช้ในกระบวนการฟอกสารละลายน้ำตาล และต่อมาในช่วงปลายศตวรรษที่ 18 มีการสังเกตเห็นความสามารถของถ่านในการกำจัดสีจากของเหลว และในช่วงกลางศตวรรษที่ 19 ประเทศอังกฤษได้ใช้ถ่านในการกำจัดรสและกลิ่นจากน้ำดื่ม จุดเริ่มต้นเหล่านี้นำไปสู่การพัฒนาการผลิตน้ำประปาและการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ถ่านทั้งในชุมชนและอุตสาหกรรม อาทิเช่น โรงงานเหล้าไวน์และเบียร์ โรงงานกระดาษและเยื่อกระดาษ โรงงานยา โรงงานอาหาร อุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี เป็นต้น (Cheremisinoff และ Ellerbusch, 1978)

การดูดซับมีความสามารถกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย ที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยอาศัยกลไกทางฟิสิกส์เคมี สำหรับสิ่งเจือปนในน้ำเสียที่กระบวนการดูดซับกำจัดได้ เช่น สี กลิ่น บีโอดี ซีโอดี และยาฆ่าแมลง เป็นต้น (Metcalf และ Eddy, 1991)

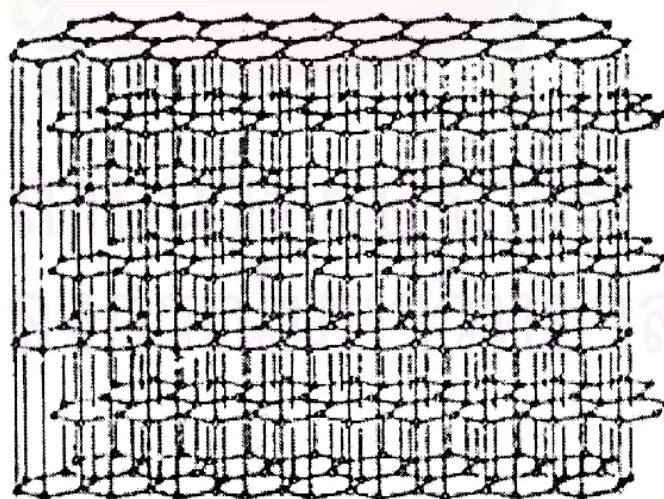
ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับชนิดสำคัญ ที่จากวัตถุดิบได้หลายชนิด คือ ไม้ชนิดต่างๆ ซี้เลื่อย ถ่านบิทมินัส กระจุก กะลามะพร้าว ลิกไนต์ ซากพืช โดยผ่านกระบวนการเพื่อทำให้เกิดรูพรุนจำนวนมากที่ผิว ในด้านคุณภาพถ่านจะแตกต่างกันไปตามชนิดวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์ที่นิยมใช้

สำหรับงานบำบัดน้ำเสียส่วนมากทำจากถ่านหินและถ่านโค้กชนิดต่างๆ เนื่องจากข้อได้เปรียบทางด้านราคาและแหล่งจำหน่าย

ถ่านดูดติดผิวแบ่งตามลักษณะทางกายภาพโดยอาศัยขนาดได้เป็น 2 ชนิดคือ ถ่านเม็ด (Granular Carbon) และถ่านผง (Powdered Carbon) เนื่องจากผ่านกระบวนการเพื่อทำให้เกิดรูพรุนจำนวนมากที่ผิวแล้วจึงเรียกว่าถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) สำหรับถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 0.1 มม. ส่วนถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรงเบอร์ 200

2.6.1 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

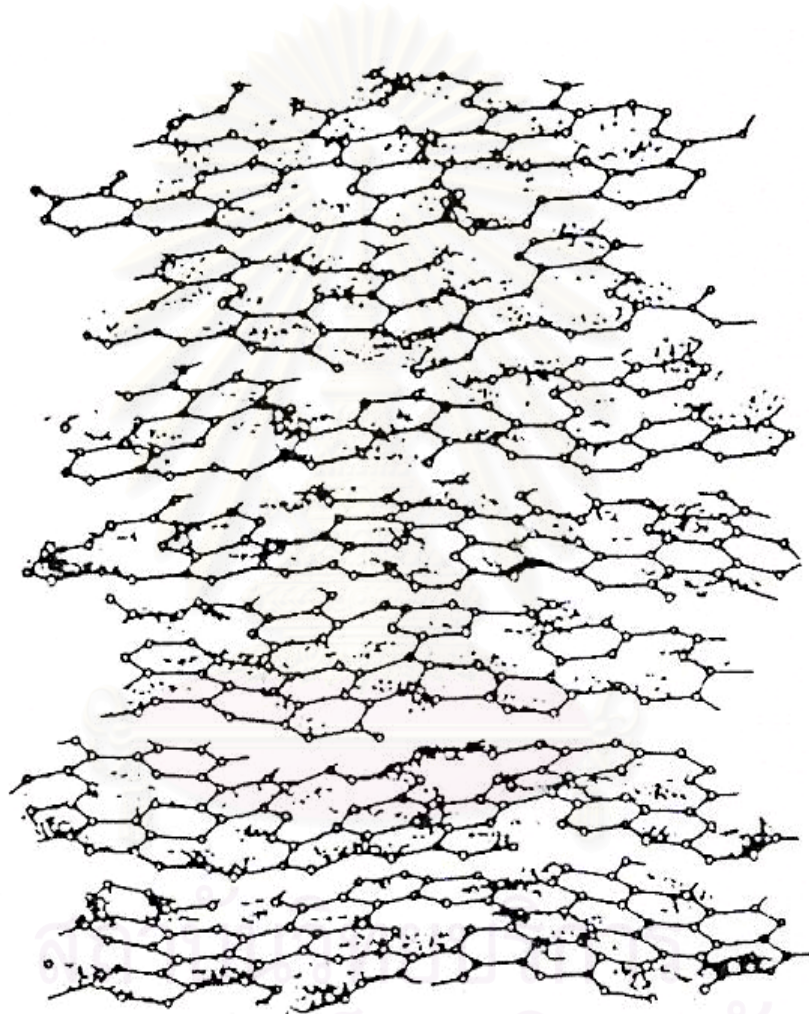
ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะคล้ายกราฟิต์ แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในของถ่านกัมมันต์ซึ่งมีมากมาย กราไฟท์ประกอบด้วยแผ่นชั้นที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนซึ่งเรียงตัวกันแบบหกเหลี่ยมด้านเท่า (Regular Hexagons) ระยะห่างระหว่างอะตอมของคาร์บอนในแต่ละชั้นมีขนาด 1.42 อังสตรอม โดยในแต่ละชั้นเรียงตัวขนานกันระยะห่างระหว่างชั้นมีขนาด 3.35 อังสตรอม อิเล็กตรอน 3 ใน 4 ตัวของคาร์บอนจะสร้างพันธะโควาเลนต์ (Covalent Bond) กับอะตอมที่ติดกัน ขณะที่อิเล็กตรอนตัวที่ 4 เคลื่อนที่ระหว่างโครงสร้างวาเลนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของกราฟิต์

ที่มา : Faust และ Aly, 1987

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์แตกต่างจากกราฟไฟท์ ซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นผลึกที่เล็กมาก (Microcrystallites) ประกอบด้วยวงแหวนเหลี่ยมด้านเท่าของอะตอมคาร์บอนผสมกัน เส้นผ่านศูนย์กลางของชั้นคาร์บอนที่สร้างผลึกเล็กๆ มีขนาดประมาณ 150 อังสตรอม และระยะทางระหว่างผลึกเล็กๆ นี้มีค่าอยู่ระหว่าง 20-25 อังสตรอม ดังแสดงในรูป 2.9



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.9 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ที่มา : Faust และ Aly, 1987

2.6.2 สมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

สมบัติบางประการของถ่านกัมมันต์ ที่นำมาใช้สำหรับกำหนดการใช้งานของถ่านกัมมันต์ นั้นๆ (Cheremisinoff และ Ellerbusch, 1978) คือ

- 1) พื้นที่ผิว (Surface Area) : ใช้กำหนดขีดความสามารถของการดูดซับ
- 2) ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density) : ใช้บอกถึง โอกาสสูญเสียจากการใช้งาน
- 3) ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (Bulk Density) : ใช้กำหนดปริมาณถ่านที่ใช้
- 4) ขนาดประสิทธิผล (Effective Size) : กำหนดสภาพทางชลศาสตร์
- 5) ปริมาตรรูพรุน (Pore Volume) : ใช้กำหนดการดูดซับของโมเลกุล
- 6) การวิเคราะห์ผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) : ใช้ตรวจสอบและกำหนดการบ่งคับการควบคุมระบบ
- 7) อะบราชันนัมเบอร์ (Abrasion Number) : ระบุถึงความคงทนต่อการขัดสี
- 8) ร้อยละของขี้เถ้า (Ash Content) : ระบุปริมาณกากที่เหลือจากการเผา
- 9) ความชื้น (Moisture) : ระบุถึงปริมาณน้ำในถ่านกัมมันต์
- 10) ไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine Number) : ใช้กำหนดความจุของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
- 11) โมลาสนัมเบอร์ (Molasses Number) : ใช้กำหนดความจุของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
- 12) ฟีนอลนัมเบอร์ (Phenol Number) : ใช้กำหนดความจุของการดูดซับ
- 13) ขนาดรูพรุน (Pore Size) : ใช้กำหนดขีดจำกัดในการดูดซับโมเลกุลจำเพาะบางชนิด

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ในท้องตลาด

Physical Properties and Specifications	Atlas Darco	Calgon Filtrisorb 300	Calgon Filtrisorb 400	Westvaco		Witco 517
				8 × 10	12 × 40	
Surface area, m ² /g(BET)	600-650	950-1,050	1,000-1,200	850	850	1,050
Apparent density, g/cc	0.38	0.48	0.44	-	-	0.48
Density, backwashed and drained lb/ft ³	24	26	25	30	30	30
Real density, g/cc	-	3.1	3.1	-	-	-
Particle density, g/cc	0.67	1.3-1.4	1.3-1.4	1.4	1.4	0.92
Effective size	-	0.8-0.9	0.55-0.65	0.90	0.65	-
Uniformity coefficient	-	1.9 or less	1.9 or less	1.8	1.6	-
Pore volume, cc/g	0.98	0.85	0.94	-	-	0.60
Mean particle diameter, mm	1.05	1.5-1.7	0.9-1.1	-	-	-
Sieve size (U.S. Std. Series)						
Larger than no. 8-max. %	-	8	-	2	-	-
Larger than no. 12-max. %	5	-	5	-	2	a
Larger than no. 30-max. %	-	5	-	1	-	a
Larger than no. 40-max. %	5	-	5	-	1	-
Iodine number	650	900	1,000	850	850	-
Abrasion no. Minimum	-	70	75	70	70	85
Ash, %	-	8	8.5	7	7	0.5
Moisture as packed, max. %	-	2	2	2	2	-

ที่มา : Faust และ Aly, 1987

จากตารางที่ 2.4 เป็นคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ถูกนำมาใช้ในการเลือกชนิดของถ่านกัมมันต์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ถ่านกัมมันต์ที่มีโครงสร้างพื้นผิวของออกซิเจนที่มีขั้ว (Polar) เหมาะสำหรับการดูดซับสารอินทรีย์ที่มีขั้ว (Polar Organic) ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ไม่มีโครงสร้างพื้นผิวของออกซิเจน เหมาะสำหรับการดูดซับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว (Non-polar) ซึ่งหมู่ฟังก์ชันนอลบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีผลอย่างมากต่อความจุของการดูดซับ เช่น หมู่ฟังก์ชันนอลคาร์บอกซิล (Carboxylic Group) จะทำให้ความจุการดูดซับที่ลดลง เป็นต้น (อิชิซึ, 2539)

2.7 กระบวนการดูดติดผิว

การดูดติดผิว (Adsorption) เป็นการสะสมของสารมากกว่าสองชนิดที่บริเวณผิว 2 สถานะ เช่น ของเหลวและของแข็ง หรือก๊าซและของแข็ง โมเลกุลที่สะสมหรือเกาะติดที่ผิวเรียกว่า สารถูกดูดติดผิว (Adsorbate) และของแข็งซึ่งมีการเกาะติดที่ผิวเกิดขึ้นเรียกว่า สารดูดติดผิว (Adsorbent) ซึ่งสารดูดติดผิวในการบำบัดน้ำเสียนอกจากถ่านกัมมันต์แล้ว ได้แก่ Adsorbent Resins Ion Exchange Resins Metal Oxides Hydroxides and Carbonates Clays Activated Alumina และของแข็งอื่นๆ ที่แขวนลอยอยู่หรือสัมผัสกับน้ำ

การดูดติดผิวมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เนื่องจากสามารถใช้ดูดติดผิวโมเลกุลของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่น สี เชื้อโรค และสารพิษต่างๆ ซึ่งถ่านกัมมันต์สามารถใช้ดูดติดผิวโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่น สี และสารอันตรายต่างๆ เช่น กรดไขมันของอูมิเนียมไฮดรอกไซด์และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ที่เป็นของแข็งอันเกิดจากการรวมตัวระหว่างการทำโคแอกกูเลชัน จะดูดติดผิวสีซึ่งเกิดจากโมเลกุลและสารประกอบจากปฏิกิริยาของคลอรีนกับไตรฮาโลมีเทน หรือยาฆ่าแมลงที่ถูกดูดติดผิวในเม็ดดินเหนียว เป็นต้น (Frederick, 1990)

2.7.1 กลไกการดูดติดผิว (Adsorption Mechanism)

การดูดติดผิวของสารประกอบอินทรีย์เกิดจากแรงรวมตัว (Binding Force) หลายชนิดระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยสามารถแบ่งการดูดติดผิวได้เป็น 2 แบบ คือ การดูดติดผิวทางกายภาพ (Physisorption) และการดูดติดผิวทางเคมี (Chemisorption) การดูดติดผิวทั้ง 2 แบบนี้ เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลสารถูกดูดติดผิวเข้าไปใกล้และยึดติดกับผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของถ่านกัมมันต์ สามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิว ซึ่งความแตกต่างของการดูดติดผิวทางกายภาพและทางเคมี มีดังนี้

1) การดูดติดผิวทางกายภาพ จะทำให้เกิดการคายตัว (Desorption) ของโมเลกุลสารถูกดูดติดผิวได้ ซึ่งจะเกิดได้ทั้งการดูดติดผิวและการคายตัวในเวลาเดียวกัน แต่การดูดติดผิวทางเคมีจะหมายถึงการใช้พันธะเคมีในการยึดเหนี่ยวระหว่างถ่านกัมมันต์และสารถูกดูดติดผิวโดยที่โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวจะไม่สามารถแยกตัวออกไปได้อีก

2) การดูดติดผิวทางกายภาพจะไม่มีพื้นที่เฉพาะ โมเลกุลสารถูกดูดติดผิวจะเป็นอิสระในการเข้าไปติดยังพื้นผิว พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดติดผิวสามารถวัดได้จากถ่านกัมมันต์ ในทางตรงข้ามการดูดติดผิวทางเคมีจะมีพื้นที่เฉพาะ โมเลกุลที่ถูกดูดติดผิวทางเคมีจะมีพื้นที่ตายตัว

3) ความร้อนที่เกิดจากการดูดติดผิวทางกายภาพมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดติดผิวทางเคมี การดูดติดผิวทางกายภาพจะมีความร้อนที่เกิดสูงสุดประมาณ 20 กิโลแคลอรีต่อ โมล ในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนเล็กๆ ส่วนความร้อนในการดูดติดผิวทางเคมีจะอยู่ในช่วง 20-100 กิโลแคลอรีต่อ โมล ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถเป็นเกณฑ์ในการแยกประเภทของกระบวนการในการดูดติดผิวได้

การดูดติดผิวทางเคมี มีลักษณะสำคัญที่เกิดปฏิกิริยาอันนำมาซึ่งความร้อนที่สูงจากพันธะทางเคมีที่เกิดขึ้น อาทิ การหมุนตัวของอิเล็กตรอน การเกิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และพันธะเคมีจากการรวมตัวของสารดูดติดผิวกับสารที่ถูกดูดติดผิว และเนื่องจากพันธะทางเคมีนี้ส่งผลให้เกิดอุณหภูมิที่สูงขึ้นด้วย

การดูดติดผิวทางกายภาพเป็นผลมาจากแรงวันเดอวาลส์ (Van der Waals' Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London Dispersion Force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force) โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวจะยึดติดกันทางกายภาพกับโมเลกุลของถ่านกัมมันต์ การดูดติดผิวแบบนี้เป็นการดูดติดผิวแบบหลายชั้น (Multilayers) กล่าวคือ แต่ละชั้นของโมเลกุลจะเกิดอยู่บนชั้น โมเลกุลที่ถูกดูดติดก่อนหน้านี้ โดยจำนวนชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิว หรือจำนวนชั้นของโมเลกุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดติดผิวเพิ่มขึ้น ดังนั้นการดูดติดผิวทางกายภาพจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญได้แก่ การจัดเรียงตัวของโมเลกุล (Orientation) การกระจายตัว (Dispersion) และการเหนี่ยวนำ (Induction) สำหรับโมเลกุลที่มีขั้วนั้น แรงดึงดูดจะเกิดจากการเรียงตัวของโมเลกุลซึ่งเป็นแรงดึงดูดที่เกิดจากโมเลกุลที่มีขั้วสองโมเลกุลคือ ขั้วลบของโมเลกุลหนึ่งดึงดูดกับขั้วบวกของอีกโมเลกุลหนึ่ง สำหรับโมเลกุลที่ไม่มีขั้วนั้นการดูดติดผิวจะเกิดแบบกระจายตัวหรือเกิดการสั้นของอิเล็กตรอนรอบๆ นิวเคลียสของอะตอม ทำให้พลังงานของระบบลดลง ระบบจึงมีความเสถียรขึ้นทำให้โมเลกุลสามารถเข้ามาเกาะติดกันได้ (Faust และ Aly, 1987)

2.7.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecular Transfer)

การดูดติดผิวของสารประกอบที่เป็นของเหลวเข้าไปยังถ่านกัมมันต์ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องรู้อัตราการดูดติดผิว เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบทั้งแบบแบทช์ (Batch Test) หรือแบบคอลัมน์ รวมไปถึงการทำโมเดลด้วย อัตราการดูดติดผิวที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น ขั้นตอนในการดูดติดผิวของสารจากสารละลาย โดยถ่านกัมมันต์มี 3 ขั้นตอนที่เกิดอย่างต่อเนื่อง ดังนี้

1) การขนส่งทั้งก้อน (Bulk Transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดเร็วที่สุด โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวในน้ำจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ ที่ห่อหุ้มถ่านกัมมันต์ ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถเห็นถึงชั้นฟิล์มที่อยู่รอบๆ เม็ดคาร์บอน แต่สามารถอธิบายการต้านทานของมวลที่ถูกส่งไปยังพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ได้จากสมการ

$$K_f = D_c/\delta \quad (2.11)$$

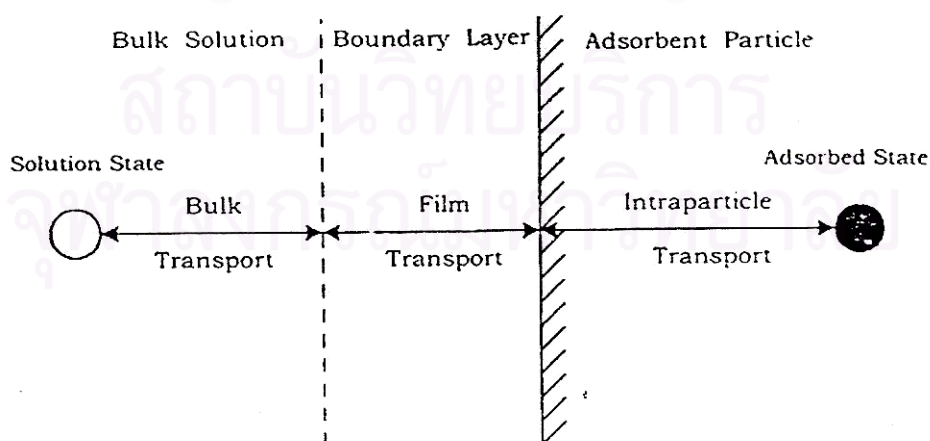
เมื่อ K_f คือ สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของมวล

D_c คือ พลังงานของสารถูกดูดติดผิวที่ใช้ในการเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวถ่าน

และ δ คือ ความหนาแน่นของชั้นของเหลว

2) การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้น โดยการแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดติดผิวขั้นตอนหนึ่ง

3) การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle Transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลสารถูกดูดติดผิวเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ (Pore Diffusion) และทำให้เกิดการดูดติดผิวขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดติดผิวเช่นเดียวกัน แสดงการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวมายังถ่านกัมมันต์ได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์
ที่มา : Eckenfelder, 1981

2.7.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว

2.7.3.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์

ความสามารถดูดติดผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ โดยอัตราการเคลื่อนที่ของสารถูกดูดติดผิวเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ จะถูกควบคุมโดยชั้นของเหลวที่ห่อหุ้มโดยรอบถ่านกัมมันต์ ดังนั้นอัตราการดูดติดผิวจะมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านกัมมันต์ ในทางตรงกันข้าม ถ้าการเคลื่อนที่ภายในรูพรุนเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดติดผิว อัตราการดูดติดผิวจะเป็นสัดส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านกัมมันต์

2.7.3.2 ลักษณะของสารถูกดูดติดผิว

ความสามารถในการละลายน้ำ ของสารถูกดูดติดผิวเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดติดผิว การดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้น เมื่อความสามารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดติดผิวในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดติดผิวสารถูกดูดติดผิวจะต้องถูกแยกออกจากน้ำ โดยสารถูกดูดติดผิวที่ละลายน้ำได้ดีหรือแตกตัวเป็นไอออนได้ดีจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูงจึงเป็นการยากในการดูดติดผิว ดังนั้น สารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถถูกดูดติดผิวได้ดี นอกจากความสามารถในการละลายแล้ว ขนาดโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวยังมีความสัมพันธ์กับการดูดติดผิว ซึ่งถ้าอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกแล้ว ความสามารถในการดูดติดผิวจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวละลาย (Weber, 1972)

2.7.3.3 พีเอช (pH)

พีเอชมีอิทธิพลต่อการดูดติดผิวเนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) การดูดติดผิวมีผลมาจากพีเอชของสารละลายกับประจุบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้พีเอชยังมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออน และการละลายน้ำของสารต่างๆ อีกด้วย

2.7.3.4 อุณหภูมิ

Weber (1972) กล่าวว่า การดูดติดผิวโดยทั่วไป เป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic) ดังนั้น ความสามารถในการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิ แต่อัตราเร็วในการดูดติดผิวจะลดลง ในทางตรงข้ามเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง แต่อัตราเร็วในการดูดติดผิวจะสูงขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิมิจะมีผลต่อความสามารถในการดูดติดผิว โดยเปลี่ยนความสามารถในการละลาย เช่น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิซึ่งโดยปกติจะทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดูดติดผิวลดลง

2.7.3.5 ความปั่นป่วน

ความเร็วในการดูดติดผิวขึ้นอยู่กับ การแพร่ภายนอก และการแพร่ภายในซึ่งขึ้นกับ ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ชั้นฟิล์มของเหลวซึ่งล้อมรอบถ่านกัมมันต์จะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาถ่านกัมมันต์ ดังนั้น การแพร่ภายนอกเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ในทางตรงข้ามถ้าความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบางๆ ทำให้การแพร่ภายในเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ความปั่นป่วนในถังดูดติดผิวคือ ความเร็วของน้ำที่ผ่านถังต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด ซึ่งตามทฤษฎีถ้าเพิ่มความเร็วจะทำให้ อัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงขึ้น เนื่องจากความปั่นป่วนสูงขึ้น

2.7.3.6 เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดติดผิวและอายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์ Lee Snoeyink และ Crittenden (1983) กล่าวว่า เวลาสัมผัสและความเข้มข้นของสารเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์โดยถ้าเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของน้ำเข้าลดลงแล้ว อายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์จะนานขึ้น เวลาสัมผัสที่ใช้ในการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์อื่น เช่น พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดติดผิว ลักษณะขนาดรูพรุน ชนิดและขนาดโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวในสารละลาย และชนิดของถ่านกัมมันต์

2.7.3.7 พารามิเตอร์อื่นๆ

พารามิเตอร์อื่นๆ ที่เป็นปัจจัยและมีผลต่อการดูดติดผิวนอกเหนือจากพารามิเตอร์หลักที่กล่าวมาแล้ว ได้แก่ ความดัน (Pressure) อัตราการกรอง (Filtration Rate) ความเปียก (Wettability) ฝุ่น (Dustiness) อุณหภูมิที่ติดไฟ (Ignition Temperature) การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) น้ำมันที่ถูกกักเก็บ (Oil Retention) ความชื้น (Moisture) ปริมาณเถ้า (Total Ash) ความต้านทานการสึกกร่อน (Resistance to Attrition) ความแข็ง (Hardness) สารอนินทรีย์ที่ละลายกรด (Acid-Soluble Inorganics) เป็นต้น

2.7.4 ไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption Isotherm)

การออกแบบระบบดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ มีความจำเป็นที่ต้องทำการทดลองเพื่อให้ได้ ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ในขั้นการทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test) การทดลองเพื่อหาความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ทำได้หลายวิธี วิธีที่นิยมมากที่สุดคือ การหาไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับคือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารนั้นที่ยังเหลืออยู่ที่จุดสมดุลของการดูดซับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้รูปสมการอย่างง่าย แล้วสามารถนำมาวาดกราฟเพื่อวิเคราะห์หาค่าคงที่ต่างๆ ได้ ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการนำค่าคงที่นั้นมาออกแบบระบบดูดซับ ได้มีผู้วิเคราะห์ไอโซเทอมไว้ 3 กลุ่มคือ ของ Langmuir, B.E.T. และ Freundlich ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.7.4.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองแลงมัวร์ที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model คือ พลังงานในการดูดซับมีค่าคงที่และไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของพื้นที่ผิว การดูดซับจะเกิดเฉพาะที่โมเลกุลเดียวโดยไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับ ซึ่งมีสมการดังนี้

$$X = (X_m b C_e) / (1 + b C_e) \quad (2.12)$$

โดยที่ X = ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

X_m = ปริมาณสูงสุดของการดูดซับ (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

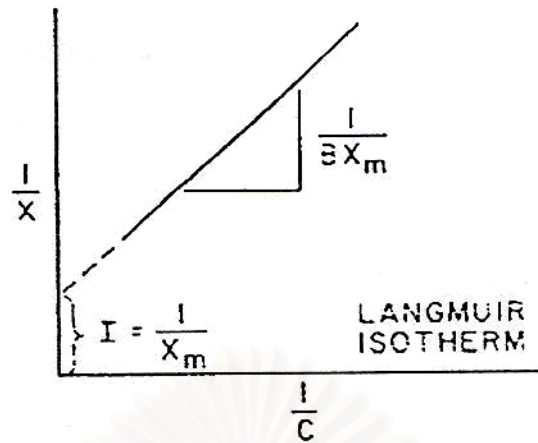
C_e = ความเข้มข้นสารที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ

เปลี่ยนเป็นรูปของสมการเส้นตรงได้ดังสมการที่ (2.13)

$$1/X = (1/X_m) + (1/C_e)(1/bX_m) \quad (2.13)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/X$ กับ $1/C_e$ ซึ่งเป็นเส้นตรงจะมีความชัน $1/bX_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m$ (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.11 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ แลงมัวร์

ที่มา : Valencia และ Gloyna, 1972

2.7.4.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ BET (Brunauer-Emmett-Teller Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมแบบ BET พัฒนามาจากไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ จากการดูดซับแบบชั้นเดียวเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayers) ซึ่งแบบจำลองของ BET มีพื้นฐานอยู่บนสมมติฐานที่ว่าแต่ละโมเลกุลในชั้นดูดซับชั้นแรก เป็นบริเวณที่ซึ่งโมเลกุลชั้นที่สองและชั้นต่อไปดูดซับ

$$X = (X_m b C_s) / (C_s - C_s) [1 + (b-1) C_s / C_s] \quad (2.14)$$

โดยที่ X = ปริมาณสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักสารดูดซับ (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

X_m = ปริมาณสูงสุดของการดูดซับตัวกลางชั้นเดียว (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

C_s = ความเข้มข้นสารถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

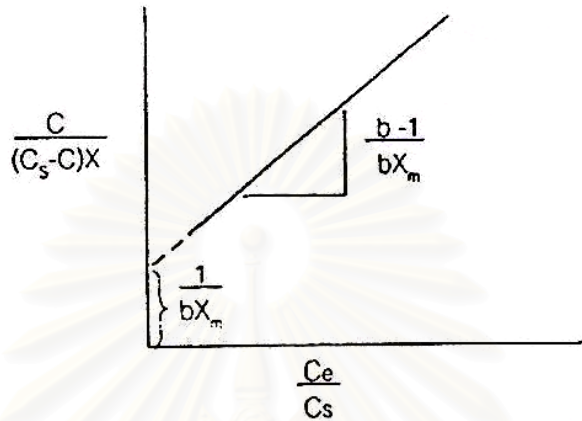
C_s = ความเข้มข้นสารถูกดูดซับอิ่มตัว (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ

สมการ (2.14) เปลี่ยนรูปเป็นสมการเส้นตรงดังสมการ (2.15)

$$C_s / X(C_s - C_s) = (1/X_m b) + [(b-1)/X_m b] (C_s / C_s) \quad (2.15)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C_e/X(C_s-C_e)$ กับ C_e/C_s ได้กราฟเส้นตรงมีความชัน $(b-1)/X_m b$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m b$ (รูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.12 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ BET

ที่มา : Valencia และ Gloyna, 1972

2.7.4.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการดูดซับแบบฟรุนดลิชใช้อย่างแพร่หลาย ในการอธิบายการดูดซับในระบบของเหลว โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีสมการดังนี้

$$X/M = KC_e^{1/n} \quad (2.16)$$

โดยที่ X/M = ปริมาณสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักสารดูดซับ (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

C_e = ความเข้มข้นสารถูกดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

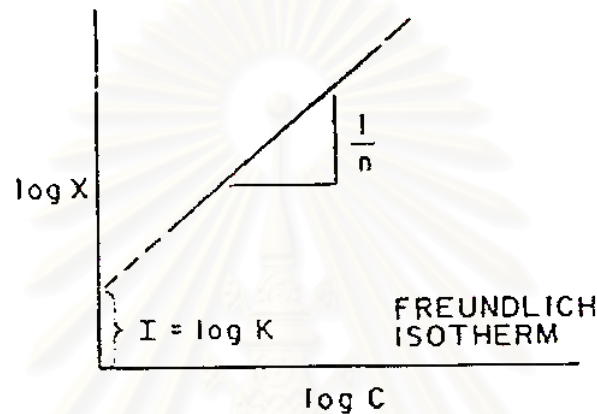
K = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ

$1/n$ = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

สมการ (2.16) สามารถเขียนในรูปแบบลอการิทึม ได้เป็น

$$\text{Log}(X/M) = \text{log } K + 1/n \text{ log } C_e \quad (2.17)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log(X/M)$ กับ $\log C_e$ จะเป็นเส้นตรง ซึ่งมีความชัน $1/n$ และ $\log K$ เป็นจุดตัดแกน y ของ $\log(X/M)$ ที่ $\log C_e = 0$ ($C_e = 1$) ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งสมการของ Freundlich บอกถึงความสามารถดูดซับของถ่านกัมมันต์โดย K แสดงถึงความจุดูดซับและ $1/n$ แสดงถึงสภาวะการดูดซับที่ความเข้มข้นนั้น ถ้า $1/n$ มีค่าน้อยกว่า 1 หมายถึงถ่านเกิดการดูดซับสารปนเปื้อนได้ดี ถ้า $1/n$ มีค่ามากกว่า 1 หมายถึงถ่านเกิดการดูดซับสารปนเปื้อนได้ไม่ดี (Mihelcic, 1999)



รูปที่ 2.13 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich
ที่มา : Valencia และ Gloyna, 1972

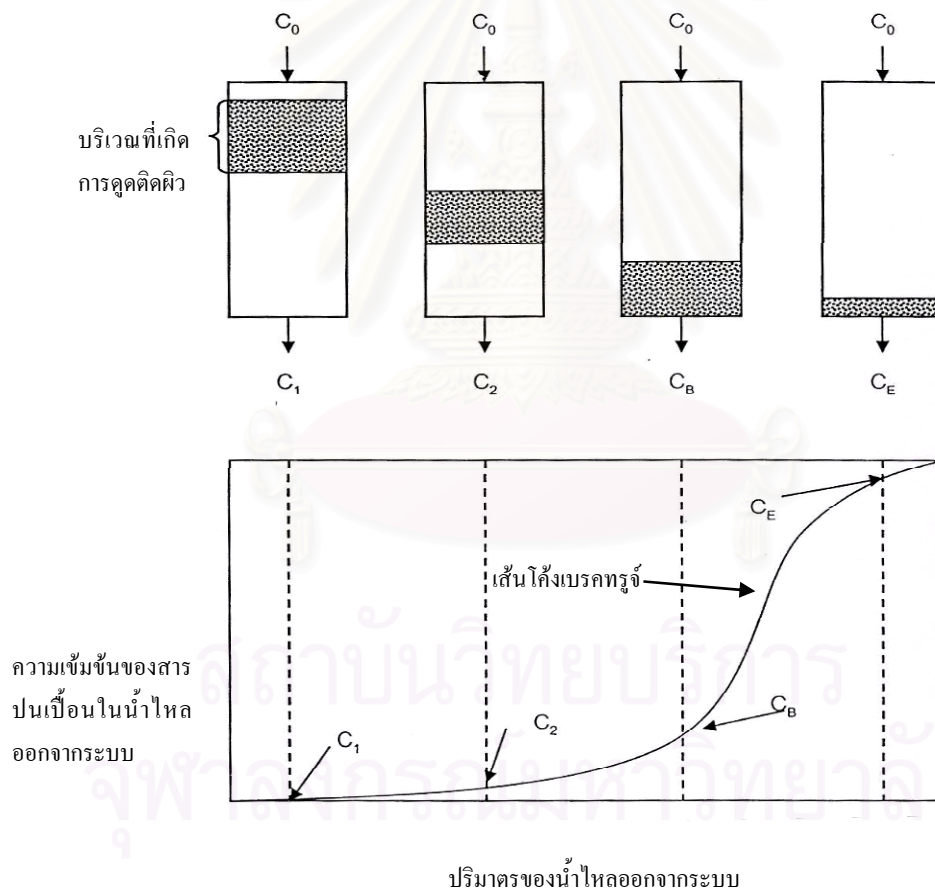
2.8 ถังดูดซับแบบแท่ง

การหาไอโซเทอมการดูดซับนั้น เป็นการทดลองแบบชั่วคราว ซึ่งบอกให้ทราบได้ว่าการดูดซับด้วยถ่านนั้นจะใช้ได้ผลดีหรือไม่ ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นยังไม่เพียงพอสำหรับการออกแบบระบบบำบัดโดยใช้การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดลองแบบแท่งโดยใช้คอลัมน์ขนาดเล็กแทนถังบรรจุถ่านกัมมันต์ น้ำเสียไหลผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ก้นที่ ลักษณะการดูดซับเริ่มเกิดขึ้นบริเวณส่วนบนของถังดูดซับแบบแท่ง แล้วค่อยๆ เคลื่อนที่ลงสู่ส่วนล่างของชั้นถ่านกัมมันต์ จนกระทั่งหมดสภาพการดูดซับที่ส่วนล่างของชั้นถ่านกัมมันต์ ดังนั้นความเข้มข้นของสิ่งสกปรกในน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับแล้วจะเพิ่มขึ้นตามเวลาหรือปริมาณน้ำเสีย จนในที่สุดความเข้มข้นของสิ่งสกปรกในน้ำเสียที่ผ่านถังดูดซับแบบแท่งจะเท่ากับความเข้มข้นที่เข้าสู่ระบบ

รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำที่ผ่านชั้นถ่านกัมมันต์แล้ว ต่อความเข้มข้นเริ่มต้น เทียบกับปริมาณน้ำที่ผ่านชั้นถ่านกัมมันต์ คือ เส้นโค้งที่

เรียกว่า เส้นโค้งเบรคทรูจ (Breakthrough Curve) ณ จุดที่การดูดซับของถ่านกัมมันต์เริ่มทำงานไม่ได้ประสิทธิภาพ เรียกว่าจุดเริ่มหมดสภาพ และหลังจากจุดนี้ต่อไปเป็นเส้นตรงที่มีความชันเพิ่มขึ้น คือประสิทธิภาพการดูดซับค่อยๆ ลดลง จนถ่านกัมมันต์หมดสภาพจนไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้อีก เส้นโค้งเบรคทรูจแสดงในรูปที่ 2.14 ที่จุด C_E ที่เรียกว่าจุดหมดสภาพ (Breakthrough Point) ระยะเวลานับจากเริ่มต้นการดูดซับจนถึงจุดเริ่มหมดสภาพ เรียกว่า Breakpoint Time ซึ่งจะมีค่าลดลงถ้า

- ความสูงของชั้นถ่านลดลง
- เม็ดถ่านมีขนาดใหญ่ขึ้น
- อัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้น
- ความเข้มข้นของสารที่จะถูกดูดซับเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.14 ระบบดูดซับแบบไหลต่อเนื่อง
ที่มา : เกรียงศักดิ์, 2542

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Black และ Hannah (1961) ได้ทำการทดลองใช้โพลีเมอร์เป็นโคแอกกูแลนต์เอคร่วมกับสารส้ม พบว่าการใช้โพลีเมอร์ประจุลบจะให้ผลดีที่สุดเมื่อประจุของอนุภาคลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ โดยการใส่สารส้ม ส่วนโพลีเมอร์ประจุบวกจะให้ผลดีที่สุดเมื่อเติมสารส้มในปริมาณน้อย การใช้โพลีเมอร์เป็นโคแอกกูแลนต์เอคจะสามารถเพิ่มหรือยับยั้งการทำลายเสถียรภาพและการสร้างฟล็อกได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการเติมสารส้มและโพลีเมอร์

Chang (1988) ศึกษาการใช้สารส้มในการลดสีและมลสารอื่นๆ จากน้ำชะมูลฝอย พบว่าสารส้ม 1,000 มก./ล. ที่พีเอช 5.5 สามารถลดสีได้ร้อยละ 92 ลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 72 ลดแคะเมียมได้ร้อยละ 80 และลดโครเมียมได้ร้อยละ 87

Cheasavathi (1992) ศึกษาการกำจัดสี ซีโอดีและแมงกานีสจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมยีนส์ โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยอลูมิเนียมซัลเฟต โซเดียมอลูมิเนตและสารช่วยตกตะกอนชนิด nonionic พบว่าใช้สารอลูมิเนียมซัลเฟต 25 มก./ล. ที่ pH = 7 กำจัดสีร้อยละ 89.5 ความขุ่นร้อยละ 84.1 ซีโอดีร้อยละ 35.4 แมงกานีสร้อยละ 25.8 แต่ถ้าหากเพิ่มโซเดียมอลูมิเนต 30 มก./ล. จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีเป็นร้อยละ 93.5 ความขุ่นร้อยละ 89.9 ซีโอดีร้อยละ 38.2 และแมงกานีสร้อยละ 36.6 ยิ่งไปกว่านั้นประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้นโดยสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 98.0 ความขุ่นร้อยละ 96.6 ซีโอดีร้อยละ 37.2 และแมงกานีสร้อยละ 29.7 เมื่อใช้โพลีเมอร์ชนิด nonionic ปริมาณ 3 มก./ล. ร่วมด้วย เวลาที่ใช้ในการผสมเป็นดังนี้ : 3 นาทีในการกวนเร็ว (100 รอบ/นาที) 30 นาทีในการกวนช้า (40 รอบ/นาที) และ 30 นาทีในการทิ้งไว้ให้ตกตะกอน

Hotton และ Simpson (1986) ศึกษาการกำจัดสีในน้ำโสโครกโดยใช้สารเคมี 3 ชนิด คือ สารส้ม เฟอร์ริกซัลเฟตและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ โดยพิจารณาความสามารถในการกำจัดสีที่คำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ย “Weighted” สำหรับการกำจัดสีที่พิจารณาค่าความสามารถในการดูดซึมความยาวคลื่นแสง 6 ค่า คือที่ 340 420 500 580 660 และ 740 นาโนเมตร ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสารส้มมีประสิทธิภาพการกำจัดสีได้ดีที่สุด โดยลดสีในน้ำโสโครก ตัวอย่าง A B C และ D ได้ร้อยละ 68 37 28 และ 39 ตามลำดับ และเฟอร์ริกซัลเฟตมีประสิทธิภาพในการลดสีได้ดีที่สุด โดยลดสีในน้ำตัวอย่าง A B C และ D ได้ร้อยละ 56 41 26 และ 25 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้อลูมิเนียมซัลเฟตกำจัดอนุภาคสีจะส่งผลให้ลดค่าซีโอดีในน้ำตัวอย่างได้ร้อยละ 19.4 ถึง 40

Luhadia, Kaushik และ Murthy (2003) ศึกษาการบำบัดสีและซีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยใช้ ถ่านกัมมันต์ที่ขายเป็นการค้า เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขี้เลื่อยและกะลามะพร้าวซึ่งถูกกระตุ้นทางเคมีด้วย $ZnCl_2$ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ขายเป็นการค้าให้ค่าความจุการดูดซับสีและซีโอดีได้ดีกว่า อีกทั้งถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากวัสดุทั้งสองชนิดดังกล่าวต้องใช้สารเคมีจำนวนมากในการกระตุ้น

Thierry และคณะ (1999) ได้ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟล็อกคูเลชัน โดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิดคือ เฟอร์ริกคลอไรด์ อะลูมินัมซัลเฟต และอะลูมินัมโพลีคลอโรซัลเฟต สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชัน-ฟล็อกคูเลชันขึ้นกับค่าพีเอช โดยเฟอร์ริกคลอไรด์มีประสิทธิภาพสูงสุดที่พีเอช 5.5 และพีเอช 7.0 สำหรับสารโคแอกกูแลนต์ที่มีอะลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบ

Satyawali และคณะ (2007) การทดลองนี้ได้ทดสอบตัวอย่างคาร์บอน 19 ซึ่งเตรียมโดยกรดและใช้ความร้อนในการกระตุ้นทำให้เป็นกาก เตรียมจาก ชานอ้อย แฉ่ายชานอ้อย ขี้เลื่อย ขี้เถ้าจากต้นไม้ และข้าวเปลือก สำหรับการกำจัดสี น้ำกากสำ ถ่านชานอ้อยที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก B (PH) แสดงการกำจัดสีได้สูงสุดร้อยละ 50 อย่างไรก็ตาม ถ่านกัมมันต์ทางการค้า AC (ME) และ AC (LB) สามารถกำจัดสีได้ดีกว่า โดยกำจัดสีได้มากกว่าร้อยละ 80 นอกจากการกำจัดสี ถ่านกัมมันต์ ยังลดค่าซีโอดี ค่าทีโอซี กรดฟีนอล และค่าทีเคเอ็นด้วย นอกจากนี้การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับผิว melanoidins อันเป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดสีน้ำกากสำแสดงให้เห็นว่าไอโซเทอมแบบ Langmuir มีความเหมาะสมในการที่จะนำมาทำนายกลไกการกำจัดสีน้ำกากสำ

Veronica และคณะ (1993) ได้ศึกษาการลดสีของน้ำกากสำ โดยใช้สารอนินทรีย์ที่ทำให้เกิดกระบวนการฟล็อกคูเลชัน พบว่า การกำจัดสารเมลานอยดินในน้ำกากสำ โดยใช้สารตกตะกอน polyferric hydroxysulfate ที่ใช้ทางการค้ามีสูตรทางเคมี $[Fe_2(OH)_n(SO_4)_{3-n/2}]_m$ ในปริมาณ 40 ml/l ทำให้เกิดการลดสีได้ร้อยละ 32 87 และ 94 สำหรับน้ำกากสำ น้ำเสียที่ผ่านการย่อยสลายและน้ำเสียในบ่อพักหลังการย่อยสลาย ตามลำดับ ปริมาณของสารตกตะกอนร้อยละ 4 โดยปริมาตร สามารถลดคาร์บอนรวม ได้ร้อยละ 21 สำหรับน้ำกากสำ และค่าเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 73 สำหรับน้ำเสียที่ผ่านการย่อยสลายและน้ำเสียในบ่อพักหลังการย่อยสลาย จำนวนของสารฟลูออไรด์ไอออนที่ได้รับทำให้เกิดการลดสี ซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กันสูงเมื่อเติม CaO ที่อัตราส่วน 30 กรัมต่อลิตร ทำให้สีของน้ำกากสำลดลงร้อยละ 93

จักริน (2549) ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ผลการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขามมีประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำชะมูลฝอยดีที่สุด ที่พีเอช 8 และเวลาสัมผัส 90 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำชะมูลฝอยเท่ากับร้อยละ 58.69 และ 61.78 ตามลำดับ จากการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ สามารถอธิบายได้ด้วยไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช โดยมีค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับ (K) เท่ากับ 1.65 แพลทดินัม-โคบอลต์ต่อกรัม และ $1/n$ มีค่าเท่ากับ 0.7876 สำหรับการทดลองแบบต่อเนื่อง ที่อัตราการระบรทุกทางชลศาสตร์ 0.6 ม.³/ม.²-ชม. โดยทำการเก็บตัวอย่างที่ชั้นความสูง 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร สามารถบำบัดน้ำชะมูลฝอยได้ 4.85 5.88 6.63 และ 8.94 ลิตร ตามลำดับ

ถลิตา (2544) ศึกษาการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดซับ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ในการทดลองนี้ได้ใช้เปลือกทุเรียนและเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับพบว่า การดูดซับตะกั่วจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีพีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้น และที่พีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นตั้งแต่ 4 ขึ้นไป พบว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสูงกว่าร้อยละ 90 ผลของเวลาสัมผัสพบว่า สมดุลของการดูดซับสำหรับถ่านทั้งสองชนิดคือ 10 นาที ผลของการหาไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช แสดงให้เห็นว่าถ่านเปลือกทุเรียนมีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าถ่านเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ สำหรับการทดลองแบบต่อเนื่อง พบว่า ถ่านเปลือกทุเรียนที่ชั้นความสูง 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร สามารถบำบัดน้ำเสียได้ 94.01 58.85 50.98 และ 47.06 BV ตามลำดับ

วจน์ศิริ (2539) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการกำจัดสีน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า โดยใช้ถ่านกัมมันต์เม็ดที่มีขนาดรูพรุนแตกต่างกัน 4 ค่าเป็นตัวดูดซับ ผลจากฟรุนดลิชไอโซเทอมแสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ขนาดรูพรุนใหญ่สุดให้ผลดีที่สุดในการกำจัดสี

ตัณษวัต (2539) ศึกษาประสิทธิภาพของการลดซีโอดี และสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ ผลการทดลองพบว่าถ่านไม้ และถ่านแกลบไม่มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม เนื่องจากความสามารถในการดูดซับซีโอดีและสีต่ำ ส่วนถ่านกัมมันต์มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม โดยประสิทธิภาพเริ่มต้นของการลดซีโอดี และสีอยู่ในช่วงร้อยละ 78-89 และ 37-96 ตามลำดับ

ศิริอุมา (2541) ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและกระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอน พบว่าอลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอนให้

ประสิทธิภาพการกำจัดสี ซีโอดี ความขุ่นและของแข็งแขวนลอยเป็นร้อยละ 66.42 64.09 94.78 52.07 ตามลำดับ ขณะที่กระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอนมีประสิทธิภาพกำจัดสี ซีโอดี ความขุ่น และของแข็งแขวนลอยเป็นร้อยละ 60.03-83.31 68.15-84.91 44.4-70.3 58.34-83.32 ตามลำดับ เมื่อใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมีร่วมกับกระบวนการดูดซับคาร์บอนพบว่า กำจัดสี ซีโอดี ความขุ่น และของแข็งแขวนลอยเป็นร้อยละ 98.73-99.94 79.99-89.44 99.16-99.54 73.81-82.74 ตามลำดับ

สวีณา (2543) ศึกษาการลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ เฟอร์ริกซัลเฟตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่า สารสร้างตะกอนที่ลดค่าซีโอดีน้ำเสียจากบ่อพักได้สูงสุด คือ เฟอร์ริกซัลเฟต 250 มก./ล. เมื่อใช้สารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน 3.5 มก./ล. และพีเอชประมาณ 7 แต่น้ำที่ได้ค่าพีเอชต่ำมากคือ 4.11 ลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 57.8 ส่วนโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ 2,000 มก./ล. ร่วมกับสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน 5.0 มก./ล. ที่พีเอชประมาณ 10 ลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 51.19 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 400 มก./ล. ร่วมกับสารช่วยตกตะกอนชนิดแคทไอออน 3.50 มก./ล. ที่พีเอชประมาณ 7.5 ลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 48.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แผนการทดลองและดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Scale) ณ หน่วยวิจัยการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม ห้องปฏิบัติการขยะมูลฝอย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ และห้องปฏิบัติการสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 แผนการทดลอง

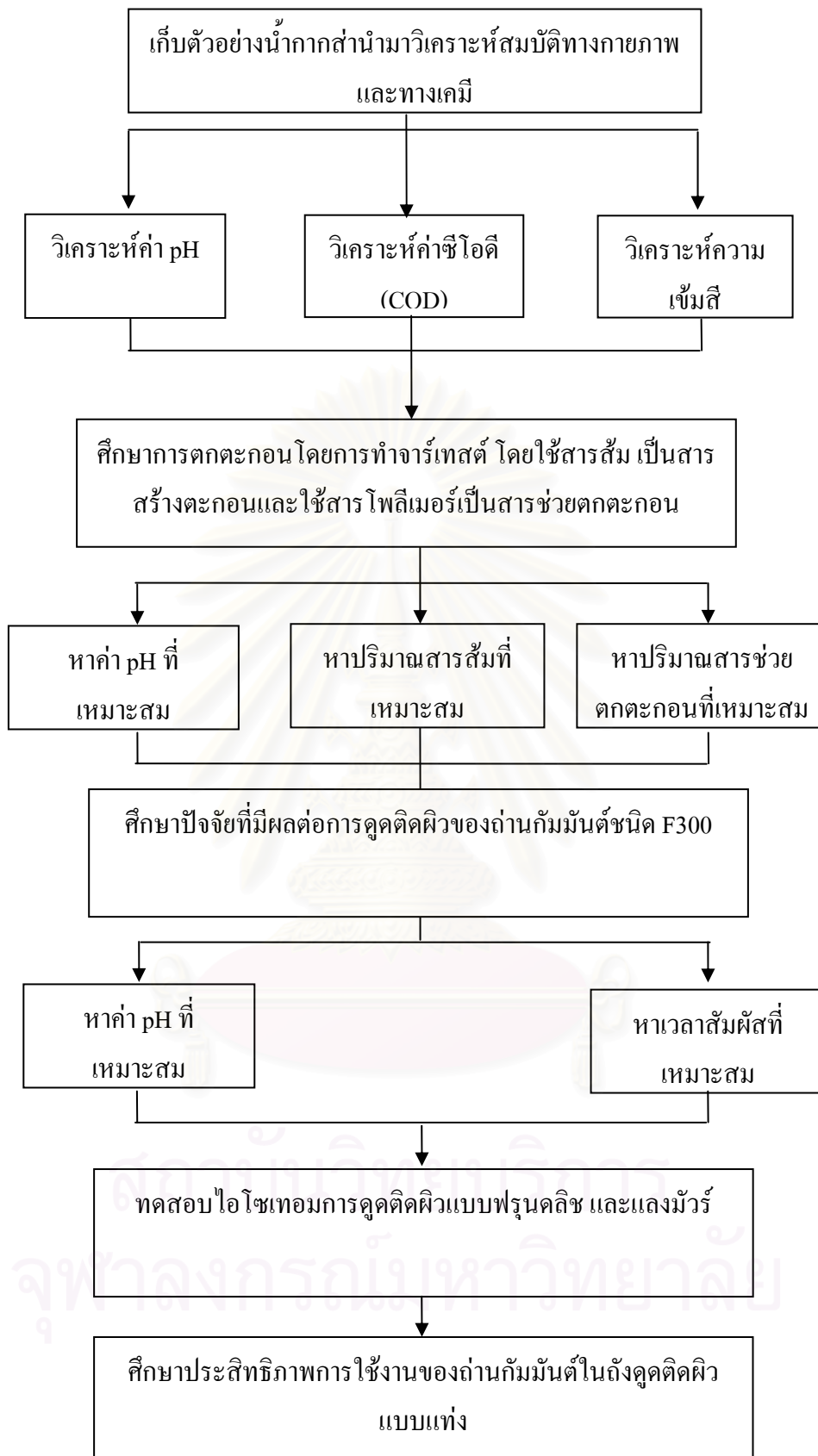
งานวิจัยนี้ใช้สารส้ม (alum) ร่วมกับสารโพลีเมอร์ (polymer) ช่วยในการตกตะกอนน้ำากาสำเพื่อลดค่า COD และใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ในการดูดซับสีน้ำากาสำ โดยมีขั้นตอนในการทดลองทั้งหมด 4 ขั้นตอน (รูปที่ 3.1)

ขั้นตอนที่ 1 เก็บตัวอย่างน้ำากาสำนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี โดยทำการวิเคราะห์ค่า pH โดยใช้เครื่อง pH meter วิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยวิธี Closed Reflux Titrimetric Method ด้วย Dichromate) และ วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ในหน่วย Pt.Co unit

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการตกตะกอนโดยการทำการทดสอบ โดยใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน โดยทำการศึกษาค่าพีเอช ปริมาณสารส้ม และปริมาณสารช่วยตกตะกอน (Polymer) ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำากาสำ

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีของถ่านกัมมันต์ชนิด F300 โดยทำการศึกษา อิทธิพลของค่าพีเอช กับเวลาสัมผัสต่อการดูดซับสี และทดสอบไอโซเทอมการดูดซับสีแบบฟรุนดลิช และแลงมัวร์ โดยทำการทดสอบแบบแบทช์ (Batch Test)

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์ในถังดูดซับสีแบบแท่ง (Adsorption Column Test) โดยทำการป้อนน้ำากาสำเข้าถังดูดซับสีอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำกากส่า

เก็บตัวอย่างน้ำกากส่าซึ่งได้จากกระบวนการกลั่นครั้งที่ 1 และ 2 รวมกัน นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี โดยพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์เป็นดังตารางที่ 3.1

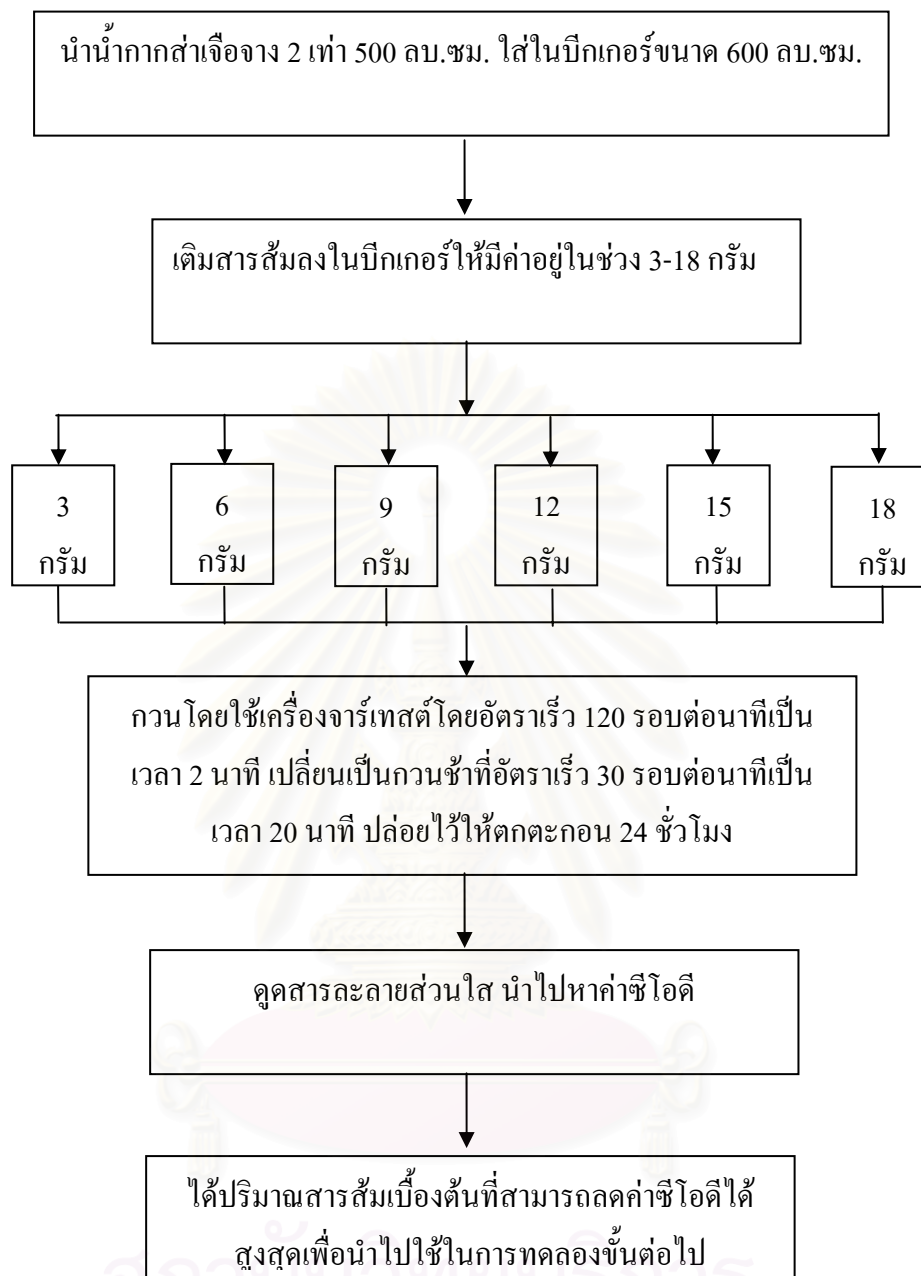
พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ค่า pH	วิเคราะห์โดยเครื่อง pH meter
ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)	วิธี Closed Reflux Titrimetric Method ด้วย Dichromate) (ภาคผนวก ข)
ค่าความเข้ม สี (Color)	เครื่อง Spectrophotometer ในหน่วย Pt.Co unit

3.2.2 การศึกษาการตกตะกอนโดยการทำการเจือจาง โดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน และใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน

3.2.2.1 ศึกษาหาปริมาณสารส้มเบื้องต้นเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากส่า

1) นำน้ำกากส่าที่ผ่านการเจือจาง 2 เท่า 500 ลบ.ซม. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 ลบ.ซม. เติมสารส้มลงในบีกเกอร์ให้มีค่าอยู่ในช่วง 3-18 กรัม กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์โดยอัตราเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 นาที เปลี่ยนเป็นกวนช้าที่อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที ปล่อยให้ตกตะกอน

2) คูดสารละลายส่วนใส นำไปหาค่าซีโอดี เพื่อหาปริมาณสารส้มที่สามารถลด ค่าซีโอดีได้มากที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป



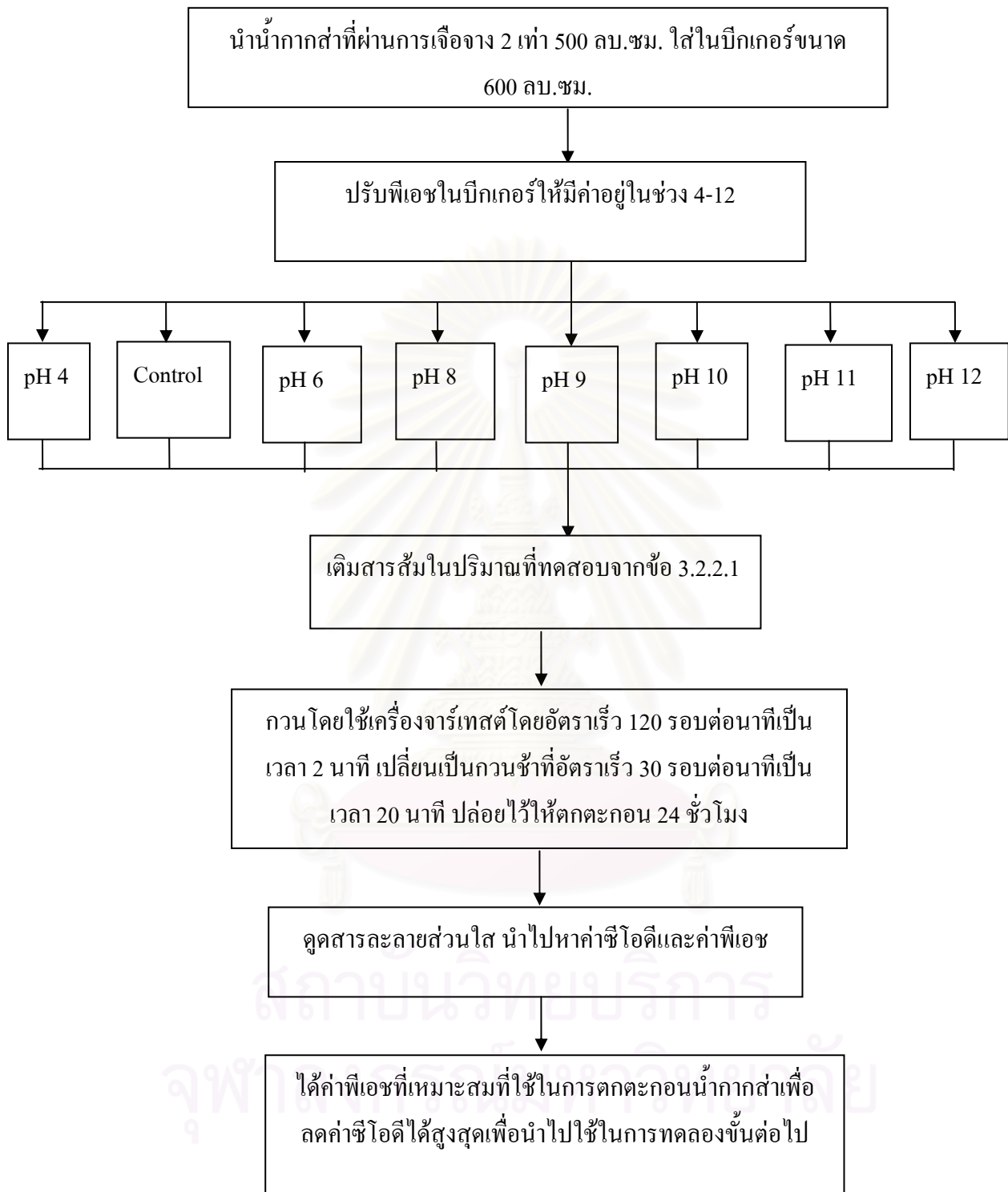
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการหาปริมาณสารส้มเบื้องต้นเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากส่า

3.2.2.2 ศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

- 1) นำน้ำกากส่าที่ผ่านการเจือจาง 2 เท่า 500 ลบ.ซม. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 ลบ.ซม. ปรับพีเอชในบีกเกอร์ให้มีค่าอยู่ในช่วง 4-12 ตามลำดับ ด้วย NaOH 1.0 N หรือ H₂SO₄ 1.0 N
- 2) เติมสารส้มในปริมาณที่ทดสอบจากข้อ 3.2.2.1 กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์โดยอัตราเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 นาที เปลี่ยนเป็นกวนช้าที่อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที ปล่อยให้ตกตะกอน
- 3) คูณสารละลายส่วนใส นำไปหาพีเอช และซีโอดี เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและค่า ซีโอดีที่เหมาะสมของปฏิกิริยาต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากส่า

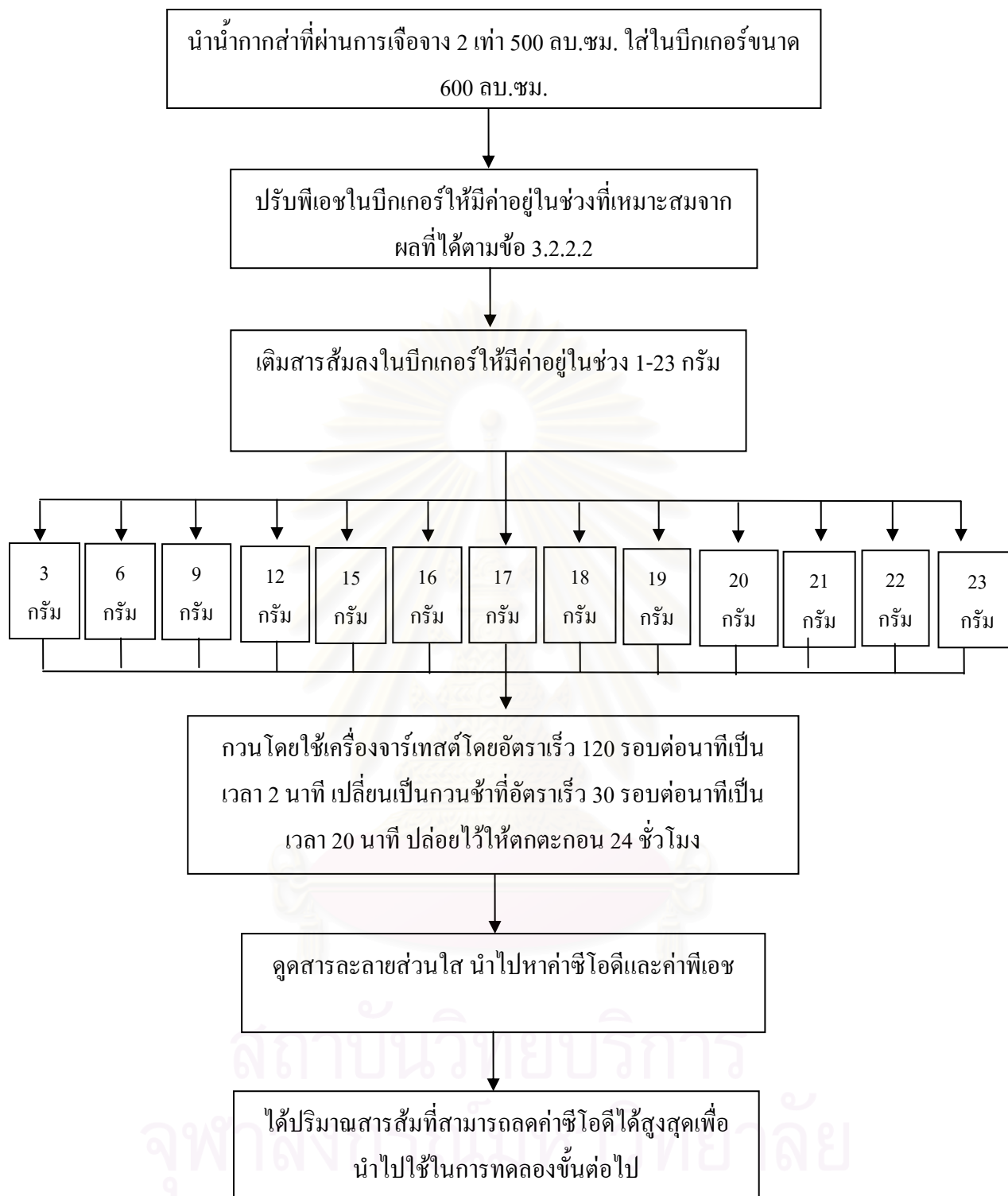
หมายเหตุ control คือ ตัวควบคุมไม่มีการปรับ pH

3.2.2.3 ศึกษาหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากสำ

- 1) นำน้ำกากสำที่ผ่านการเจือจาง 2 เท่า 500 ลบ.ซม. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 ลบ.ซม. ปรับพีเอชในบีกเกอร์ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจากผลที่ได้ตามข้อ 3.2.2.2
- 2) เติมสารส้มลงไปปริมาณ 1-23 กรัม เพื่อหาปริมาณสารส้มที่สามารถลดค่า ซีโอดีได้สูงสุด กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์โดยอัตราเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 นาที เปลี่ยนเป็นกวนช้าที่อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที ปล่อยให้ไว้ให้ตกตะกอน
- 3) คูณสารละลายส่วนใส นำไปหาพีเอช และซีโอดี เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีและปริมาณสารส้มที่เหมาะสมต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากส่า

3.2.2.4 ศึกษาหาปริมาณสารช่วยตกตะกอน (Polymer) ร่วมกับสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม

- 1) นำน้ำกากส่าที่ผ่านการเจือจาง 2 เท่า 500 ลบ.ซม. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 ลบ.ซม. ปรับพีเอชในบีกเกอร์ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจากผลที่ได้ตามข้อ 3.2.2.2
- 2) เติมสารส้มลงไปปริมาณที่เหมาะสมจากผลที่ได้ตามข้อ 3.2.2.3 กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์โดยอัตราเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 นาที เปลี่ยนเป็นกวนช้าที่อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที ในขั้นตอนการกวนช้า เติมสารช่วยตกตะกอน (Polymer) ชนิดโพลีเมอร์ประจุบวก (cationic polymer) โพลีเมอร์ประจุลบ (anionic polymer) โพลีเมอร์ที่ไม่มีประจุ (non ionic polymer) ปริมาณอย่างละ 0.5 กรัม เพื่อหาชนิดของโพลีเมอร์ที่เหมาะสมในการใช้ร่วมกับสารสร้างตะกอนเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากส่า หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง
- 3) คูดสารละลายส่วนใส นำไปหาพีเอช และซีไอดี เพื่อหาชนิดของโพลีเมอร์ที่เหมาะสม
- 4) นำน้ำกากส่าที่ผ่านการเจือจาง 2 เท่า 500 ลบ.ซม. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 ลบ.ซม. ปรับพีเอชในบีกเกอร์ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจากผลที่ได้ตามข้อ 3.2.2.2
- 5) เติมสารส้มลงไปปริมาณที่เหมาะสมจากผลที่ได้ตามข้อ 3.2.2.3 กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์โดยอัตราเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 นาที เปลี่ยนเป็นกวนช้าที่อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที ในขั้นตอนการกวนช้า เติมสารช่วยตกตะกอนชนิดที่เหมาะสมที่สุดที่หาได้จากขั้นตอนแรกปริมาณ 0.0-1.0 กรัม ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 24 ชั่วโมง
- 6) คูดสารละลายส่วนใส นำไปหาพีเอช และซีไอดี เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างซีไอดี และปริมาณ โพลีเมอร์ที่เหมาะสม



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการหาชนิดของสารโพลีเมอร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำภาคสำ



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการหาปริมาณของสารโพลีเมอร์ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการตกตะกอนน้ำกาส่า

3.2.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ชนิด F300

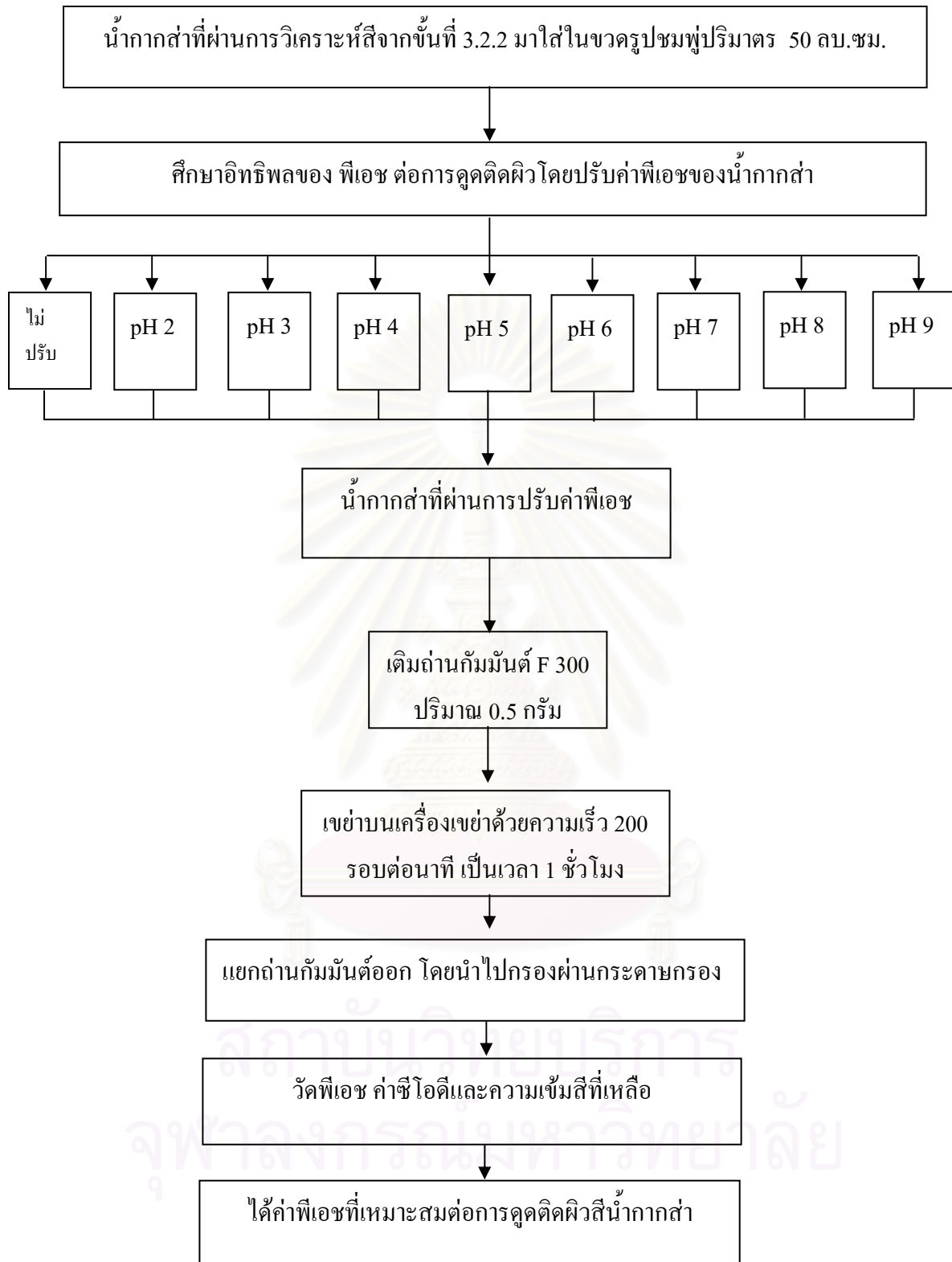
3.2.3.1 วิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำกากส่า ที่เตรียมจากขั้นที่ 2 ซึ่งผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มและโพสิเมอร์แล้ว ด้วยเครื่อง spectrophotometer ผลที่ได้แสดงในหน่วยของเพลทตินัมโคบอลต์ (Pt.Co)

3.2.3.2 ศึกษาอิทธิพลของ พีเอช ต่อการดูดติดผิว

1) นำน้ำกากส่าที่ผ่านการวิเคราะห์สีจากขั้นที่ 3.2.2 ซึ่งผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มและโพสิเมอร์แล้ว มาใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลบ.ซม. ปริมาตร 50 ลบ.ซม. ปรับค่าพีเอชให้มีค่าอยู่ในช่วง 2-9 ตามลำดับ ด้วย NaOH 1.0 N หรือ H₂SO₄ 1.0 N

2) นำน้ำกากส่าที่ปรับพีเอชแล้วเติมถ่านกัมมันต์ F300 ปริมาณ 0.5 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3) แยกถ่านกัมมันต์ออก โดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าพีเอช, ซีไอดี และความเข้มข้นที่เหลือเพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสีที่เกิดจากการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์



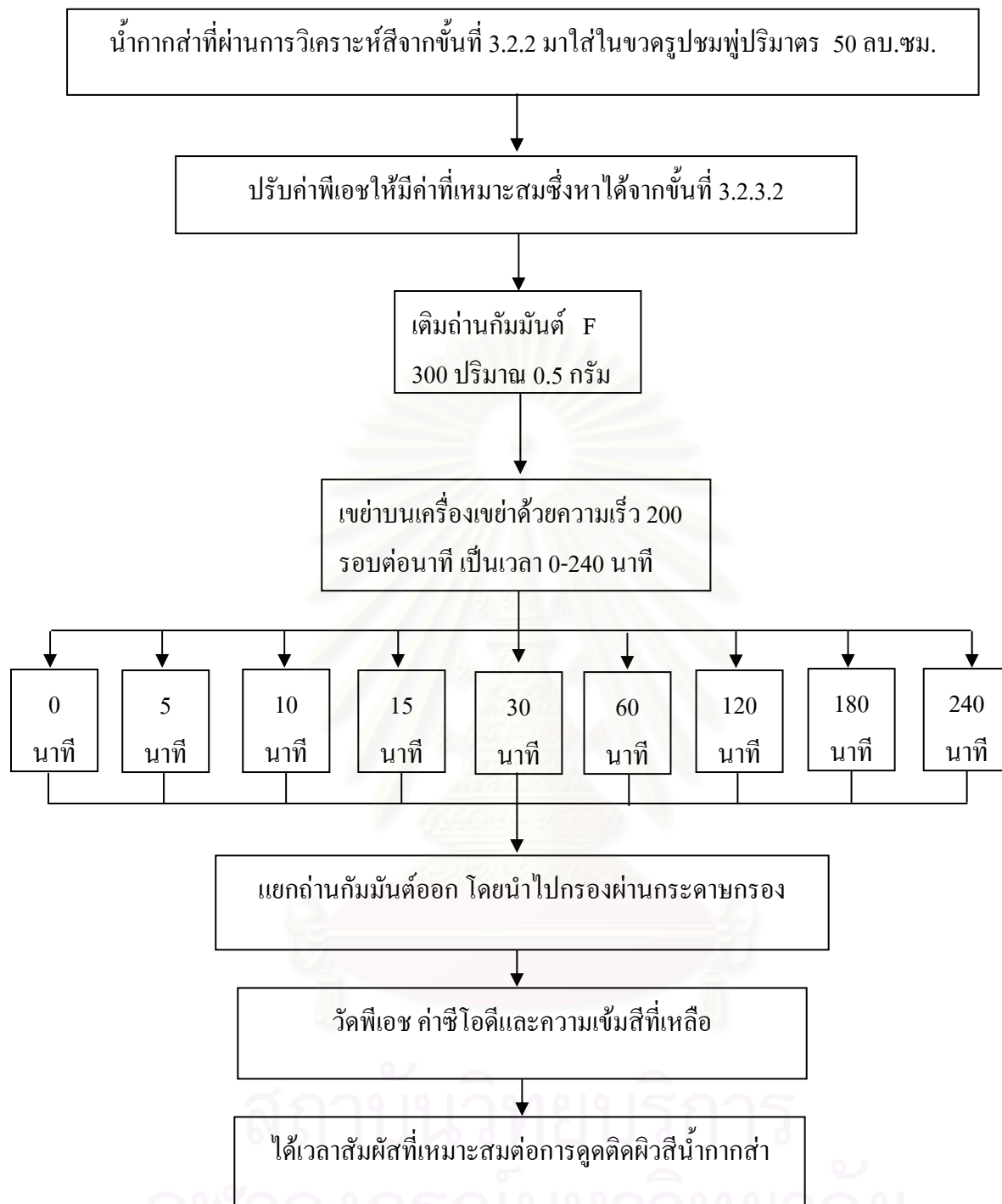
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของพีเอชต่อการดูดติดผิว

3.2.3.3 ศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมพัทธ์ต่อการดูดติดผิว

- 1) นำน้ำกากส่าที่ผ่านการวิเคราะห์สีจากขั้นที่ 3.2.2 มาใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลบ.ซม. ปริมาตร 50 ลบ.ซม. ปรับค่าพีเอชให้มีค่าที่เหมาะสมซึ่งหาได้จากขั้นที่ 3.2.3.2
- 2) นำน้ำกากส่าที่ปรับพีเอชแล้วเติมถ่านกัมมันต์ F300 ปริมาณ 0.5 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0 5 10 15 30 60 120 180 และ 240 นาที
- 3) แยกถ่านกัมมันต์ออก โดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าพีเอช, ซีไอดี และความเข้มข้นที่เหลือเพื่อหาเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการดูดติดผิวสีน้ำกากส่า



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



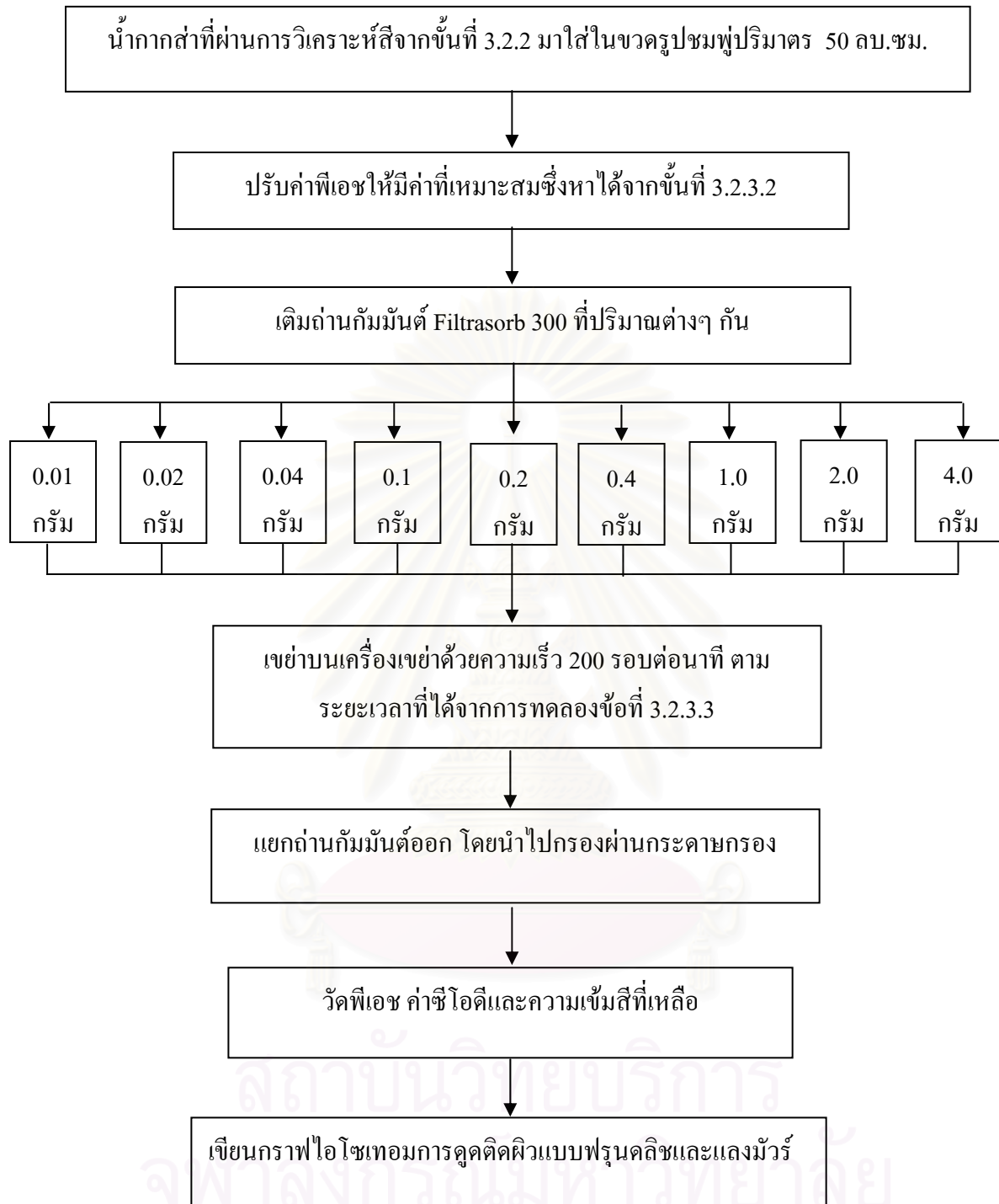
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดซับ

3.2.3.4 การทดสอบไอโซเทอร์มการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

- 1) นำน้ำกลั่นที่ผ่านการวิเคราะห์หีสีจากขั้นที่ 3.1 มาใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลบ.ซม. ปริมาตร 50 ลบ.ซม. ปรับค่าพีเอชให้มีค่าที่เหมาะสมซึ่งหาได้จากขั้นที่ 3.2.3.2
- 2) เติมถ่านกัมมันต์ F300 ปริมาณ 0.01 0.02 0.04 0.1 0.2 0.4 1.0 2.0 และ 4.0 กรัม ลงในขวดแต่ละใบตามลำดับ นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ตามระยะเวลาที่เหมาะสมซึ่งหาได้จากขั้นที่ 3.2.3.3
- 3) แยกถ่านกัมมันต์ออก โดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าพีเอช, ซีไอดี และความเข้มข้นที่เหลือ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
- 4) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟไอโซเทอร์มการดูดติดผิวแบบ แลงเมียร์ และ ฟรุนดลิช เพื่อเปรียบเทียบและคำนวณปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมที่สุด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับของถ่านกัมมันต์

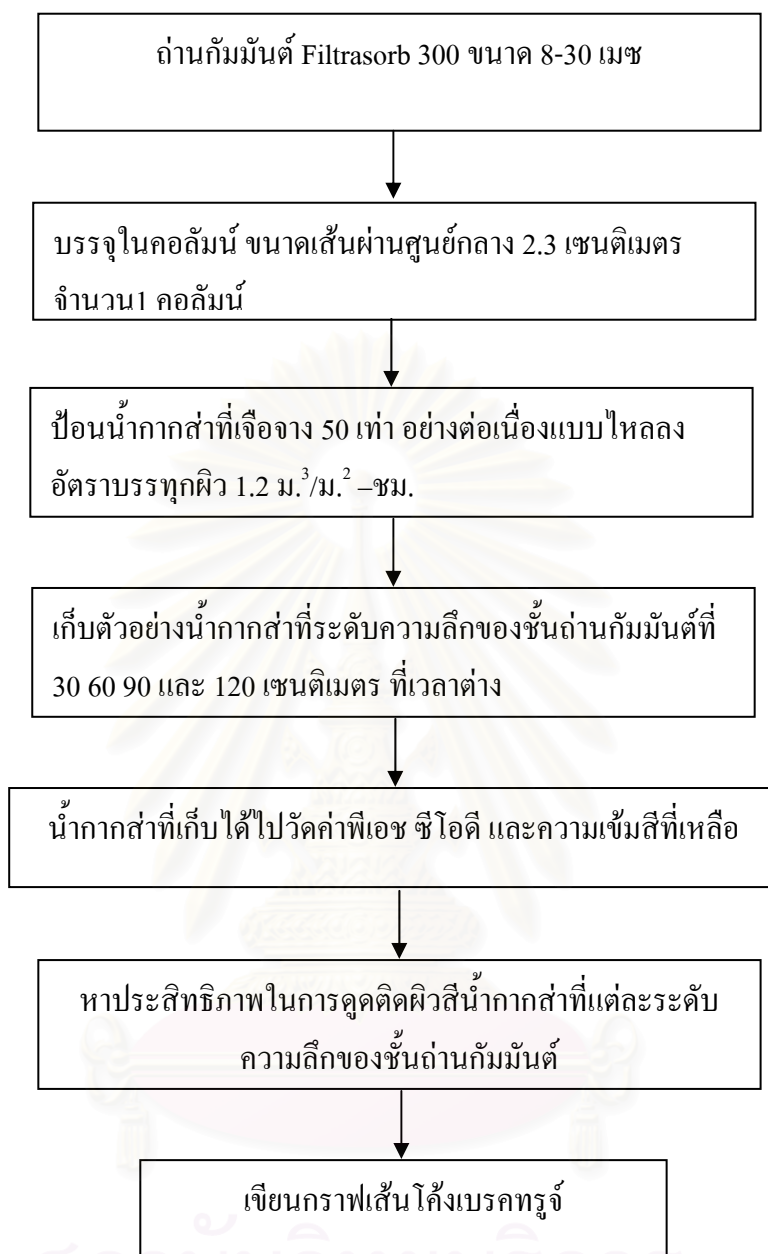
3.2.3.5 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำากาสำด้วยถ่านกัมมันต์ ชนิด F300 โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง (Column Test)

1) บรรจุถ่านกัมมันต์ F300 ลงในถังดูดติดผิวแบบแท่ง ที่เป็นท่ออะคริลิกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.3 เซนติเมตร เจาะรูเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ ที่ 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร ซึ่งน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้บรรจุในคอลัมน์สูง 120 เซนติเมตร

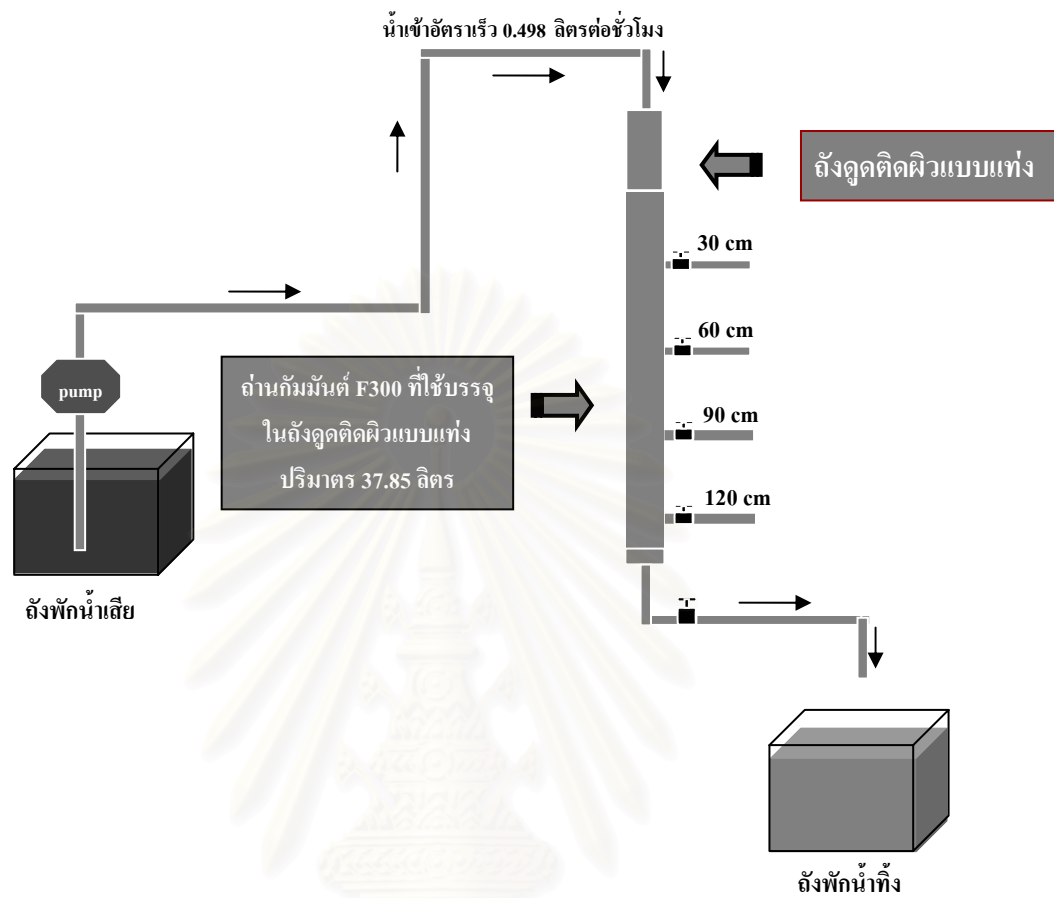
2) ป้อนน้ำากาสำที่ทราบความเข้มข้นและปรับค่า pH ที่เหมาะสมจากข้อ 3.2 เข้าสู่คอลัมน์ โดยการปล่อยให้ไหลจากด้านบนลงด้านล่าง ด้วยอัตราการไหล 0.498 ลิตรต่อชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำากาสำที่ระดับความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ที่ 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร ทุกๆ 1 ชั่วโมง ในช่วงแรกเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และอีกทุกๆ 2 ชั่วโมงเป็นเวลา 20 ชั่วโมงหลังจากนั้นเก็บตัวอย่างทุกๆ 4 ชั่วโมงจนกว่าค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นเข้า จึงยุติการทดลอง

3) นำน้ำากาสำที่เก็บได้ไปวัดค่าพีเอช ค่าซีโอดี และความเข้มข้นที่เหลือ

4) คำนวณชั้นความลึกของถ่านที่เหมาะสม แล้วสร้าง Breakthrough curve ของถ่านกัมมันต์



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกาส่าด้วย
ถ่านกัมมันต์ โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดซับแบบแบ่ง



รูปที่ 3.11 การทำงานของระบบในถังดูดติดผิวแบบแห้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 1.1 เครื่องทดสอบการตกตะกอน (Jar Test) รุ่น FC 6S, VELP Scientifica
- 1.2 ชุดเครื่องมือรีฟลักซ์ สำหรับวิเคราะห์ค่าซีไอดี
- 1.3 เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น Seven Easy, Mettler Toledo
- 1.4 เครื่องชั่งละเอียด รุ่น AB204-S, Mettler Toledo
- 1.5 เครื่องวัดและบันทึกการดูดกลืนแสง รุ่น HACH TJTTP J06749, Thermo electron corporation visible
- 1.6 ตู้อบความร้อน รุ่น WTB Blinder, Germany
- 1.7 เครื่องเขย่า (Shaker)
- 1.8 ชุดเครื่องมืออื่นๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี
- 1.9 กระดาษกรอง Whatman GFC
- 1.10 ถังดูดติดผิวแบบแท่ง เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2.3 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร
- 1.11 เครื่องสูบน้ำ ใช้ปั๊มจุ่ม (Submerge Pump)
- 1.12 ถังเก็บน้ำอากาศ
- 1.13 ถังพักน้ำอากาศ

2. วัสดุที่ใช้ทดสอบ

- 2.1 น้ำอากาศของโรงงานสุราแห่งหนึ่งในจังหวัดนครปฐม
- 2.2 สารสร้างตะกอน (Coagulant) ที่ใช้ในการทดลองคือ สารส้ม (Alum) ที่ใช้ตามท้องตลาด
- 2.3 สารช่วยตกตะกอน (Coagulant Aids หรือ Polymer) ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ
 - 2.3.1 โพลีเมอร์ชนิดแอนไอออน ชื่อทางการค้า WF-5311 ของบริษัท Water doctor Co.,Ltd.
 - 2.3.2 โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน ชื่อทางการค้า WF-5811 ของบริษัท Water doctor Co.,Ltd.
 - 2.3.3 โพลีเมอร์ชนิดนอนไอออนิก ชื่อทางการค้า WF-5000 ของบริษัท Water doctor Co.,Ltd.
- 2.4 สารเคมีปรับพีเอช
 - 2.4.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
 - 2.4.2 สารละลายกรดซัลฟริก (H_2SO_4)

- 2.5 ถ่านกัมมันต์ ชื่อทางการค้า Filtrasorb 300
- 2.6 สารเคมีที่ใช้เตรียมสารละลายมาตรฐานแพลทตินัม-โคบอลต์
 - 2.6.1 โพแทสเซียมคลอโรแพลทตินเนท (Potassium Chloroplatinate, K_2PtCl_6)
 - 2.6.2 โคบอลต์คลอไรด์ (Cobalt Chloride, $CoCl_2 \cdot H_2O$)
 - 2.6.3 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

จากแผนการทดลองและวิธีการดำเนินการวิจัยที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 3 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการและได้สรุปผลการทดลอง แยกเป็นแต่ละการทดลองตามลำดับ ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำกากส่า

ตัวอย่างน้ำกากส่าที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นน้ำกากส่าที่ได้จากโรงงานสุราแห่งหนึ่งในจังหวัดนครปฐม จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำกากส่าที่ได้จากกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์ในครั้งที่ 1 และ 2 สรุปได้ว่า น้ำกากส่ามีค่าพีเอช อยู่ระหว่าง 4.5-4.7 และเมื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยวิธี Closed Reflux ผลคือ น้ำกากส่ามีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 145,040 – 165,659 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่การวัดค่าความเข้มข้นน้ำกากส่า โดยเครื่อง spectrophotometer ในหน่วยสี แพลทตินัม-โคบอลต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 233,133 - 265,917 Pt-Co จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีทำให้ทราบว่าน้ำกากส่ามีค่า ความเข้มข้นและค่าซีโอดีสูงมาก เนื่องจากในน้ำกากส่ามีส่วนใหญ่เป็นสาร molasses melanoidin ซึ่งเป็นสารอินทรีย์มีสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ อันเป็นสาเหตุสำคัญในการทำให้น้ำกากส่ามีความเข้มข้น และมีค่าซีโอดีสูง โดยสารเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นสารคอลลอยด์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำกากส่า ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำกากส่า ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำกากส่าที่ได้จากกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์ในครั้งที่ 1 และ 2 รวมกัน

พารามิเตอร์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
pH	4.51	4.65	4.64	4.70	4.63
COD (มก./ลิตร)	165,659	145,040	153,360	146,000	152,515
ความเข้มข้น (Pt-Co)	265,917	233,133	258,632	254,989	253,168

ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนเพื่อช่วยให้สารคอลลอยด์เหล่านี้รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (floc) ขนาดใหญ่และตกตะกอนลงมาเนื่องจากการเติมสารส้มลงไป ในปริมาณที่เพียงพอ โดยทำการปรับพีเอชให้เหมาะสมจะทำให้เกิดการตกผลึกลงมาอย่างรวดเร็ว โดยอนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวนี้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนัก

ให้กับอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและเกิดการตกตะกอนได้ อีกทั้งการเติมสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมจะช่วยให้เกิดการตกตะกอนมากขึ้นเนื่องจากสารช่วยตกตะกอนเป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์เข้าด้วยกันเป็นการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้เช่นกัน หลังจากนั้นได้ทำการกำจัดสีโดยใช้ถ่านกัมมันต์ filtratorb 300 ในการดูดซับสีเป็นการทำลายอำนาจประจุของอนุภาคคอลลอยด์อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งต้องหาค่าพีเอช และเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำกากส่า

4.2 ผลการตกตะกอนโดยการทำอาร์เทสต์ โดยใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์ เป็นสารช่วยตกตะกอน

4.2.1 ผลการหาปริมาณสารส้มเบื้องต้นเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากส่า

การหาปริมาณสารส้มเบื้องต้นมีจุดประสงค์เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ตกตะกอนน้ำกากส่า โดยการทดลองนี้ได้นำน้ำกากส่ามาเจือจาง 2 เท่า ปริมาตร 500 ลบ.ซม. แต่ไม่ได้มีการปรับค่าพีเอช แล้วเติมสารส้มปริมาณ 3 6 9 12 15 และ 18 กรัม ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.2 ข้อมูลดิบอยู่ในภาคผนวก ก.1

ตารางที่ 4.2 ผลการหาปริมาณสารส้มเบื้องต้นเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากส่า

pH เริ่มต้น	ปริมาณสารส้ม (กรัม)	ค่า COD น้ำกากส่า (มก./ลิตร)	ค่า COD หลังการตกตะกอน (มก./ลิตร)	ประสิทธิภาพในการลด COD (เปอร์เซ็นต์)
4.63	3	165,659	153,880	7.11
4.63	6	165,659	144,197	12.95
4.63	9	165,659	139,320	15.90
4.63	12	165,659	138,900	16.15
4.63	15	165,659	137,680	16.88
4.63	18	165,659	137,982	16.70

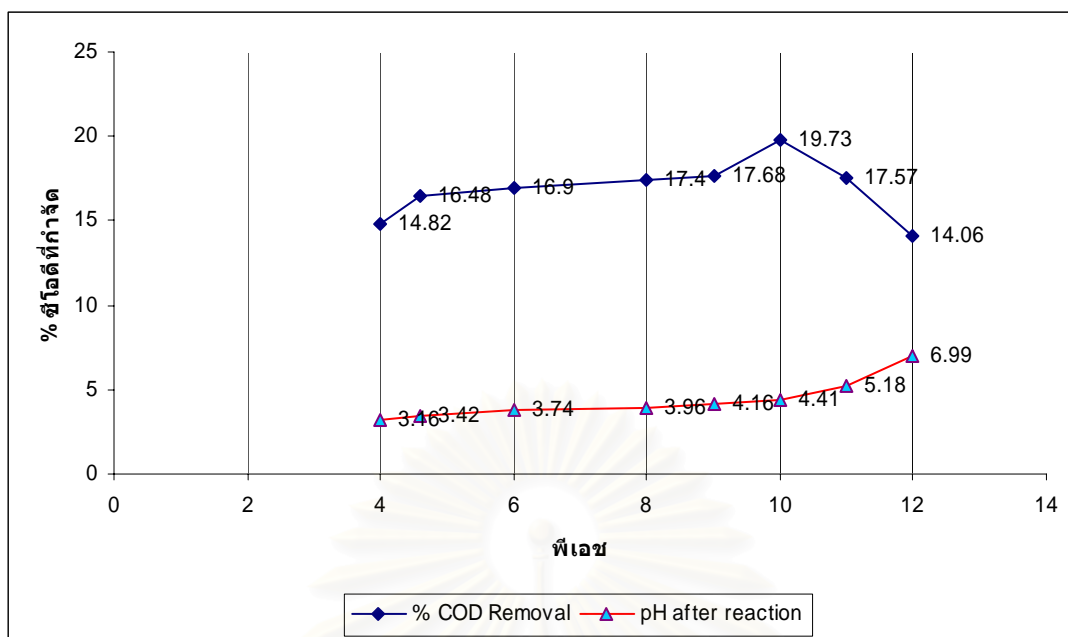
จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณสารส้มเบื้องต้นที่ใช้ตกตะกอนน้ำกากส่าได้ค่าที่ดีที่สุดคือ 15 กรัม โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่า ซีโอดี ได้ร้อยละ 16.88 ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณสารส้ม 15 กรัม หรือ คิดเป็นปริมาณการใช้ 60 กรัมต่อลิตร เพื่อใช้ในการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

4.2.2 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำกากส่าที่ได้ทำการเจือจาง 2 เท่า ปริมาตร 500 ลบ.ซม. โดยค่าพีเอชที่ปรับให้มีค่าอยู่ในช่วง 4.00-12.00 และเติมสารส้ม 15 กรัม ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการหาปริมาณสารส้มเบื้องต้นในขั้นตอนที่ 4.2.1 ผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 ข้อมูลดิบอยู่ในภาคผนวก ก.2

ตารางที่ 4.3 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำกากส่า

ค่า pH น้ำกากส่า ก่อนเติมสารส้ม	ปริมาณสารส้ม (กรัม)	ค่า pH หลังการตกตะกอน	ค่า COD น้ำกากส่า (มก./ลิตร)	ค่า COD หลังการตกตะกอน (มก./ลิตร)	ประสิทธิภาพในการลด COD (เปอร์เซ็นต์)
4	15	3.16	165,659	123,542	14.82
Control (4.61)	15	3.42	165,659	121,134	16.48
6	15	3.74	165,659	120,530	16.90
8	15	3.96	165,659	119,800	17.40
9	15	4.16	165,659	119,400	17.68
10	15	4.41	165,659	116,420	19.73
11	15	5.18	165,659	119,560	17.57
12	15	6.99	165,659	124,645	14.06



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและค่าพีเอชหลังการตกตะกอนกับร้อยละการกำจัดซีโอดี

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าพีเอชยิ่งสูงขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำกากส่าจะสูงขึ้นและจะสูงสุดที่ พีเอช 10 หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะลดลง เนื่องจากสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ จะมีประสิทธิภาพในการสร้างตะกอนที่พีเอชที่เหมาะสมแตกต่างกัน ซึ่งค่าที่ได้นั้นจะหาได้จากการทดลอง

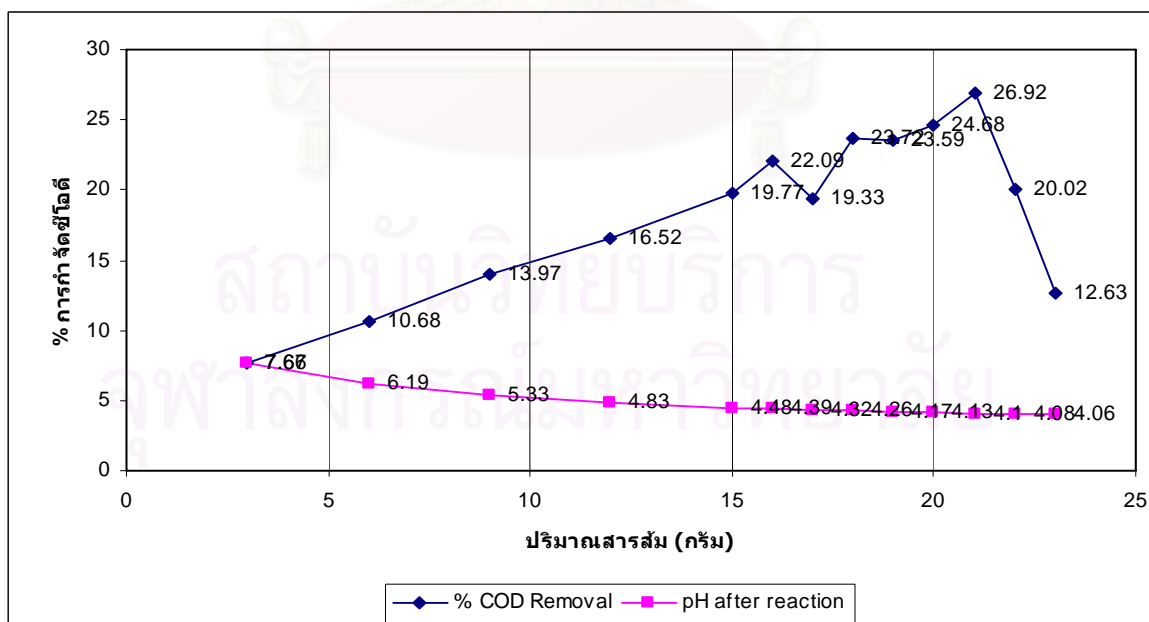
จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 พบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำกากส่ามีค่าเท่ากับ 10 โดยค่าพีเอชดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 19.73 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงเลือกการปรับค่าพีเอชของน้ำกากส่าให้มีค่าเท่ากับ 10 เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.2.3 ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากส่า

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการเจือจางน้ำกากส่าเป็น 2 เท่า ปริมาตร 500 ลบ.ซม. และทำการปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 10 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากผลการทดลองในขั้นตอนที่ 4.2.2 หลังจากนั้นได้ทำการเติมสารส้มในปริมาณ 1 - 23 กรัม เพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนน้ำกากส่า โดยได้ทำการทดลองในสเกลที่ใหญ่ก่อน เพื่อหาปริมาณสารส้มในช่วงกว้าง หลังจากนั้นได้ทำการทดลองหาปริมาณสารส้มในสเกลที่ละเอียด เพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมที่สุด โดยผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.2 ข้อมูลดิบอยู่ในภาคผนวก ค.3

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

ค่า pH ก่อน เติมสารส้ม	ปริมาณ สารส้ม (กรัม)	ค่า pH หลัง การ ตกตะกอน	ค่า COD น้ำ ภาค้ำ (มก./ลิตร)	ค่า COD หลัง การตกตะกอน (มก./ลิตร)	ประสิทธิภาพใน การลด COD (เปอร์เซ็นต์)
10	3	7.66	145,040	133,919	7.67
10	6	6.19	145,040	129,545	10.68
10	9	5.33	145,040	124,777	13.97
10	12	4.83	145,040	121,080	16.52
10	15	4.48	145,040	116,368	19.77
10	16	4.39	145,040	113,000	22.09
10	17	4.32	145,040	117,000	19.33
10	18	4.26	145,040	110,640	23.72
10	19	4.17	145,040	110,820	23.59
10	20	4.13	145,040	109,240	24.68
10	21	4.10	145,040	106,000	26.92
10	22	4.08	145,040	116,000	20.02
10	23	4.06	145,040	126,720	12.63



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มกับร้อยละการกำจัดซีไอดีและค่าพีเอชหลังการตกตะกอน

จากผลการทดลอง พบว่า การเติมสารส้มลงไปใต้น้ำกากสำทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้น เนื่องจากสารส้มไปทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์โดยการจับอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น ซึ่งอนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวนี้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเพิ่มขนาดหรือนำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและเกิดการตกตะกอนได้

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.2 พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำกากสำมีค่าเท่ากับ 21 กรัม โดยปริมาณสารส้มดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดี ได้ร้อยละ 26.92 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้สารส้มในปริมาณ 21 กรัม หรือคิดเป็นปริมาณการใช้ 84 กรัมต่อลิตรในการทดลองขั้นต่อไป

4.2.4 ผลการหาปริมาณสารช่วยตกตะกอน (Polymer) ร่วมกับสารสร้างตะกอนที่เหมาะสม

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 เป็นการหาชนิดของโพลีเมอร์ที่เหมาะสม และขั้นตอนที่ 2 เป็นการหาปริมาณสารโพลีเมอร์ที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 1

ในขั้นตอนนี้เป็นการหาชนิดของโพลีเมอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารช่วยตกตะกอนร่วมกับสารส้ม โดยสารโพลีเมอร์ที่ใช้เป็นชนิดผงแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ โพลีเมอร์ชนิดประจุบวก มีชื่อทางการค้าว่า WF-5811 โพลีเมอร์ชนิดประจุลบ มีชื่อทางการค้าว่า WF-5311 และโพลีเมอร์ชนิดที่ไม่มีประจุ มีชื่อทางการค้าว่า WF-5000

ในการทดลองได้ทำการเจือจางน้ำกากสำ 2 เท่า ปริมาตร 500 ลบ.ซม. และปรับพีเอชให้เป็น 10 หลังจากนั้นเติมสารส้มปริมาณ 21 กรัม ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.22 และ 4.23 ต่อจากนั้นเติมสารโพลีเมอร์แต่ละชนิดปริมาณ 0.5 กรัม โดยได้ทำการเติมในขณะที่ทำการกวนช้า ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.5 ข้อมูลดิบอยู่ในภาคผนวก ก.4

ตารางที่ 4.5 ชนิดของโพลีเมอร์ที่เหมาะสม

ค่า pH ก่อนเติม สารส้ม	ปริมาณ สารส้ม (กรัม)	ชนิดของ โพลีเมอร์ (ชนิดผง)	ค่า pH หลังการ ตกตะกอน	ค่า COD น้ำ กากต่ำ (มก./ ลิตร)	ค่า COD หลัง การตกตะกอน (มก./ลิตร)	ประสิทธิภาพ ในการลด COD (เปอร์เซ็นต์)
10	21	ไม่เติม	4.20	153,360	113,100	26.25
10	21	WF-5000 (±)	4.24	153,360	112,640	26.55
10	21	WF-5311 (-)	4.20	153,360	111,500	27.30
10	21	WF-5811 (+)	4.22	153,360	115,640	24.59

หมายเหตุ เติมสารโพลีเมอร์แต่ละชนิดปริมาณ 0.5 กรัม หรือ 2 กรัมต่อลิตร

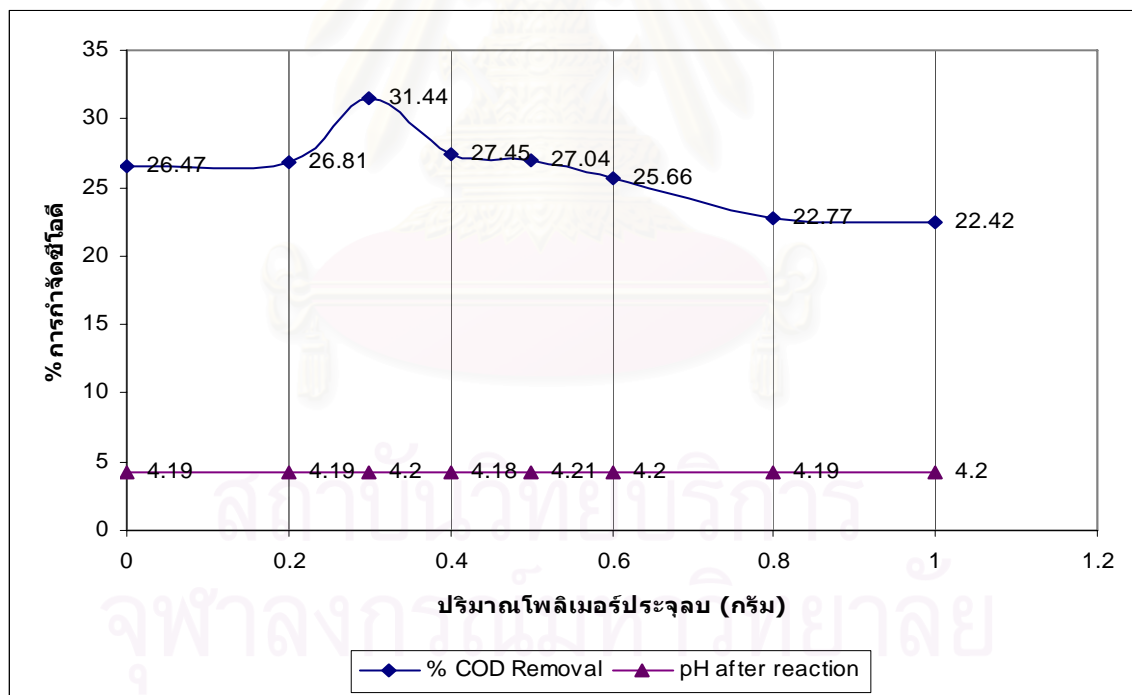
จากผลการทดลอง พบว่า การไม่เติมสารโพลีเมอร์กับการเติมสารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบ และโพลีเมอร์ชนิดที่ไม่มีประจุ มีประสิทธิภาพในการลดค่า ซีโอดี ใกล้เคียงกันมาก นั่นคือในกรณีที่ไม่เติมสารโพลีเมอร์สามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 26.25 ถ้าเติมสารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบสามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 27.30 และเมื่อเติมสารโพลีเมอร์ชนิดที่ไม่มีประจุสามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 26.55 แต่เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการหาปริมาณสารช่วยตกตะกอน (Polymer) ที่เหมาะสมเพื่อใช้ร่วมกับสารส้มในการตกตะกอนน้ำกากต่ำ ดังนั้น จึงเลือกที่จะเติมสารโพลีเมอร์เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป แต่จากการทดลองสารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบและโพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุมีประสิทธิภาพในการลดค่า ซีโอดีใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่โพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุตามท้องตลาดหายากกว่าเพราะไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้โพลีเมอร์ชนิดประจุลบในการทดลองในขั้นต่อไป

ขั้นตอนที่ 2

ในขั้นตอนนี้เป็นการหาปริมาณสารโพลีเมอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารช่วยตกตะกอนร่วมกับสารส้ม โดยในการทดลองได้ทำการเจือจางน้ำกากต่ำ 2 เท่า ปริมาตร 500 ลบ.ซม. ปรับพีเอชให้เป็น 10 เติมสารส้มลงไป 21 กรัม หลังจากนั้นเติมสารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบลงไป ปริมาณ 0-1.0 กรัม โดยทำการเติมในขณะกวนช้า ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.3 ข้อมูลดิบอยู่ในภาคผนวก ก.5

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารโพลีเมอร์ที่เหมาะสม

ค่า pH ก่อนเติมสารส้ม	ปริมาณสารส้ม (กรัม)	ปริมาณโพลีเมอร์ WF-5311(-) (กรัม)	ค่า pH หลังการตกตะกอน	ค่า COD น้ำกากสำ (มก./ลิตร)	ค่า COD หลังการตกตะกอน (มก./ลิตร)	ประสิทธิภาพในการลด COD (เปอร์เซ็นต์)
10	21	ไม่เติม	4.19	146,000	107,353	26.47
10	21	0.2	4.19	146,000	106,848	26.81
10	21	0.3	4.20	146,000	100,100	31.44
10	21	0.4	4.18	146,000	105,919	27.45
10	21	0.5	4.21	146,000	106,519	27.04
10	21	0.6	4.20	146,000	108,535	25.66
10	21	0.8	4.19	146,000	112,753	22.77
10	21	1.0	4.20	146,000	113,267	22.42



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารโพลีเมอร์ประจุลบกับร้อยละการกำจัดซีโอดีและค่าพีเอชหลังการตกตะกอน

จากผลการทดลอง พบว่า สารโพลีเมอร์ประจุลบ เป็นสารช่วยตกตะกอนน้ำกากสำร่วมกับสารส้ม ทำให้ค่าซีโอดีน้ำกากสำลดลง เนื่องจากสารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์

ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดจากการรวมตัวกันโดยสารส้มเกิดการรวมตัวกันเพิ่มขึ้นโดยสารโพลีเมอร์ซึ่งสารโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized Particle) อนุภาคดังกล่าวนี้สามารถจับกับอนุภาคตัวอื่นๆ โดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อม จากผลการทดลองดังกล่าว รูปที่ 4.3 พบว่า การเติมสารโพลีเมอร์มากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติลดลง เนื่องจากการใช้สารโพลีเมอร์มากเกินไป ทำให้โพลีเมอร์หลายโมเลกุลไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์ จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลีเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่น ดังนั้นการเติมสารโพลีเมอร์จึงควรเติมในปริมาณที่เหมาะสมซึ่งหาได้จากการทดลอง

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.3 พบว่า ปริมาณสารโพลีเมอร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้เป็นสารช่วยตกตะกอนร่วมกับสารส้มมีค่าเท่ากับ 0.3 กรัม โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอติ ได้ร้อยละ 31.44 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้สารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบ ปริมาณ 0.3 กรัม หรือคิดเป็นปริมาณการใช้ 1.2 กรัมต่อลิตรในการทดลองขั้นต่อไป

4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นและค่าซีโอติของน้ำกากส่าที่เตรียมจากขั้นตอน 4.2

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นและค่าซีโอติของน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มปริมาณ 84 กรัมต่อลิตร ร่วมกับสารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบปริมาณ 1.2 กรัมต่อลิตรที่ pH 10 ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นและค่าซีโอติของน้ำกากส่าก่อนการตกตะกอน ดังแสดงในตารางที่ 4.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นและค่าซีโอดี ก่อนและหลังการตกตะกอนด้วยสารส้มและโพลีเมอร์

พารามิเตอร์	น้ำกากส่า				ประสิทธิภาพในการกำจัด (เปอร์เซ็นต์)
	ก่อนการตกตะกอน	ค่าเฉลี่ย	หลังการตกตะกอน	ค่าเฉลี่ย	
ค่าซีโอดี (มก./ลิตร)	145,040 - 165,659	152,515.0	100,100 – 106,624	103,362.0	32.23
ค่าความเข้มข้น (Pt.Co)	233,133 - 265,917	253,168.0	76,497 – 145,708	111,102.5	56.12
ค่า pH	4.51-4.70	4.625	4.18-4.21	4.2	-

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า การตกตะกอนน้ำกากส่าด้วยสารส้มและสารโพลีเมอร์มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีร้อยละ 32.23 และ ประสิทธิภาพในการลดค่าความเข้มข้นร้อยละ 56.12 โดยประสิทธิภาพที่คำนวณได้นี้ คิดจากค่าเฉลี่ยค่าซีโอดี และค่าความเข้มข้นของน้ำกากส่าก่อนการตกตะกอนเทียบกับน้ำกากส่าหลังการตกตะกอน ซึ่งน้ำกากส่าที่นำมาวิเคราะห์ในแต่ละการทดลองจะมีค่าซีโอดีและความเข้มข้นไม่เท่ากัน ดังนั้นประสิทธิภาพที่คำนวณได้จึงมาจากค่าเฉลี่ยจากการทดลองซ้ำทั้งหมด

จากผลการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของ Veronica และคณะ (1993) ได้ทำการศึกษาการลดสีของน้ำกากส่า โดยใช้สารอนินทรีย์ที่ทำให้เกิดกระบวนการฟลอคคูเลชัน ซึ่งสารอนินทรีย์ที่ใช้คือ polyferric hydroxysulfate ที่ใช้ทางการค้ามีสูตรทางเคมี คือ $[Fe_2(OH)_n(SO_4)_{3-n/2})_m]$ ในปริมาณ 40 มิลลิลิตรต่อลิตร ทำให้เกิดการกำจัดสีได้ร้อยละ 32-87 และ 94 สำหรับน้ำกากส่า น้ำเสียที่ผ่านการย่อยสลายและน้ำเสียในบ่อพักหลังการย่อยสลาย ตามลำดับพบว่า ปริมาณสารส้มคือ 84 กรัมต่อลิตรที่ใช้ในการกำจัดซีโอดีและสีของน้ำกากส่ามีปริมาณการใช้ที่มากกว่า ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะมากกว่าก็ตาม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบถึงการนำไปใช้จริงอาจจะไม่คุ้มกับการลงทุน แต่ถ้าหากมีการนำไปบำบัดโดยการย่อยสลายทางชีวภาพก่อนที่จะนำมาตกตะกอนด้วยสารส้มกับโพลีเมอร์ผลการกำจัดสีและซีโอดีควรจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและปริมาณสารส้มที่ใช้จะมีปริมาณที่ลดลง เพราะจากการทดลองของ Veronica และคณะ ได้ทำการทดลองลดสีหลังจากที่มีการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แล้วปรากฏว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้น

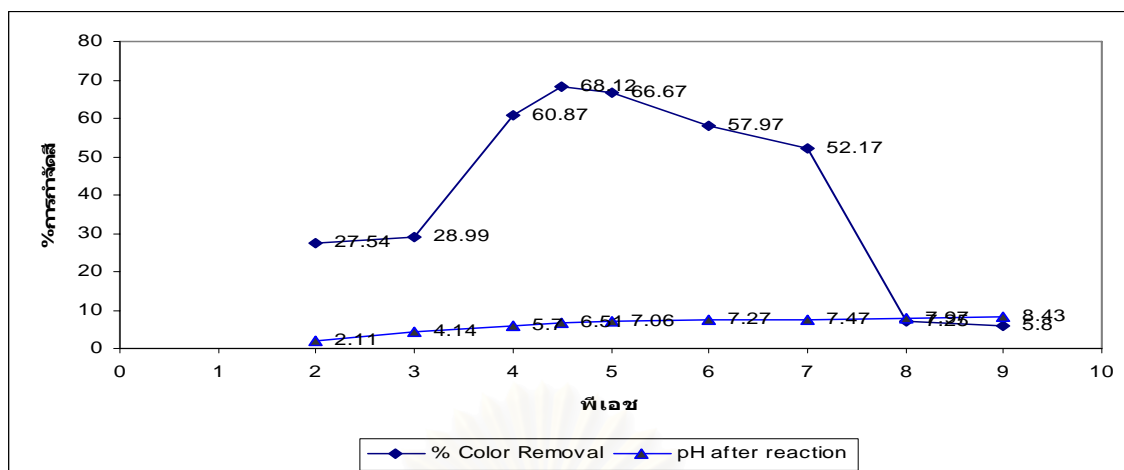
ในการทดลองขั้นต่อไปจะเป็นการใช้ถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ในการดูดซับสี และลดค่าซีไอดี โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีไอดี และค่าความเข้มข้นของน้ำกากส่า หลังการตกตะกอนแล้ว

4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของ พีเอช ต่อการดูดติดผิว

ในขั้นตอนนี้ได้นำน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนจากขั้นตอนที่ 4.2 ที่ทราบความเข้มข้นและค่าซีไอดีเริ่มต้นนำมาทำการเจือจาง 50 เท่า และถ้าคิดเทียบกับการเจือจางในครั้งแรก 2 เท่าแล้ว จะเป็นการเจือจางน้ำกากส่า 100 เท่า หลังจากนั้นนำมาทำการปรับค่าพีเอชให้มีค่าอยู่ในช่วง 2-9 หลังจากนั้นนำน้ำกากส่าที่ปรับพีเอชแล้ว เติมถ่านกัมมันต์ F300 ปริมาณ 0.5 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสีและ ซีไอดีที่เกิดจากการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 ตารางที่ 4.9 รูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 ข้อมูลดิบอยู่ในภาคผนวก ง.1 และ ง.2

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่าที่พีเอชต่าง ๆ

ปริมาณถ่านกัมมันต์ F 300 (g)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ความเข้มข้นเริ่มต้น (Pt-Co)	ความเข้มข้นที่เหลือ (Pt-Co)	การกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
0.5	ปกติ (4.5)	6.51	125,673	40,070	68.12
0.5	2	2.11	125,673	91,068	27.54
0.5	3	4.14	125,673	89,246	28.99
0.5	4	5.70	125,673	49,176	60.87
0.5	5	7.06	125,673	41,891	66.67
0.5	6	7.27	125,673	52,819	57.97
0.5	7	7.47	125,673	60,104	52.17
0.5	8	7.97	125,673	116,566	7.25
0.5	9	8.43	125,673	118,388	5.80



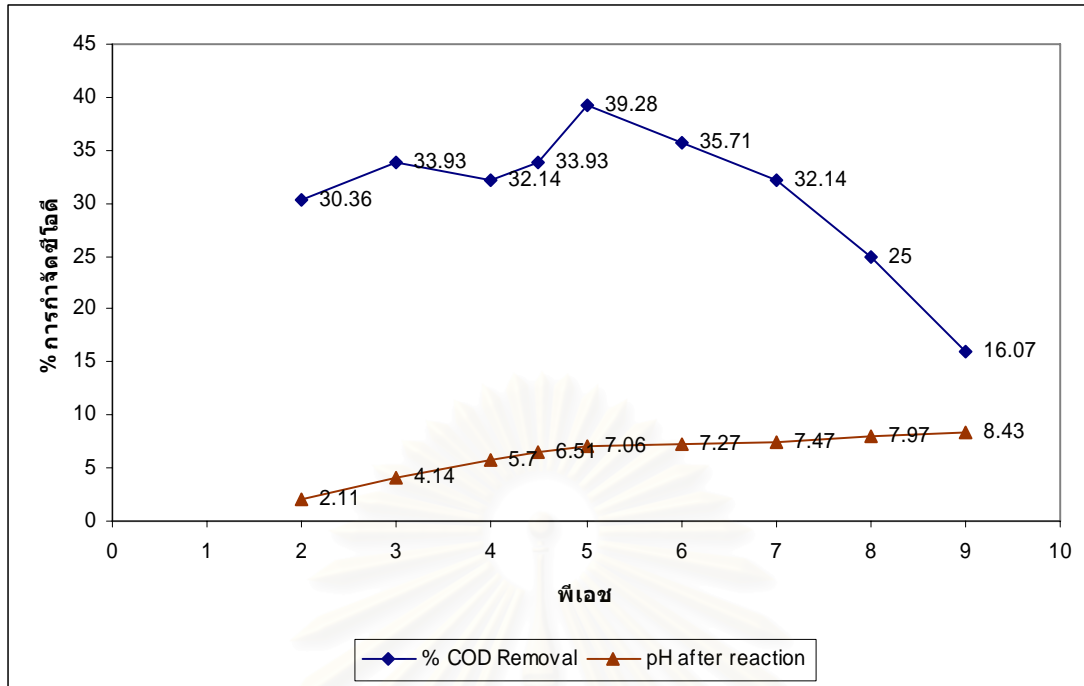
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละการกำจัดสีและค่าพีเอชหลังการตกตะกอน

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.4 พบว่า ร้อยละการกำจัดสีทั้งหมดที่พีเอชปกติ จะให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือร้อยละ 68.12

ประสิทธิภาพการกำจัดสีทั้งหมดนั้น บางส่วนเกิดขึ้นจากการตกตะกอน ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงค่าประสิทธิภาพการดูดติดผิวและการกำจัดสีน้ำกากส่าทั้งหมดที่พีเอช 2-9 แล้ว พบว่า ที่พีเอชปกติ หรือ พีเอช 4.5 มีความเหมาะสมในการกำจัดสีน้ำกากส่า โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสีทั้งหมดร้อยละ 68.12 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด อีกทั้งเมื่อพิจารณาถึงการนำไปใช้งานจริงในสภาวะที่ไม่ต้องปรับค่าพีเอชจะทำให้ประหยัดในการที่ไม่ต้องใช้สารเพื่อปรับพีเอชอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงเลือกการไม่ปรับพีเอชหรือที่พีเอชปกติของน้ำกากส่า เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี ของน้ำกากส่าที่พีเอชต่างๆ

ปริมาณถ่านกัมมันต์ F 300 (g)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ค่า ซีโอดี เริ่มต้น (มก./ลิตร)	ค่า ซีโอดี ที่เหลือ (มก./ลิตร)	การกำจัดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์)
0.5	ปกติ (4.5)	6.51	106,624	70,448	33.93
0.5	2	2.11	106,624	74,256	30.36
0.5	3	4.14	106,624	70,448	33.93
0.5	4	5.70	106,624	72,352	32.14
0.5	5	7.06	106,624	64,736	39.28
0.5	6	7.27	106,624	68,544	35.71
0.5	7	7.47	106,624	72,352	32.14
0.5	8	7.97	106,624	79,968	25.00
0.5	9	8.43	106,624	89,488	16.07



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละการกำจัดซีโอดีและค่าพีเอชหลังการตกตะกอน

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.5 พบว่า ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการกำจัดสีน้ำกากส่า นั่นคือ ที่พีเอชปกติคือที่ pH 4.5 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ร้อยละ 33.93 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดคือ ร้อยละ 39.28 ดังนั้น ผลการทดลองนี้จึงเป็นสิ่งที่สนับสนุนให้เลือกการไม่ปรับค่าพีเอชหรือเลือกใช้ที่ pH ปกติของน้ำกากส่า เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

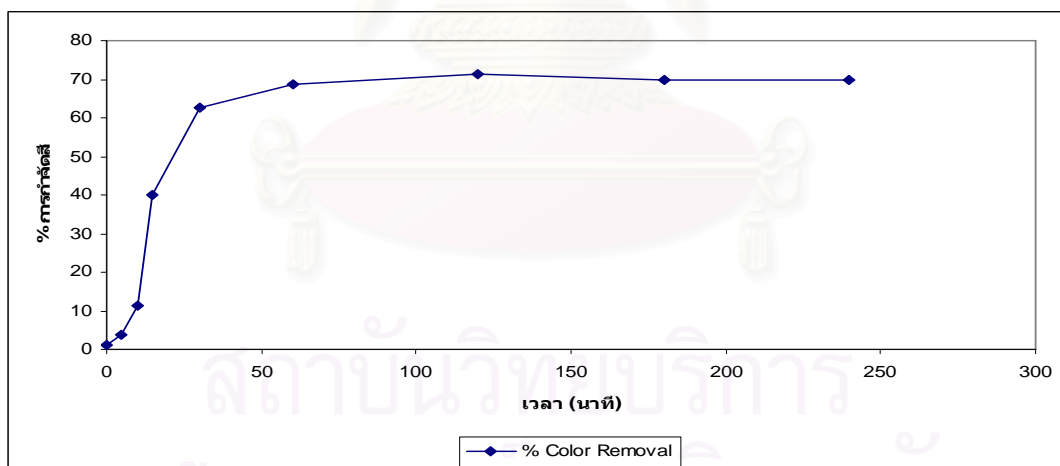
4.3.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิว

ในขั้นตอนนี้ได้นำน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนจากขั้นตอนที่ 4.2 ที่ทราบความเข้มข้นและค่าซีโอดีเริ่มต้น โดยไม่ปรับค่าพีเอช นำน้ำกากส่าเดิมถ่านกัมมันต์ F300 ปริมาณ 0.5 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0 5 10 15 30 60 120 180 และ 240 นาที เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสีและ ซีโอดีที่เกิดจากการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.10 ตารางที่ 4.11 รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ข้อมูลดิบอยู่ในภาคผนวก ง.3 และ ง.4

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำจากส่วที่เวลาสัมผัสต่างๆ

ปริมาณ ถ่านกัมมันต์ F 300 (g)	เวลา (นาที)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ความเข้มข้น เริ่มต้น (Pt-Co)	ความเข้มข้น ที่เหลือ (Pt-Co)	การกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)
0.5	0	4.65	4.82	145,708	143,887	1.25
0.5	5	4.65	4.97	145,708	140,244	3.75
0.5	10	4.65	5.24	145,708	129,316	11.25
0.5	15	4.65	5.65	145,708	87,425	40.00
0.5	30	4.65	6.11	145,708	54,641	62.50
0.5	60	4.65	6.56	145,708	45,534	68.75
0.5	120	4.65	6.79	145,708	41,891	71.25
0.5	180	4.65	7.00	145,708	43,712	70.00
0.5	240	4.65	7.02	145,708	43,712	70.00

หมายเหตุ ร้อยละการกำจัดสีที่ได้เป็นค่าที่คิดจากน้ำจากส่วที่ผ่านการตกตะกอนโดยสารส้มและสารโพลีเมอร์ในปริมาณที่เหมาะสมที่ pH 10



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำจากส่วที่เวลาสัมผัสต่างๆ

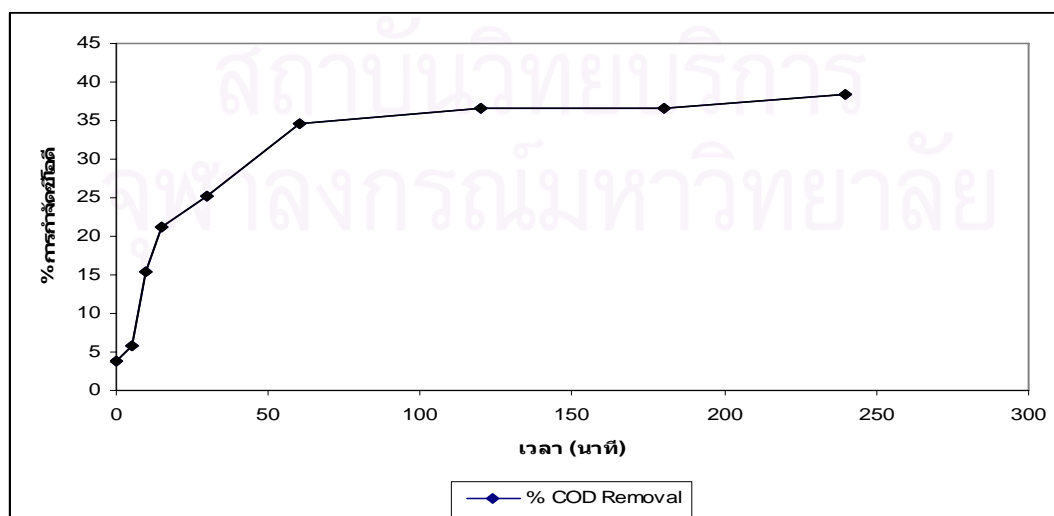
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.6 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำจากส่วจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาสัมผัส 5 นาที จนถึง 60 นาที สังเกตได้จากความชันของกราฟในช่วงเวลา 5 นาที-60 นาที จะมีความชันมาก โดยพบว่า การกำจัดสีสูงสุดของถ่านกัมมันต์ F300 คือร้อยละ 71.25 ที่เวลาสัมผัส 120 นาที และมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 180 และ 240 นาที แต่เมื่อพิจารณาที่เวลาสัมผัส 60 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 68.75 ซึ่งเป็นค่าที่

ใกล้เคียงกับที่เวลาสัมผัส 120 นาที ซึ่งถ้าคิดถึงการนำไปใช้งานจริงที่เวลาสัมผัสน้อยกว่าจะมีผลทำให้การบำบัดน้ำเสียเร็วขึ้นเป็นการประหยัดเวลาและการลงทุน ดังนั้น จึงสรุปว่าเวลาสัมผัสที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีน้ำกากส่าด้วยถ่านกัมมันต์ F300 คือ 60 นาที และจากผลการทดลองนี้จึงนำเวลาสัมผัสที่ 60 นาที นำมาคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำในการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง เพื่อให้ระยะเวลาเก็บกักน้ำกากส่าในคอลัมน์เป็น 60 นาที ดังภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี ของน้ำกากส่าที่เวลาสัมผัสต่างๆ

ปริมาณถ่านกัมมันต์ F300 (g)	เวลา (นาที)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย	ค่า ซีโอดี เริ่มต้น (มก./ลิตร)	ค่า ซีโอดี ที่เหลือ (มก./ลิตร)	การกำจัดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์)
0.5	0	4.65	4.82	100,672	96,800	3.85
0.5	5	4.65	4.97	100,672	94,864	5.77
0.5	10	4.65	5.24	100,672	85,184	15.38
0.5	15	4.65	5.65	100,672	79,376	21.15
0.5	30	4.65	6.11	100,672	75,246	25.26
0.5	60	4.65	6.56	100,672	65,824	34.62
0.5	120	4.65	6.79	100,672	63,888	36.54
0.5	180	4.65	7.00	100,672	63,888	36.54
0.5	240	4.65	7.02	100,672	61,952	38.46

หมายเหตุ ร้อยละการกำจัดซีโอดีที่ได้เป็นค่าที่คิดจากน้ำกากส่าที่ผ่านการตกตะกอนโดยสารส้มและสารโพลิเมอร์ในปริมาณที่เหมาะสมที่ pH 10



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีน้ำกากส่าที่เวลาสัมผัสต่างๆ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.7 พบว่า ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองการกำจัดสีน้ำกากสำ นั้นคือ ประสิทธิภาพการกำจัดสีโอดีของน้ำกากสำจะเกิดขึ้นรวดเร็วในช่วงเวลา 5 นาที จนถึงเวลาที่ 60 นาที สังเกตได้จากความชันของกราฟในช่วงเวลา 5 นาที-60 นาที จะมีความชันมากเช่นเดียวกับ กราฟในรูปที่ 4.6 โดยพบว่าที่เวลาสัมผัส 240 นาที จะมีร้อยละการกำจัดสีโอดีสูงสุด คือ ร้อยละ 38.46 แต่ถ้าเปรียบเทียบกับที่เวลาสัมผัส 120 และ 180 ซึ่งมีร้อยละการกำจัดสีโอดีเท่ากันคือ ร้อยละ 36.54 และที่เวลาสัมผัส 60 นาที มีร้อยละการกำจัดสีโอดี 34.62 ซึ่งถือว่าไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้น จึงสรุปว่าเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของการกำจัดสีโอดีด้วยถ่านกัมมันต์ F300 คือ 60 นาที เช่นเดียวกับการกำจัดสีน้ำกากสำ

จากผลการทดลองหาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสีโอดีน้ำกากสำโดยถ่านกัมมันต์ คือการหาค่าพีเอช และเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกัน แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากสำโดยถ่านกัมมันต์ยิ่งเพิ่มมากขึ้นเท่าไร ประสิทธิภาพการกำจัดสีโอดีก็จะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เนื่องจาก สีที่เกิดขึ้นในน้ำกากสำส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ที่เรียกว่า molasses melanoidin มีลักษณะสีน้ำตาลจนถึงสีดำ ซึ่งสารประเภทนี้มีส่วนทำให้น้ำกากสำมีค่าสีโอดีสูง ดังนั้นการกำจัดสีน้ำกากสำโดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จึงเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำกากสำซึ่งเป็นการลดสีและค่าสีโอดีไปพร้อมๆ กัน

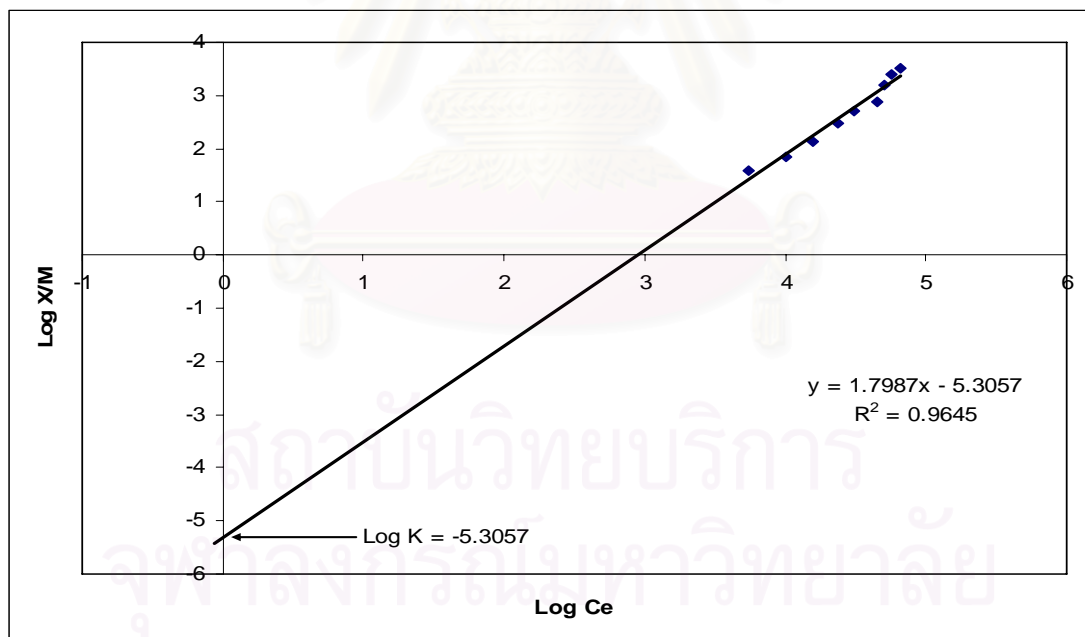
4.3.4 ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับของถ่านกัมมันต์

ในขั้นตอนนี้ได้ใช้น้ำกากสำที่ผ่านการตกตะกอนจากขั้นตอนที่ 4.2 ที่ทราบความเข้มข้นและค่าสีโอดีเริ่มต้น โดยไม่ปรับค่าพีเอช (พีเอช 4.5) มาใส่ในขวดทดลอง เติมถ่านกัมมันต์ F300 ปริมาณ 0 0.01 0.02 0.04 0.1 0.2 0.4 1.0 2.0 และ 4.0 กรัม ลงในขวดแต่ละใบตามลำดับ นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ได้จากขั้นตอนการหาเวลาสัมผัสที่ดีที่สุดที่ขั้นตอนที่ 4.3.3 หลังจากนั้นแยกถ่านกัมมันต์ออก โดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าพีเอช, สีโอดี และความเข้มข้นที่เหลือ นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบ แลงเมียร์ และ ฟรอนคลิช ผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.8 ข้อมูลดิบอยู่ในภาคผนวก ฉ.1

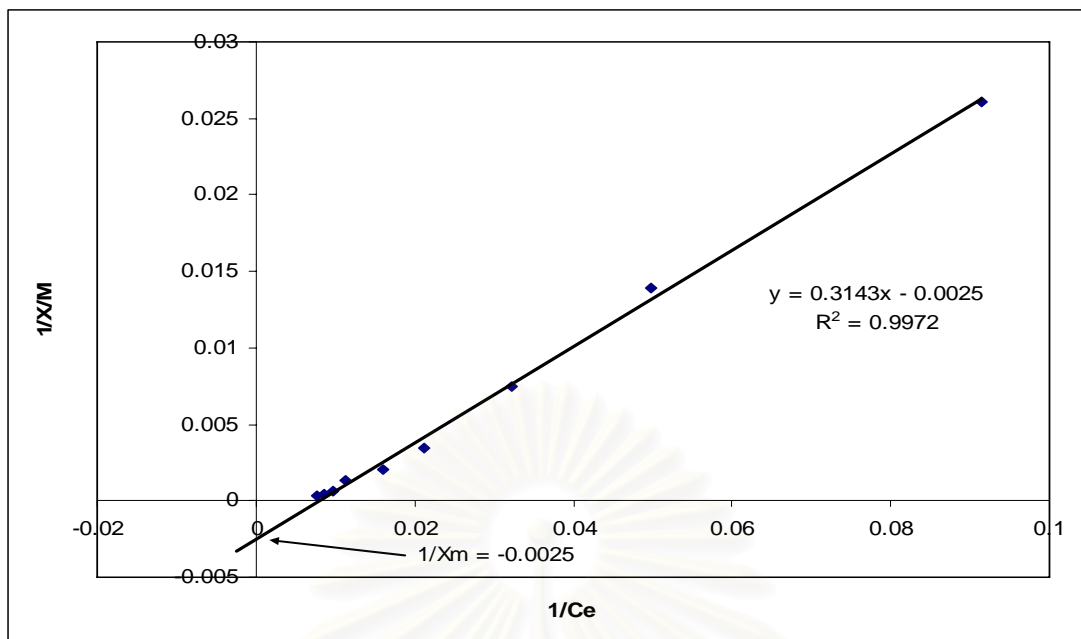
หมายเหตุ ที่เวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่สุดคือ 60 นาที เป็นเวลาสัมผัสที่ใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่องในขั้นตอนที่ 4.3.5

ตารางที่ 4.12 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชและแลงมัวร์ของถ่านกัมมันต์ filtrasorb 300

น้ำหนัก ถ่าน, M (g)	pH หลังเขย่า	สีเริ่มต้น (Pt-Co)	สีที่จุดสมดุล เฉลี่ย Ce(Pt-Co/l)	สีที่กำจัด ได้ X(Pt- Co)	X/M (Pt- Co/g.Carbon)	1/(X/M)	1/Ce
0	4.71-4.73	81,961	81,961.00	-	-	-	-
0.01	4.71-4.83	81,961	65,568.50	32.78	3,278.00	0.0003	0.0076
0.02	4.86-4.87	81,961	57,373.00	49.17	2458.5	0.0004	0.0087
0.04	4.91-4.97	81,961	50,997.50	61.92	1548.00	0.0006	0.0098
0.1	5.33-5.50	81,961	44,623.00	74.67	746.70	0.0013	0.0112
0.2	5.71-6.07	81,961	30,963.00	101.99	509.95	0.0020	0.0161
0.4	6.77-6.81	81,961	23,677.50	116.56	291.40	0.0034	0.0211
1.0	7.20-7.37	81,961	15,481.50	132.96	132.96	0.0075	0.0323
2.0	7.62-7.71	81,961	10,017.00	143.89	71.95	0.0139	0.0499
4.0	8.10-8.11	81,961	5,464.00	152.99	38.25	0.0261	0.0915



(ก) ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช



(จ) ไอโซเทอมแบบแลงมัวร์

รูปที่ 4.8 การทดสอบ ไอโซเทอมแบบฟรุนคลิชและแลงมัวร์ของถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300

ตารางที่ 4.13 ค่าคงที่ของไอโซเทอมแบบฟรุนคลิชและแลงมัวร์

ถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300			
K	1/n	1/X _m	1/bX _m
4.95×10^{-6}	1.7987	-0.0025	0.3143

จากผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.12 กับ ตารางที่ 4.13 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นน้ำอากาศที่เหลือน้อยหลังจากเขย่าจะลดลง สำหรับการหาไอโซเทอมการดูดซับของน้ำอากาศด้วยถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.12 เมื่อนำข้อมูลมาวาดกราฟไอโซเทอมแบบฟรุนคลิช ดังรูปที่ 4.8 ก สามารถคำนวณหาสมการเส้นตรงได้ คือ $y = 1.7987x - 5.3057$ มีค่า $R^2 = 0.9645$ มีค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับ (K) เท่ากับ 4.95×10^{-6} แพลทตินัม-โคบอลต์ต่อกรัมถ่านกัมมันต์ และมีค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานในการดูดซับ (1/n) เท่ากับ 1.7987

จากการคำนวณค่าคงที่ของไอโซเทอมแบบฟรุนคลิชดังตารางที่ 4.13 พบว่า ค่า 1/n สูงกว่า 1 แสดงว่าถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 มีความสามารถในการดูดซับน้ำอากาศได้ไม่ดี

สำหรับการหาไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ของถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 เมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ ดังรูปที่ 4.8 ข สามารถคำนวณหาสมการเส้นตรงได้ คือ $y = 0.3143x - 0.0025$ มีค่า $R^2 = 0.9972$, $1/X_m$ เท่ากับ -0.0025 แพลทตินัม-โคบอลต์ต่อกรัมถ่านกัมมันต์ และ $1/bX_m$ เท่ากับ 0.3143

จากผลการศึกษาไอโซเทอมทั้งสองแบบ พบว่าสมการไอโซเทอมแบบแลงมัวร์มีความเหมาะสมที่จะนำมาทำนายกลไกการกำจัดสีน้ำากาส่มากกว่าสมการแบบฟรุนดลิช เนื่องจากค่า R^2 มีค่ามากกว่า

4.3.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำากาส่ำด้วยถ่านกัมมันต์ ชนิด F300 โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง

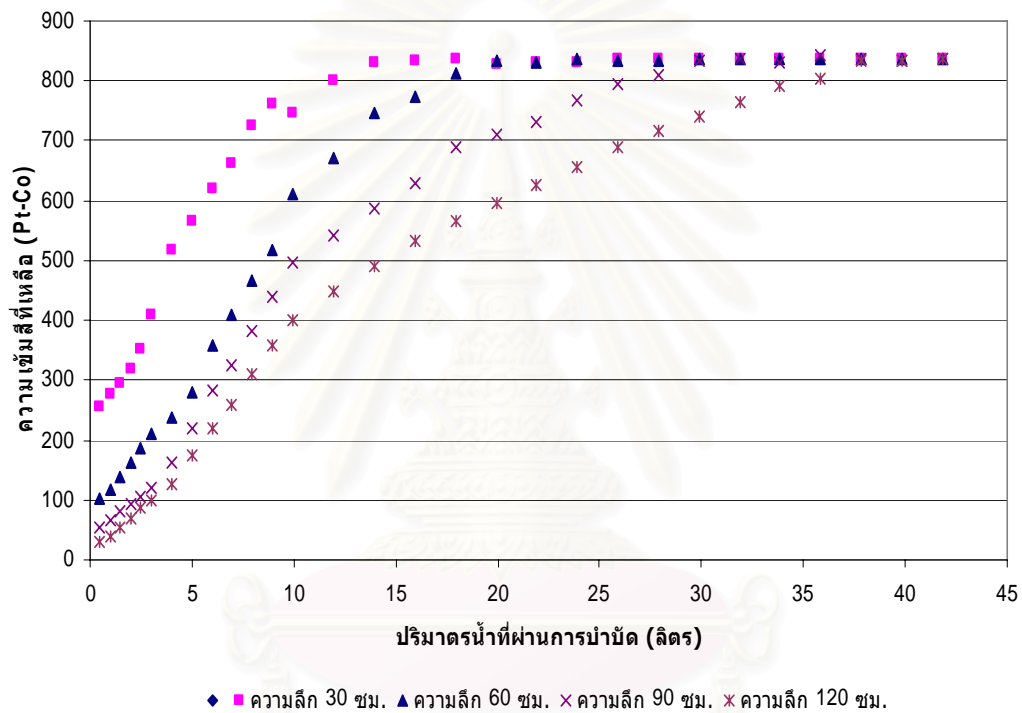
ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการใช้งานของถ่านกัมมันต์ F300 เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้จริงในโรงงาน โดยทำการบรรจุถ่านกัมมันต์ F300 ลงในถังดูดติดผิวแบบแท่ง ที่เป็นท่ออะคริลิกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.3 เซนติเมตร โดยขั้นตอนการบรรจุถ่านกัมมันต์ลงในคอลัมน์ หลังจากซึ่งน้ำหนักของถ่านที่จะใช้แล้ว จะต้องนำถ่านมาไล่อากาศที่ค้างอยู่ในถ่าน โดยการเติมน้ำกลั่นให้ท่วมถ่าน นำมาต้มจนเดือด ต้มต่อให้เดือดจัดเป็นเวลา 10 นาที แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วจึงบรรจุถ่านพร้อมๆ กับน้ำที่ต้มลงในคอลัมน์ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่แล้วประมาณหนึ่งในสามของคอลัมน์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองอากาศในคอลัมน์ เจาะรูเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ ที่ 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร ผลของน้ำหนักและปริมาตรของถ่านกัมมันต์ที่ใช้บรรจุในคอลัมน์ในระดับความลึกต่างๆ ดังตารางที่ 4.14 ข้อมูลดิบอยู่ในภาคผนวก ข.1 ข.2 ข.3 และ ข.4

ตารางที่ 4.14 ปริมาตรและน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ F300 ที่ระดับความลึกต่างๆ

ความลึกของชั้นถ่าน (ซม.)	ปริมาตรของชั้นถ่าน (ลิตร)	น้ำหนัก (กรัม)
30	0.140	78.35
60	0.280	156.70
90	0.420	235.05
120	0.560	313.40

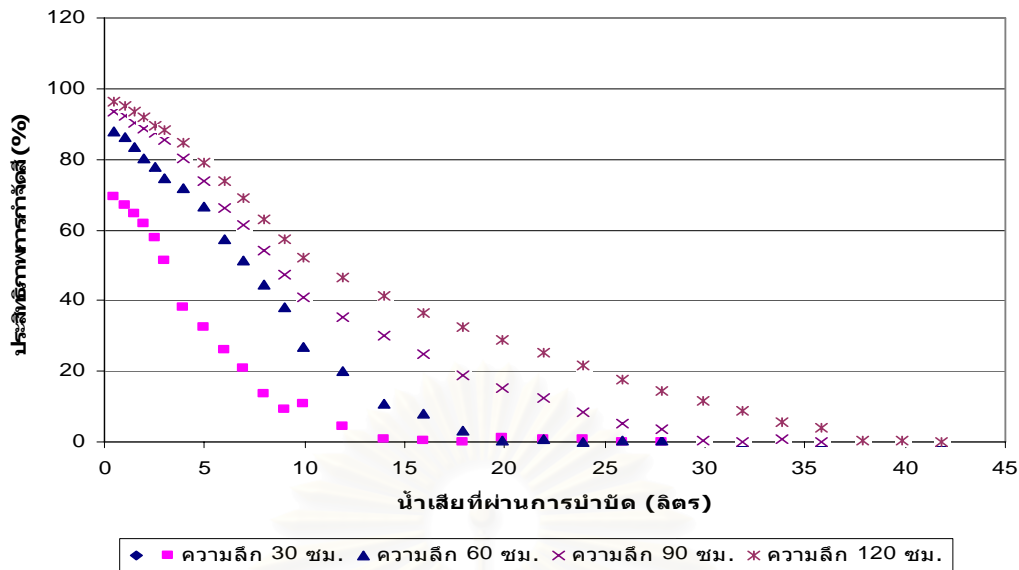
ทำการป้อนน้ำากาส่ำที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 837.82 แพลทตินัม-โคบอลต์ โดยไม่ปรับค่าพีเอช หรือพีเอชประมาณ 4.5 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในการดูดติดสีน้ำากาส่ำโดยถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ได้จากการทดลองที่ 4.3.2 เข้าสู่คอลัมน์ โดยการ

ปล่อยให้ไหลจากด้านบนลงด้านล่าง ด้วยอัตราการไหล 0.498 ลิตรต่อชั่วโมง หรือเวลากักเก็บในถัง จุดติดแบบแบ่งเท่ากับ 60 นาที ซึ่งเป็นเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.3.3 เก็บตัวอย่างน้ำกาส่าที่ระดับความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ที่ 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร ทุกๆ 1 ชั่วโมง ในช่วงแรกเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และอีกทุกๆ 2 ชั่วโมงเป็นเวลา 20 ชั่วโมงหลังจากนั้นเก็บตัวอย่างทุกๆ 4 ชั่วโมงจนกว่าค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นน้ำเข้า จึงยุติการทดลอง นำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าพีเอช ซีไอดี และความเข้มข้นที่เหลืออยู่ แล้วนำค่าที่ได้ไปสร้างเส้นโค้งเบรคทูร์จ (Breakthrough curve) ได้ผลดังรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นน้ำกาส่าที่ผ่านถึงจุดติดผิวแบบแบ่งบรรจุถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ที่ระดับความลึก 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร อัตราการไหล 0.498 ลิตรต่อชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกาสาที่ผ่านถึงจุดติดผิวแบบแท่งบรรจุถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ที่ระดับความถี่ 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร อัตราการไหล 0.498 ลิตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกาสาของถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 จะลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณน้ำกาสาที่ผ่านการบำบัด ซึ่งจะเห็นได้ชัดที่ระดับความถี่ของชั้นถ่าน 120 เซนติเมตร จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด และจะลดลงที่ระดับ 90 60 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณถ่านกัมมันต์มากกว่าและเวลาสัมผัสมากกว่า จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้น ตามระดับความถี่ของชั้นถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์แบบแท่งที่บรรจุถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ที่จุดยุติเป็นดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์แบบแท่งที่บรรจุถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ณ จุดยุติ ที่ระดับความถี่ 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร อัตราการไหล 0.498 ลิตรต่อชั่วโมง

ความถี่ชั้นถ่านกัมมันต์ (ซม.)	เวลาใช้งาน (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำกาสา (ลิตร)
30	28	13.94
60	40	19.92
90	60	29.88
120	76	37.85

จากตารางที่ 4.15 พบว่า ที่ระดับความลึกของชั้นถ่าน 30 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการใช้งานในการกำจัดสีน้ำากสาได้ 13.94 ลิตร ที่ระดับความลึกของชั้นถ่าน 60 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการใช้งานในการกำจัดสีน้ำากสาได้ 19.92 ลิตร ที่ระดับความลึกของชั้นถ่าน 90 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการใช้งานในการกำจัดสีน้ำากสาได้ 29.88 ลิตร ที่ระดับความลึกของชั้นถ่าน 120 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการใช้งานในการกำจัดสีน้ำากสาได้ 37.85 ลิตร

4.3.6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี และ สีของน้ำากสาโดยการตกตะกอนด้วยสารส้มกับโพลีเมอร์และถ่านกัมมันต์

จากการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นคือการตกตะกอนน้ำากสาด้วยสารส้มในปริมาณที่เหมาะสมที่สุดคือ 84 กรัมต่อลิตร โดยใช้สารช่วยตกตะกอนในปริมาณที่เหมาะสมที่สุดคือ 1.2 กรัมต่อลิตร ที่ pH 10 จากนั้น นำน้ำากสาที่ผ่านการตกตะกอนแล้ว มาผ่านกระบวนการดูดติดสีด้วยถ่านกัมมันต์ ที่ภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ ที่ pH ปกติของน้ำากสาที่มีค่าประมาณ 4.5 นั่นคือไม่มีการปรับ pH ใช้เวลาสัมผัสต่อการดูดติดสี 120 นาที และใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 5 กรัม/มิลลิเมตร สรุปเป็นประสิทธิภาพการกำจัด ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี และ สีของน้ำากสาที่ผ่านกระบวนการทั้งหมด

พารามิเตอร์	น้ำากสา				ประสิทธิภาพในการกำจัดทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
	ก่อนการตกตะกอน	ค่าเฉลี่ย	หลังการตกตะกอนด้วยสารส้มกับโพลีเมอร์ และดูดติดสีด้วยถ่านกัมมันต์	ค่าเฉลี่ย	
ค่า pH	4.51-4.7	4.625	8.1	8.1	-
ค่า COD (มก./ลิตร)	145,040 - 165,659	152,515	52,530 - 76,240	63,888	58.11
ค่าความเข้มสี (Pt-Co)	233,133 - 265,917	253,168	38,698 - 50,160	41,891	83.45

หมายเหตุ ประสิทธิภาพในการกำจัดทั้งหมด ได้มาจากการวิเคราะห์น้ำากสาก่อนการตกตะกอนกับน้ำากสาที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มกับโพลีเมอร์และใช้ถ่านกัมมันต์ดูดติดสีแล้ว

จากตารางที่ 4.16 พบว่า เมื่อผ่านกระบวนการทั้งหมดประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี มีค่าเท่ากับร้อยละ 58.11 และประสิทธิภาพการกำจัดสี มีค่าเท่ากับร้อยละ 83.45 โดยประสิทธิภาพที่ได้คำนวณจากค่าซีโอดี และค่าความเข้มสีน้ำากสาก่อนการบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยค่าซีโอดีเท่ากับ

152,515 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มข้นเท่ากับ 253,168 Pt.Co เทียบกับค่าซีไอดี และค่าความเข้มข้นน้ำการสำหรับการตกตะกอนด้วยสารส้มกับ โพลีเมอร์ และใช้ถ่านกัมมันต์ดูดติดผิวแล้ว โดยมีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 63,888 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มข้นเท่ากับ 41,891 Pt.Co



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลองดังแสดงไว้ในบทที่ 4 สามารถสรุปผลการทดลอง การศึกษา การกำจัดซีโอดี และ สีของน้ำกากส่าโดยการตกตะกอนด้วยสารส้มกับโพลีเมอร์ และถ่านกัมมันต์ ได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนน้ำกากส่าโดยใช้สารส้มกับสารโพลีเมอร์เพื่อลดค่าซีโอดี พบว่า ที่พีเอช 10 และปริมาณสารส้ม 84 กรัมต่อลิตร เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดซีโอดีน้ำกากส่า โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 26.92 เมื่อทำการเติมสารโพลีเมอร์ซึ่งเป็นสารช่วยตกตะกอนพบว่า สารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบมีประสิทธิภาพในการช่วยตกตะกอนเพื่อลดค่าซีโอดีของน้ำกากส่าได้ดีที่สุด โดยปริมาณสารโพลีเมอร์ที่เหมาะสมเท่ากับ 1.2 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 31.44

5.1.2 ผลการศึกษายปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีน้ำกากส่าโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ซึ่งการทดลองในขั้นนี้ได้นำน้ำกากส่าที่ผ่านการกำจัดซีโอดีในขั้นตอนที่ 5.1.1 แล้วและใช้ถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ปริมาณ 0.5 กรัม นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า น้ำกากส่าที่ไม่ได้ทำการปรับค่าพีเอช (พีเอชปกติ น้ำกากส่ามีค่าประมาณ 4.5) มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีที่สุดคือร้อยละ 68.12 และมี ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ร้อยละ 33.93 และเมื่อทำการเขย่าที่เวลาสัมผัสต่างๆ พบว่าที่เวลาสัมผัส 120 นาที เป็นเวลาสัมผัสที่ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่า ร้อยละ 71.25 และกำจัดซีโอดีได้ ร้อยละ 36.54 แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับที่เวลาสัมผัส 60 นาที โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำกากส่า ร้อยละ 68.75 และกำจัดซีโอดี ร้อยละ 34.62 เมื่อพิจารณาแล้วค่าที่ได้นี้ไม่แตกต่างกันมาก อีกทั้งการใช้เวลาสัมผัสน้อย จะมีผลต่อการลงทุนและความรวดเร็วในการบำบัดน้ำกากส่าถ้าหากได้มีการนำไปใช้จริงในโรงงานสุรา และเมื่อทำการทดลองโดยใช้เวลาสัมผัสมากขึ้น พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีน้ำกากส่าไม่แตกต่างกับที่เวลาสัมผัสที่ 120 นาที และ 60 นาที มากนัก ดังนั้นจึงเลือกใช้ เวลาสัมผัสที่ 60 นาที ในการนำไปใช้ในขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกากส่า ของถ่านกัมมันต์ ในถังดูดซับแบบแท่ง และใช้เวลาสัมผัสที่ 120 นาที ในการทดสอบไอโซเทอม

5.1.3 ผลการทดสอบไอโซเทอม โดยใช้สมการไอโซเทอมการดูดซับในการทำนายประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำจากสา โดยใช้น้ำผ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 พบว่า ไอโซเทอมแบบแลงมีร์มีค่า R^2 มากกว่าไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ดังนั้นไอโซเทอมแบบแลงมีร์จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นตัวแทนในการทำนายกลไกการกำจัดสีน้ำจากสา มากกว่าไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ซึ่งจากการคำนวณหาสมการเส้นตรงได้ คือ $y = 0.3143x - 0.0025$ มีค่า $R^2 = 0.9972$ ค่า $1/X_m$ เท่ากับ -0.0025 แพลทตินัม-โคบอลต์ต่อกรัมถ่านกัมมันต์ และ $1/bX_m$ เท่ากับ 0.3143

5.1.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำจากสาของถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ในถังดูดซับแบบแบ่ง โดยทำการบรรจุถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 ลงในถังดูดซับแบบแบ่งที่ระดับความสูง 120 เซนติเมตร ป้อนน้ำจากสาที่ผ่านการกำจัดค่าซีโอดีจากขั้นตอนที่ 5.1.1 โดยไม่ได้ทำการปรับพีเอช (พีเอชประมาณ 4.5) เนื่องจากค่าพีเอชปกติของน้ำจากสาหลังการตกตะกอนเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากขั้นตอน 5.12 โดยการปล่อยให้ไหลจากด้านบนลงด้านล่างด้วยอัตราการไหล 0.498 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งนำมาคำนวณเวลาเก็บกักในถังดูดซับแบบแบ่งได้ 60 นาที อันเป็นเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอน 5.12 เก็บตัวอย่างน้ำจากสาที่ระดับความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ที่ 30 60 90 และ 120 เซนติเมตร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่จุดยุติ จะมีระยะเวลาการใช้งาน 28, 40, 60 และ 76 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อคำนวณเป็นปริมาตรของน้ำจากสาที่ไหลผ่านจะได้เท่ากับ 13.94 19.92 29.88 และ 37.85 ลิตร ตามลำดับ

5.1.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี และ สีของน้ำจากสาโดยการตกตะกอนด้วยสารส้มกับโพลีเมอร์และดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ปริมาณสารส้มที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนน้ำจากสา คือ 84 กรัมต่อลิตร ที่พีเอช 10 และใช้สารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบเป็นสารช่วยตกตะกอน โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.2 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ร้อยละ 32.23 และกำจัดสีน้ำจากสาได้ร้อยละ 56.12 เมื่อนำน้ำจากสาที่ผ่านการตกตะกอนแล้วไปผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ที่พีเอชปกติมีค่าประมาณ 4.5 และ ใช้เวลาสัมผัส 120 นาที ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้เท่ากับ 5 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีมีค่าร้อยละ 71.25 และกำจัดซีโอดีได้ ร้อยละ 36.54 และเมื่อคำนวณประสิทธิภาพทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนถึงขั้นตอนสุดท้ายในการกำจัดซีโอดี และสีน้ำจากสา พบว่า สามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 58.11 และกำจัดสีได้ร้อยละ 83.45 โดยประสิทธิภาพที่ได้คำนวณจากค่าซีโอดี และค่าความเข้มสีน้ำจากสาก่อนการบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยค่าซีโอดีเท่ากับ 152,515 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มสีเท่ากับ 253,168 Pt.Co เทียบกับค่าซีโอดี และค่าความเข้มสีน้ำการสาหลังการตกตะกอนด้วยสารส้มกับ โพลีเมอร์ และใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับแล้ว โดยมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 63,888 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มสีเท่ากับ 41,891 Pt.Co

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาการใช้สารสร้างตะกอนประเภทอื่นในการตกตะกอนน้ำกากสำเพื่อลดค่าซีไอดี เช่น หินปูน PACI เฟอร์ริกซัลเฟต หรือเฟอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูง ๆ
- 2) ศึกษาวิธีการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ เพื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับน้ำกากสำแล้ว นำกลับมาใช้อีก แล้วทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้หลังการฟื้นฟูสภาพ
- 3) เนื่องจากน้ำกากสำมีปริมาณสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูงมาก ดังนั้น การกำจัดซีไอดีน้ำกากสำ โดยการตกตะกอนด้วยสารส้มกับสารโพลีเมอร์ ต้องใช้ปริมาณสารส้มและสารโพลีเมอร์ในปริมาณที่มาก ซึ่งอาจไม่คุ้มต่อการลงทุนทางอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงควรมีการบำบัดน้ำกากสำโดยวิธีทางชีวภาพก่อนที่จะนำมาบำบัดโดยวิธีการตกตะกอนด้วยสารส้มและสารโพลีเมอร์
- 4) ศึกษาวิธีการกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนน้ำกากสำ เนื่องจากตะกอนที่เกิดขึ้นเมื่อป้อนสู่แหล่งน้ำจะทำให้ค่าซีไอดีสูงขึ้นมากเช่นเดียวกับน้ำกากสำที่ยังไม่ผ่านการบำบัด ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการกำจัดที่เหมาะสม
- 5) ในการดูดซับสีผิวน้ำกากสำโดยใช้ถ่านกัมมันต์ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพที่ได้ เทียบกับปริมาณการใช้ถ่านกัมมันต์ ซึ่งใช้ในปริมาณที่สูงมาก ซึ่งยังเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากการใช้ถ่านกัมมันต์ยังไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ดูดซับสีผิวน้ำกากสำซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มาก ดังนั้นควรมีวิธีการบำบัดโดยวิธีอื่นเพื่อให้กากสำมีปริมาณสารอินทรีย์ที่เจือจางลง แล้วจึงใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสีผิวน้ำกากสำ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมสรรพสามิต กระทรวงการคลัง. 2526. เอกสารโครงการก่อสร้างโรงสุราใหม่โครงการที่ 1 จังหวัดขอนแก่น. 21 กันยายน 2526.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. วิศวกรรมประปา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการพิมพ์.
- เกษตรอุตสาหกรรม. 2530. การผลิตปุ๋ยหมักจากกากส่า. กรุงเทพมหานคร: ชัยพฤกษ์การเกษตร.
- จักริน นักร้อง. 2549. การกำจัดสียจากน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524. การแก้ไขปัญหาน้ำเสียจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์และสุรา. การสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่องการพัฒนาการผลิตสุราและแอลกอฮอล์. นครปฐม: ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ชเรศ ศรีสถิตย์ และ สุภณีย์ คุ้มเสงี่ยม. 2548. รายงานวิจัยการสำรวจการปนเปื้อนของกากส่าในดินบริเวณรอบๆ ที่เก็บกากส่าของโรงงานสุราในเขตภาคกลาง 3 จังหวัด. กรุงเทพมหานคร. มิถุนายน 2548.
- นิศากร โหมยรัตน์. 2526. การแก้ไขปัญหาน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสุราและเอชแอลกอฮอล์. กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2527. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2543. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ลลิตา นิต์ศนจารกุล. 2544. การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วจน์ศิริ ประยูรพรหม. 2539. ขนาดรูพรุนที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์เม็ดสำหรับการกำจัดสียจากน้ำเสียโรงงานย้อมผ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศุภฤกษ์ สิ้นสุพรรณ. 2528. การออกแบบวิศวกรรมสุขาภิบาล เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น: งานผลิตเอกสารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- ศิริธูมา บำรุงวงษ์. 2541. การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี และกระบวนการดูดซับด้วยคาร์บอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สฤณฉวี กุณเฑาะ. 2526. การเลี้ยงจุลินทรีย์ในน้ำสำหิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สัณฐวัฒน์ อิงคภาคย์. 2539. ประสิทธิภาพของการลดซีโอดี และสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดซับด้วยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สวีนดา เกตุสุวรรณ. 2543. การลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยโพอลิอูมิเนียมคลอไรด์, เฟอร์ริกซัลเฟต และแคลเซียมไฮดรอกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อริชัย นพแก้ว. 2539. การใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับสีและโลหะหนักจากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านบ่อเก็บกัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- American Society for Testing and Materials. 2000. Standard Test Method for Color of Clear Liquids, ASTM D1209. Annual Book of ASTM standard 06,04. Philadelphia: ASTM.
- Amirtharajah, A. and O'Melia, C.R. 1990. Coagulation Process Destabilization, Mixing and Flocculation. Water Quality and Treatment, 4th ed. New York: McGraw-Hill. pp. 269-311.
- APHA, AWWA, WPCF 1998. Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. Washington: American Public Health Association.
- Black, A.P., and Hannah, S.A. 1961. Electrophoretic Studies of Turbidity removal by Coagulation with Aluminium Sulphate. Journal AWWA. 53: 438-452.
- Chang, T.N. 1988. Color removal from on-Nooch leachate by chemical treatment. Master' Thesis, AIT. Bangkok.

- Cheasavathi, T. 1992. Removal of colour, COD and manganese from wastewater of jean bleaching factory by chemical coagulation with aluminium sulphate. Master' Thesis, Kasetsart University. Bangkok.
- Cheremisinoff, P.N. and Ellerbusch, F. 1978. Carbon Adsorption Handbook. Michigan: Ann Arbor Science Publisher.
- Eckenfelder, W.W. 1981. Applications of adsorption to wastewater treatment. Tennessee: Enviro Press.
- Faust, S.D., and Aly, O.M. 1987. Adsorption process of water treatment. United States of America: Butterworth Publishes.
- Frederick, W.P. 1990. Water Quality and Treatment. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Hotton, W. and Simpson, A.M., 1986. Enhanced Colour Removal from Sewage effluents Using Chemical flocculants. London. Env. Tech. Lett. pp. 423-424.
- Lee, M.C., Snoeyink, V.L. and Crittenden J.C. 1983. Activated Carbon Adsorption of Humic Substances. Journal of the American Water Works. pp. 144-149.
- Luhadia, A., Kaushik, K.K. and Murthy, Z.V.P. 2003. Reactive dyes: Removal by nonconventional adsorbents. Journal of Chemical Engineering World. 38,5: 65-67.
- Metcalf and Eddy. 1991. McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering. 3rd ed. New York: McGraw-Hill.
- Mihelcic, R.J. 1999. Fundamentals of environmental engineering. New York: John Wiley and Sons.
- Samuel, D.F. and Osman, M.A. 1983. Chemistry of Water Treatment. Michigan: An Ann Arbor Science Book, pp. 277-363.
- Satyawali Y. and Balakrishnan M. 2007. Removal of color from biomethanated distillery spentwash by treatment with activated carbons. New Delhi: TERI University.
- Thierry, B., Astride, V., Masion, A., Rybacki, D. and Bottero, J. 1999. Removal of Natural Organic Matter by Coagulation-Flocculation: A Pyrolysis-GC-MS Study. Environ Sci. Technol. Vol 33: No. 17: pp. 3027-3032.
- Underkofler, L.A. and Hickley R.J. 1954. Alcoholic Fermentation of Molasses, Industrial fermentation. New York: Chemical Publishing Company.
- Valencia, G., and Gloyna, E.F. 1972. On the synthesis of activated column design data. Texas: Bureau of Engineering Research. P.235.

Veronica P.Migo, Masatoshi M., Ernesto J. Del Rosario and Hiroshi K. 1993.

Decolorization of Molasses Wastewater Using an Inorganic Flocculant.

Journal of Fermentation and Bioengineering. 75: 438-442.

Weber, W.J. 1972. Physicochemical processes for water quality control. United States of America: John Wiley and Sons.

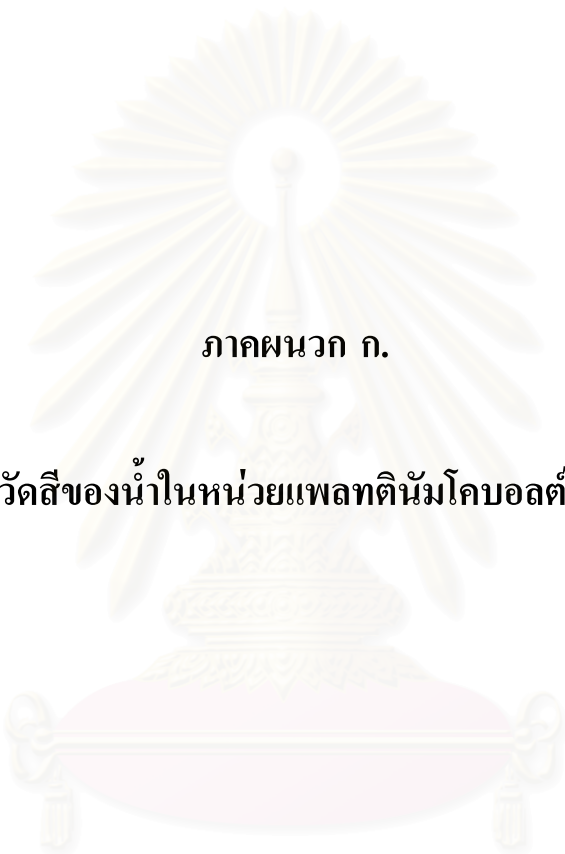


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

วิธีการวัดสีของน้ำในหน่วยแพลตตินัมโคบอลต์ (Pt-Co)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการวัดสีของน้ำในหน่วยแพลทตินัมโคบอลต์ (Standard Test Method for Color of Clear Liquids, ASTM D1209-00)

1) เครื่องมือ

1.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) กับ Absorption Cell ขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร และสามารถวัดได้ที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 ถึง 1,000 นาโนเมตร

1.2 ระบบกรอง

- Filtration Flasks ขนาด 500 มิลลิเมตร
- Bushner Funnel No.180/70
- กระดาษกรอง Glass Fiber Filter GF/C (ขนาดรูลูรูน 1.2 ไมครอน)

2) วิธีการ

การวัดสีในหน่วยแพลทตินัมโคบอลต์ ใช้สำหรับการวัดสีของน้ำที่เกิดจากสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถเตรียมสารละลายมาตรฐานแพลทตินัมโคบอลต์ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับมาตรฐานในหน่วย แพลทตินัมโคบอลต์ (Pt-Co Unit) กับค่าแอบซอเบแนนซ์ (Absorbance) ที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ดังนี้

2.1 วิธีเตรียมสารละลายมาตรฐานแพลทตินัม-โคบอลต์

- ละลายสารโพแทสเซียมคลอโรแพลทตินัท (Potassium Chloroplatinate, K_2PtCl_6) 1.246 กรัม และผลึกโคบอลต์คลอไรด์ (Cobalt Chloride, $CoCl_2 \cdot H_2O$) 1 กรัม ในน้ำกลั่นที่มีกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) อยู่ 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 500 หน่วย

- เจือจางสารละลายมาตรฐานที่เตรียมได้จากขั้นแรก ดังตารางที่ ก.1

ตารางก.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสีที่ความเข้มข้นต่างๆ

จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐาน เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 50 มิลลิลิตร	สีในหน่วยแพลทตินัม-โคบอลต์ (Pt-Co)
0	0
2.5	25
5	50
10	100
15	150
20	200

ตารางก.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสีที่ความเข้มข้นต่างๆ (ต่อ)

จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐาน เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 50 มิลลิลิตร	สีในหน่วยแพลตตินัม-โคบอลต์ (Pt-Co)
25	250
30	300
35	350
40	400
45	450
50	500

2.2 นำสารละลายมาตรฐานแพลตตินัมโคบอลต์ ซึ่งมีความเข้มข้นของสีแตกต่างกัน จาก 0 ถึง 500 ไปอ่านค่าแอมซอบแนนซ์ (Absorbance) จากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 455 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่โดมิแนนท์สูงสุดสำหรับสีของน้ำกากส่า สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าแอมซอบแนนซ์กับค่าความเข้มข้นสีในหน่วยแพลตตินัมโคบอลต์ เพื่อใช้เทียบความเข้มข้นของน้ำตัวอย่าง ได้ดังรูปที่ ก.1-ก.2

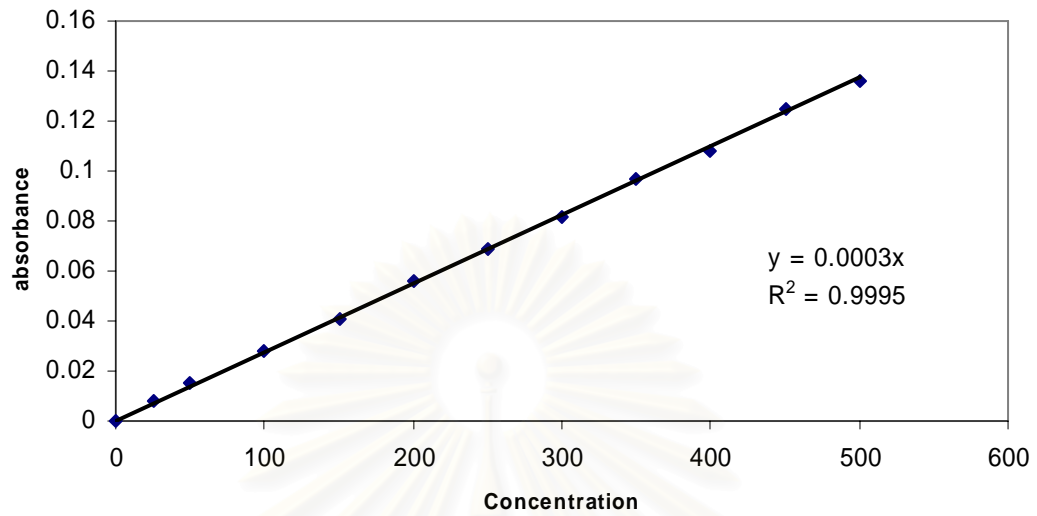
$$A = 0.0003x \text{ Conc (Factor = 3642.7)}$$

Selected Fit : Linear to Zero

Coefficient : 0.9995

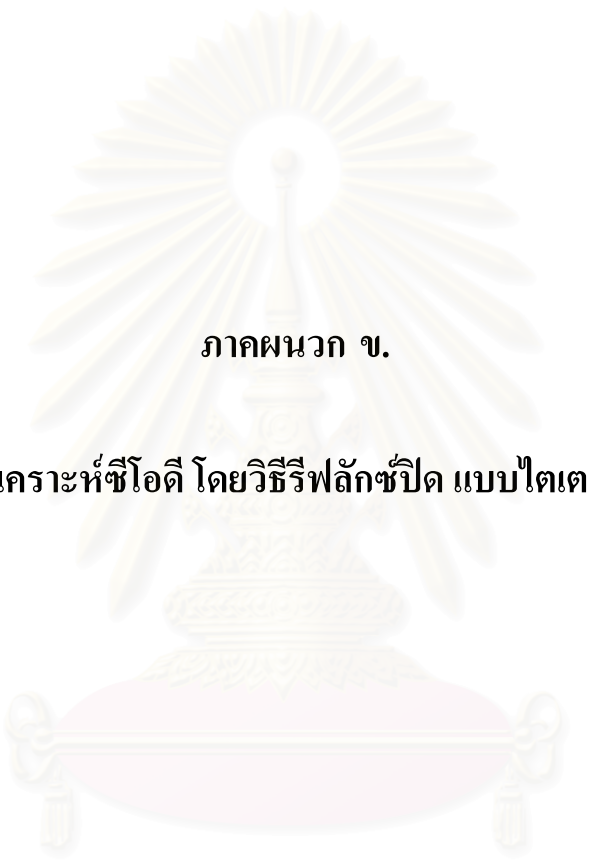
Standard	Conc.	Absorbance
Standard01	0	0
Standard02	25	0.008
Standard03	50	0.015
Standard04	100	0.028
Standard05	150	0.041
Standard06	200	0.056
Standard07	250	0.069
Standard08	300	0.082
Standard09	350	0.097
Standard10	400	0.108
Standard11	450	0.125
Standard12	500	0.136

รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสีหน่วยแพลตตินัมโคบอลต์ (Pt-Co) กับค่าแอมซอบ-
แนนซ์ (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 455 นาโนเมตร

Standard curve. fqc Calibration Graph

รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสีหน่วยเพลทตินัม โคบอลต์ (Pt-Co) กับค่าแอบซอ-
แบนซ์ (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 455 นาโนเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข.

วิธีวิเคราะห์ซีไอดี โดยวิธีรหัสปิด แบบไตรระดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีวิเคราะห์ซีไอดี โดยวิธีฟลักซ์ปิด แบบไตเตรชัน

1) เครื่องมือ

1.1 หลอดย่อย (Digestion Vessels) เป็นหลอดแก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate) ซึ่งใช้เลี้ยงเชื้อขนาด 16×100 หรือ 20×150 หรือ 25 × 150 มิลลิเมตร มีฝาพลาสติกเคลือบซึ่งทำด้วย TFE

1.2 เตาหลอด (Heater Block) เตาหลอดหรือเตาซีไอดี (COD Reactor) เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนสำหรับหลอดแก้วโดยเฉพาะ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 150 ± 2 องศาเซลเซียส

1.3 เตาอบ (Oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ประมาณ 150 ± 2 องศาเซลเซียส

1.4 บิวเรต

1.5 ขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร

2) สารเคมี

2.1 สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหนัก 4.913 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลายปล่อยให้ไวให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

2.2 กรดซัลฟูริกและซิลเวอร์ซัลเฟต

ซึ่งซิลเวอร์ซัลเฟต 8.8 กรัม ใส่ลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมด ก่อนนำไปใช้ต่อไป

2.3 สารละลายมาตรฐานเฟรตแอมโมเนียม ซัลเฟต 0.1 นอร์มัล (FAS)

ละลายเฟรตแอมโมเนียมซัลเฟต 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร แล้วเจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.4 สารละลายเฟอร์โรอินดิเคเตอร์

ละลายเฟรตซัลเฟต 695 มิลลิกรัม และ 1,10-ฟีแนนโทรีน โมโนไฮเดรต 1.485 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร

3) วิธีวิเคราะห์

3.1 การเลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำ

ถ้าเป็นน้ำสะอาด น้ำธรรมชาติหรือน้ำที่มีค่าซีไอดีต่ำ (<40 มก./ล.) ควรใช้ตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร โดยใช้หลอดแก้วขนาด 25×150 มิลลิเมตร แต่ถ้ามีค่าซีไอดีสูงกว่านั้นให้ใช้หลอดแก้วขนาด 20×150 มิลลิเมตร โดยเลือกใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำมากที่สุด 5 มิลลิลิตร หรือใช้น้อยกว่า แล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็น 5 มิลลิลิตร และถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าซีไอดีสูงมากต้องเจือจางตัวอย่างน้ำก่อนนำมา

ใช้ ควรประมาณค่าซีโอดีของตัวอย่างน้ำอย่างคร่าวๆ ก่อนเพื่อที่จะได้เลือกใช้ปริมาณตัวอย่างได้อย่างเหมาะสม การประมาณค่าซีโอดีสามารถทำได้โดยพิจารณาจากลักษณะตัวอย่างน้ำแหล่งที่มาของน้ำ และจากค่า Rapid COD การเลือกขนาดตัวอย่างน้ำที่จะใช้ วิเคราะห์ให้เหมาะสมอาจดูได้จากตารางที่ ข.1 ในทางปฏิบัติ ควรเลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำให้ผลต่างๆ ของ FAS ที่ใช้ในการไทเตรตแบลนค์และตัวอย่างน้ำอยู่ระหว่าง 1-5 มิลลิลิตร

ตารางที่ ข.1 ขนาดตัวอย่างและอัตราเจือจางที่เหมาะสม

ช่วงซีโอดี	ขนาดตัวอย่าง(มล.)	อัตราเจือจาง
<200	5	1:1
200-400	4	1:1
400-800	2	1:1
800-1,600	1	1:1
1,600-3,200	5	1:10
2,700-5,300	3	1:10
4,000-8,000	4	1:20
8,000-16,000	2	1:20
13,000-26,500	3	1:50
20,000-40,000	2	1:50
40,000-80,000	2	1:100
80,000-160,000	1	1:100

3.2 ใส่น้ำตัวอย่าง

- ใส่น้ำตัวอย่างลงในหลอดแก้วขนาดเหมาะสม เติมน้ำย่าย่อยสลายหรือโปแตสเซียมไดโครเมต ตามด้วยกรดกำมะถันอย่างช้าๆ ในปริมาณที่แสดงอยู่ในตารางที่ ข.2 (ถ้าใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำน้อยกว่าที่แสดงไว้ในตารางให้เติมน้ำกลั่นให้ครบตามจำนวน) ปิดฝาให้แน่น และเขย่าผสมกันให้ดี สำหรับแบลนค์ใช้น้ำกลั่นแล้วทำเหมือนตัวอย่างทุกอย่าง

ตารางที่ ข.2 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม

ขนาดหลอดแก้ว (มม.)	ปริมาตร ตัวอย่างน้ำ (มล.)	สารละลาย ไดโครเมต (มล.)	สารละลายกรด ซัลฟูริก (มล.)	ปริมาตรทั้งหมด (มล.)
16×100	2.5	1.5	3.5	7.5
20×150	5.0	3.0	7.0	15.0
25 × 150	10.0	6.0	14.0	30.0

- วางหลอดแก้วในบล็อคน้ำแล้วใส่ตู้อบ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 150 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็น

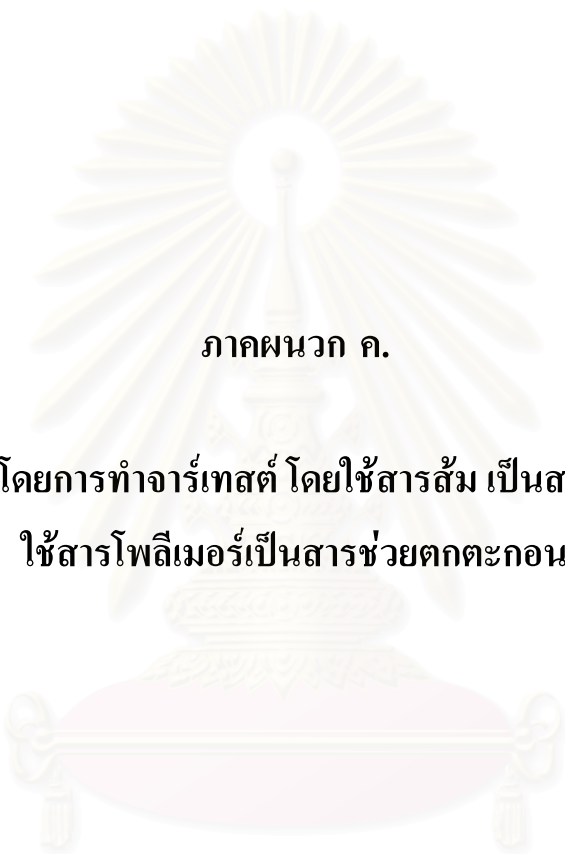
4) การทำไตเตรชัน

เทสารละลายออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด แล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย เติมเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานเอฟเอเอส สีของสารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนจากเหลือง → เขียวอมเหลือง → ฟ้า → น้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติ จดปริมาณเอฟเอเอสที่ใช้ไตเตรต

5) การคำนวณ

$$\text{ซีไอดี, มิลลิกรัม O}_2\text{/ลิตร} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{มล. ของตัวอย่างน้ำ}}$$

เมื่อ A = มล.ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบลงค์
 B = มล.ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่างน้ำ
 N = ความเข้มข้นของ FAS, นอร์มัล



ภาคผนวก ค.

ผลการตกตะกอนโดยการทำอาร์เทสต์ โดยใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนและ
ใช้สารโพลิเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการตกตะกอนโดยการทำการทดสอบ โดยใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลิเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน

ตารางที่ ค.1 ผลการหาปริมาณสารส้มเบื้องต้นเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากส่า (จากการทดลอง 3.2.2.1)

ค่า pH เริ่มต้น			เฉลี่ย	ปริมาณสารส้ม (กรัม)	ค่า COD น้ำกากส่า (mg/l)			เฉลี่ย	ค่า COD หลังการ ตกตะกอน (mg/l)			เฉลี่ย	ประสิทธิภาพ ในการลด COD (%)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
4.62	4.64	4.63	4.63	3	164,332	165,521	167,124	165,659	151,360	155,293	154,987	153,880	7.11
4.62	4.64	4.63	4.63	6	164,332	165,521	167,124	165,659	143,562	143,164	145,865	144,197	12.95
4.62	4.64	4.63	4.63	9	164,332	165,521	167,124	165,659	138,857	138,450	140,653	139,320	15.90
4.62	4.64	4.63	4.63	12	164,332	165,521	167,124	165,659	136,992	140,250	139,458	138,900	16.15
4.62	4.64	4.63	4.63	15	164,332	165,521	167,124	165,659	136,322	137,958	138,760	137,680	16.88
4.62	4.64	4.63	4.63	18	164,332	165,521	167,124	165,659	135,894	138,932	139,120	137,982	16.70

หมายเหตุ วิธีการคำนวณค่าซีโอคืออยู่ในภาคผนวก ข

ตารางที่ ค. 2 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำกากส่า (จากการทดลอง 3.2.2.2)

ค่า pH น้ำกากส่า ก่อนเติมสารส้ม	ปริมาณ สารส้ม (กรัม)	ค่า pH หลังการตกตะกอน			เฉลี่ย	ค่า COD น้ำกากส่า (mg/l)			เฉลี่ย	ค่า COD หลังการตกตะกอน (mg/l)			เฉลี่ย	ประสิทธิ ภาพในการ ลด COD (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
4	15	3.12	3.17	3.19	3.16	166,360	164,352	166,265	165,659	124,768	122,360	123,498	123,542	14.82
Control (4.61)	15	3.30	3.48	3.48	3.42	166,360	164,352	166,265	165,659	123,598	120,982	118,822	121,134	16.48
6	15	3.65	3.80	3.77	3.74	166,360	164,352	166,265	165,659	122,392	121,365	117,833	120,530	16.90
8	15	3.82	4.00	4.06	3.96	166,360	164,352	166,265	165,659	120,486	120,657	118,257	119,800	17.40
9	15	4.10	4.20	4.18	4.16	166,360	164,352	166,265	165,659	120,125	120,323	117,752	119,400	17.68
10	15	4.35	4.45	4.43	4.41	166,360	164,352	166,265	165,659	117,653	115,698	115,909	116,420	19.73
11	15	5.05	5.25	5.24	5.18	166,360	164,352	166,265	165,659	121,134	118,364	119,182	119,560	17.57
12	15	6.80	7.05	7.12	6.99	166,360	164,352	166,265	165,659	125,987	123,562	124,386	124,645	14.06

หมายเหตุ วิธีการคำนวณค่าซีโอคืออยู่ในภาคผนวก ข

ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำกากส่า (จากการทดลอง 3.2.2.3)

ตารางที่ ค. 3 ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

ค่า pH น้ำกากส่า ก่อนเติมสารส้ม	ปริมาณ สารส้ม (กรัม)	ค่า pH หลังการตกตะกอน			เฉลี่ย	ค่า COD น้ำกากส่า (mg/l)			เฉลี่ย	ค่า COD หลังการตกตะกอน (mg/l)			เฉลี่ย	ประสิทธิภาพในการ ลด COD (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
10	3	7.60	7.71	7.67	7.66	143,562	146,018	145,540	145,040	131,240	135,363	135,154	133,919	7.67
10	6	6.05	6.20	6.32	6.19	143,562	146,018	145,540	145,040	127,865	131,614	129,156	129,545	10.68
10	9	5.28	5.35	5.36	5.33	143,562	146,018	145,540	145,040	123,024	125,693	125,614	124,777	13.97
10	12	4.76	4.86	4.87	4.83	143,562	146,018	145,540	145,040	120,013	123,685	119,542	121,080	16.52
10	15	4.40	4.52	4.52	4.48	143,562	146,018	145,540	145,040	114,856	119,637	114,611	116,368	19.77
10	16	4.35	4.41	4.41	4.39	143,562	146,018	145,540	145,040	111,653	115,632	111,715	113,000	22.09
10	17	4.30	4.35	4.31	4.32	143,562	146,018	145,540	145,040	115,982	119,478	115,540	117,000	19.33
10	18	4.22	4.28	4.28	4.26	143,562	146,018	145,540	145,040	109,243	112,324	110,353	110,640	23.72
10	19	4.15	4.20	4.16	4.17	143,562	146,018	145,540	145,040	109,768	112,563	110,129	110,820	23.59
10	20	4.10	4.16	4.13	4.13	143,562	146,018	145,540	145,040	108,364	111,987	107,369	109,240	24.68
10	21	4.07	4.12	4.11	4.10	143,562	146,018	145,540	145,040	104,987	108,652	104,361	106,000	26.92
10	22	4.08	4.12	4.04	4.08	143,562	146,018	145,540	145,040	113,896	119,346	114,758	116,000	20.02
10	23	4.05	4.10	4.03	4.06	143,562	146,018	145,540	145,040	123,963	128,651	127,546	126,720	12.63

ตารางที่ ค.4 ผลการหาชนิดของโพลีเมอร์ที่เหมาะสม (จากการทดลอง 3.2.2.4)

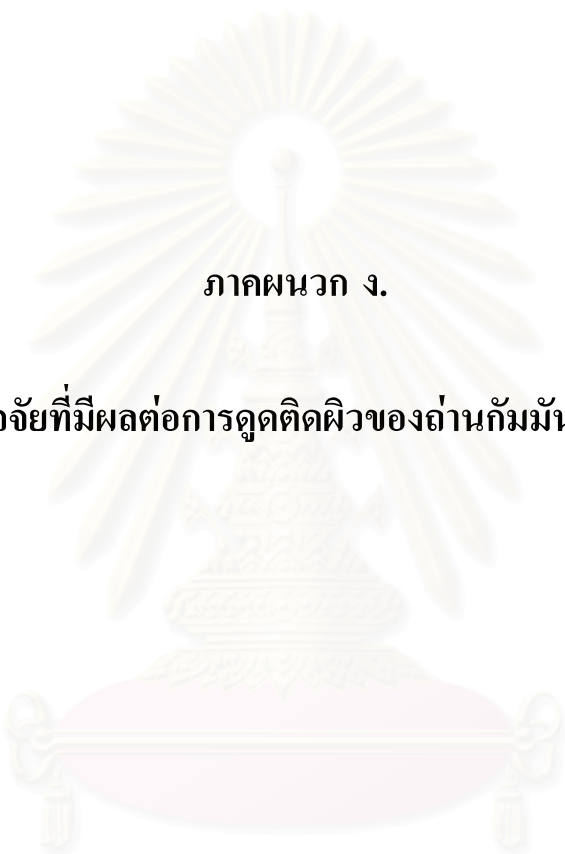
ค่า pH น้ำกากส่า ก่อนเติมสารส้ม	ปริมาณ สารส้ม (กรัม)	ชนิดของ โพลี เมอร์ (ชนิด ผง)	ค่า pH หลังการ ตกตะกอน		เฉลี่ย	ค่า COD น้ำกากส่า (mg/l)		เฉลี่ย	ค่า COD หลังการตกตะกอน (mg/l)		เฉลี่ย	ประสิทธิภาพ ในการลด COD (%)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
10	21	ไม่เติม	4.21	4.19	4.20	152,624	154,096	153,360	111,500	114,700	113,100	26.25
10	21	WF-5000 (±)	4.25	4.23	4.24	152,624	154,096	153,360	110,998	114,282	112,640	26.55
10	21	WF-5311 (-)	4.22	4.21	4.20	152,624	154,096	153,360	110,100	112,900	111,500	27.30
10	21	WF-5811 (+)	4.23	4.21	4.22	152,624	154,096	153,360	114,233	117,047	115,640	24.59

หมายเหตุ วิธีการคำนวณค่าซีไอคืออยู่ในภาคผนวก ข

ตารางที่ ค. 5 ปริมาณสาร โพลีเมอร์ที่เหมาะสม (จากการทดลอง 3.2.2.4)

ค่า pH น้ำกากส่า ก่อนเติมสารส้ม	ปริมาณ สารส้ม (กรัม)	ปริมาณโพลีเมอร์ WF-5311(-) (กรัม)	ค่า pH หลังการ ตกตะกอน		เฉลี่ย	ค่า COD น้ำกากส่า (mg/l)		เฉลี่ย	ค่า COD หลังการตกตะกอน (mg/l)		เฉลี่ย	ประสิทธิภาพ ในการลด COD (%)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
10	21	ไม่เติม	4.20	4.21	4.19	144,988	147,012	146,000	104,871	109,835	107,353	26.47
10	21	0.2	4.20	4.21	4.19	144,988	147,012	146,000	105,584	108,112	106,848	26.81
10	21	0.3	4.21	4.19	4.20	144,988	147,012	146,000	98,636	101,564	100,100	31.44
10	21	0.4	4.19	4.17	4.18	144,988	147,012	146,000	104,826	107,012	105,919	27.45
10	21	0.5	4.21	4.21	4.21	144,988	147,012	146,000	104,806	108,232	106,519	27.04
10	21	0.6	4.21	4.19	4.20	144,988	147,012	146,000	107,719	109,351	108,535	25.66
10	21	0.8	4.20	4.18	4.19	144,988	147,012	146,000	111,473	114,033	112,753	22.77
10	21	1.0	4.19	4.21	4.20	144,988	147,012	146,000	111,656	114,878	113,267	22.42

หมายเหตุ วิธีการคำนวณค่าซีไอคืออยู่ในภาคผนวก ข



ภาคผนวก ง.

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300

ผลการศึกษาอิทธิพลของ พีเอช ต่อการดูดติดผิว

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำจากสาที่พีเอชต่าง ๆ (จากผลการทดลอง 3.2.3.2)

ปริมาณถ่านกัม มันต์ F 300 (g)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย		เฉลี่ย	ความเข้มข้นเริ่มต้น (Pt-Co)		เฉลี่ย	ความเข้มข้นที่เหลือ (Pt-Co)		เฉลี่ย	การกำจัดสี (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
0.5	ปกติ (4.5)	6.50	6.52	6.51	122,390	128,956	125,673	38,458	41,682	40,070	68.12
0.5	2	2.05	2.17	2.11	122,390	128,956	125,673	89,880	92,256	91,068	27.54
0.5	3	4.08	4.20	4.14	122,390	128,956	125,673	87,564	90,928	89,246	28.99
0.5	4	5.30	6.10	5.70	122,390	128,956	125,673	46,532	51,820	49,176	60.87
0.5	5	7.01	7.11	7.06	122,390	128,956	125,673	40,441	43,341	41,891	66.67
0.5	6	7.24	7.30	7.27	122,390	128,956	125,673	51,270	54,368	52,819	57.97
0.5	7	7.44	7.50	7.47	122,390	128,956	125,673	57,980	62,228	60,104	52.17
0.5	8	7.92	8.02	7.97	122,390	128,956	125,673	113,243	119,889	116,566	7.25
0.5	9	8.30	8.56	8.43	122,390	128,956	125,673	115,870	120,906	118,388	5.80

หมายเหตุ วิธีการวัดค่าความเข้มข้นสีอยู่ในภาคผนวก ก

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี ของน้ำกากส่าที่พีเอชต่างๆ (จากผลการทดลอง 3.2.3.2)

ปริมาณถ่านกัมมันต์ F 300 (g)	pH เริ่มต้น	pH สุดท้าย		เฉลี่ย	ค่าซีโอดีเริ่มต้น (mg/l)		เฉลี่ย	ค่า ซีโอดีที่เหลือ (mg/l)		เฉลี่ย	การกำจัดซีโอดี (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
0.5	ปกติ (4.5)	6.50	6.52	6.51	102,563	110,685	106,624	68,250	72,646	70,448	33.93
0.5	2	2.05	2.17	2.11	102,563	110,685	106,624	73,981	74,531	74,256	30.36
0.5	3	4.08	4.20	4.14	102,563	110,685	106,624	69,240	71,656	70,448	33.93
0.5	4	5.30	6.10	5.70	102,563	110,685	106,624	70,584	74,120	72,352	32.14
0.5	5	7.01	7.11	7.06	102,563	110,685	106,624	62,356	67,116	64,736	39.28
0.5	6	7.24	7.30	7.27	102,563	110,685	106,624	66,982	70,106	68,544	35.71
0.5	7	7.44	7.50	7.47	102,563	110,685	106,624	70,563	74,141	72,352	32.14
0.5	8	7.92	8.02	7.97	102,563	110,685	106,624	77,341	82,595	79,968	25.00
0.5	9	8.30	8.56	8.43	102,563	110,685	106,624	87,952	91,024	89,488	16.07

หมายเหตุ วิธีการคำนวณค่าซีโอดีอยู่ในภาคผนวก ข

ตารางที่ ง.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำจากส่วที่เวลาต้มต้มน้ำต่างๆ (จากผลการทดลอง 3.2.3.3)

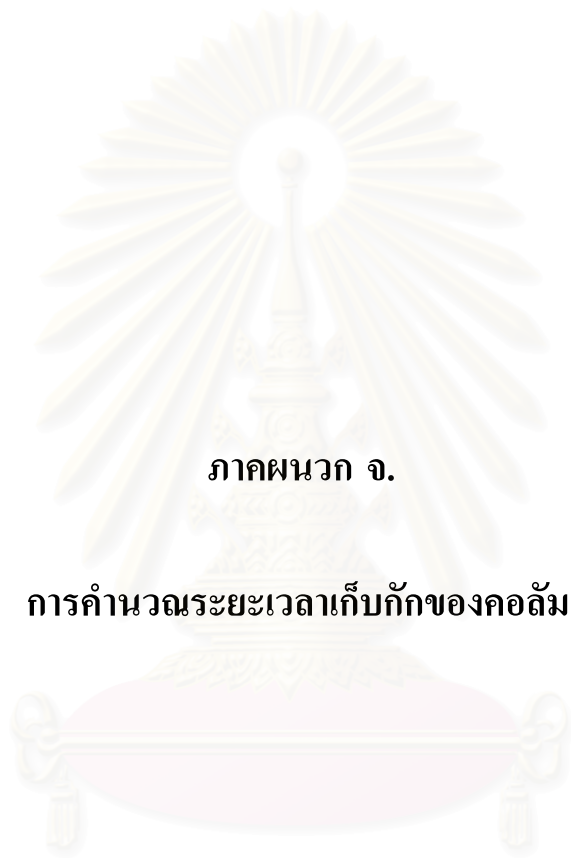
ปริมาณ ถ่านกัมมันต์ F 300 (g)	เวลา (นาที)	pH เริ่มต้น		เฉลี่ย	pH สุดท้าย		เฉลี่ย	ความเข้มข้นเริ่มต้น (Pt-Co)		เฉลี่ย	ความเข้มข้นที่เหลือ (Pt-Co)		เฉลี่ย	การกำจัด สี (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
		0.5	0		4.70	4.60		4.65	4.85		4.79	4.82		
0.5	5	4.70	4.60	4.65	5.03	4.91	4.97	143,654	147,762	145,708	138,154	142,334	140,244	3.75
0.5	10	4.70	4.60	4.65	5.30	5.18	5.24	143,654	147,762	145,708	120,563	138,069	129,316	11.25
0.5	15	4.70	4.60	4.65	5.72	5.58	5.65	143,654	147,762	145,708	86,257	88,593	87,425	40.00
0.5	30	4.70	4.60	4.65	6.32	5.90	6.11	143,654	147,762	145,708	52,673	56,609	54,641	62.50
0.5	60	4.70	4.60	4.65	6.60	6.52	6.56	143,654	147,762	145,708	43,982	47,086	45,534	68.75
0.5	120	4.70	4.60	4.65	6.95	6.63	6.79	143,654	147,762	145,708	39,645	44,137	41,891	71.25
0.5	180	4.70	4.60	4.65	7.10	6.90	7.00	143,654	147,762	145,708	40,125	47,299	43,712	70.00
0.5	240	4.70	4.60	4.65	7.15	6.89	7.02	143,654	147,762	145,708	40,125	47,299	43,712	70.00

หมายเหตุ วิธีการวัดค่าความเข้มข้นสีอยู่ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี ของน้ำกากส่าที่เวลาสัมผัสต่างๆ (จากผลการทดลอง 3.2.3.3)

ปริมาณ ถ่านกัมมันต์ F 300 (g)	เวลา (นาที)	pH เริ่มต้น		เฉลี่ย	pH สุดท้าย		เฉลี่ย	ค่า ซีโอดี เริ่มต้น (mg/l)		เฉลี่ย	ค่า ซีโอดีที่เหลือ (mg/l)		เฉลี่ย	การกำจัด ซีโอดี (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
0.5	0	4.70	4.60	4.65	4.85	4.79	4.82	98,257	103,087	100,672	94,890	98,710	96,800	3.85
0.5	5	4.70	4.60	4.65	5.03	4.91	4.97	98,257	103,087	100,672	93,560	96,168	94,864	5.77
0.5	10	4.70	4.60	4.65	5.30	5.18	5.24	98,257	103,087	100,672	83,982	86,386	85,184	15.38
0.5	15	4.70	4.60	4.65	5.72	5.58	5.65	98,257	103,087	100,672	77,689	81,063	79,376	21.15
0.5	30	4.70	4.60	4.65	6.32	5.90	6.11	98,257	103,087	100,672	74,126	76,366	75,246	25.26
0.5	60	4.70	4.60	4.65	6.60	6.52	6.56	98,257	103,087	100,672	64,128	67,520	65,824	34.62
0.5	120	4.70	4.60	4.65	6.95	6.63	6.79	98,257	103,087	100,672	62,123	65,653	63,888	36.54
0.5	180	4.70	4.60	4.65	7.10	6.90	7.00	98,257	103,087	100,672	62,123	65,653	63,888	36.54
0.5	240	4.70	4.60	4.65	7.15	6.89	7.02	98,257	103,087	100,672	60,367	63,537	61,952	38.46

หมายเหตุ วิธีการคำนวณค่าซีโอดีอยู่ในภาคผนวก ข



ภาคผนวก จ.

การคำนวณระยะเวลาเก็บกักของคอตมันน์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณระยะเวลาเก็บกักของคอลัมน์

จากผลการทดลอง พบว่า ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับพิวสียว่น้ำอากาศสำโดย ถ่านกัมมันต์ Filtrasorb 300 คือที่เวลา 60 นาที หรือ 1 ชั่วโมง ดังนั้นจึงนำค่าที่ได้มาใช้ในการ คำนวณหาระยะเวลาในการเก็บกักของคอลัมน์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 เซนติเมตร วิธีการ คำนวณเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ (A)} &= \pi D^2/4 \\ &= \pi(0.023)^2/4 \\ &= 4.15 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาตรคอลัมน์(V)} = (4.15 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \times 1.2 \text{ m} = 4.95 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหล(Q)} &= \text{อัตราการกรอง(v)} \times \text{พื้นที่หน้าตัดคอลัมน์(A)} \\ Q &= v \times A \\ &= v \times (4.15 \times 10^{-4} \text{ m}^2) = 4.15 \times 10^{-4} v \end{aligned}$$

ต้องการให้มีเวลาเก็บกัก 1 ชั่วโมง

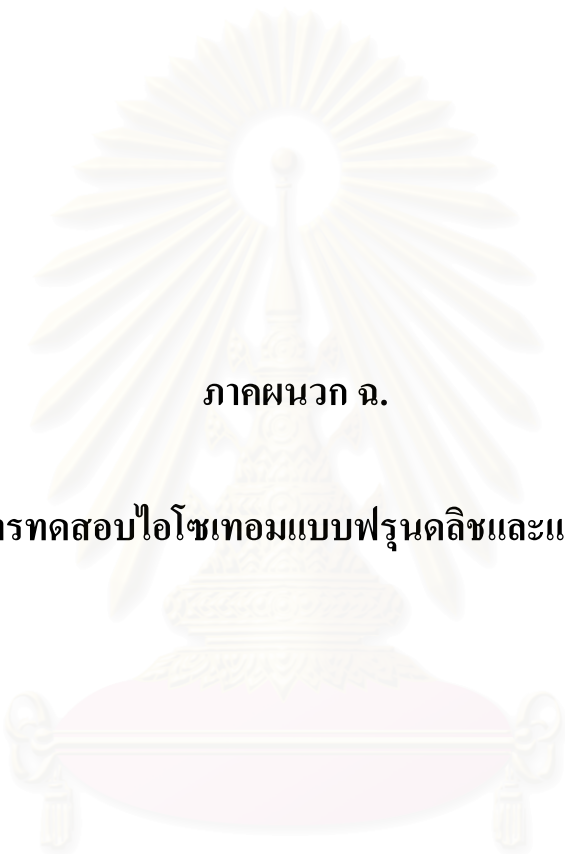
$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น เวลาเก็บกัก(t)} &= \text{ปริมาตรคอลัมน์ (V)} / \text{อัตราการไหล (Q)} \\ 1 \text{ hr} &= \frac{4.95 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{(4.15 \times 10^{-4} v)} \end{aligned}$$

$$(4.15 v) = 4.95/1 \text{ m}^3$$

$$v = \frac{4.95}{4.15} = 1.20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-hr} \text{ (หรือ m/hr)}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } Q &= v \times A \\ &= 1.20 \text{ m/hr} \times (4.15 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \\ &= 4.98 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{hr} \\ \text{หรือเท่ากับ} &= 0.0083 \text{ L/min} \end{aligned}$$

*ดังนั้นตรวจวัด flow โดยใช้กระบอกตวง 1 นาที น้ำต้องไหล 8.30 ml



ภาคผนวก ฉ.

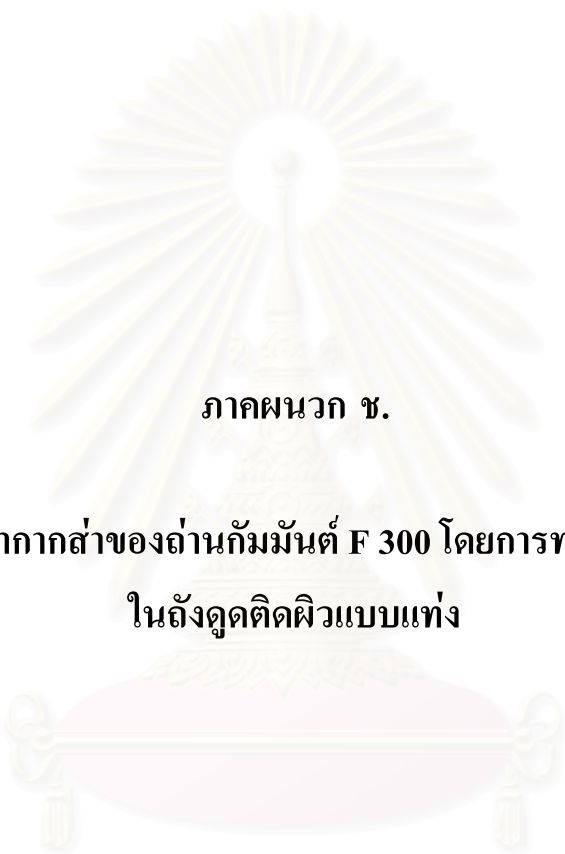
ผลการทดสอบไอโซเทอมแบบฟรอนดิชและแลงมัวร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.1 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรอนคลิชและแลงมัวร์ของถ่านกัมมันต์ filtrasorb 300 (จากการทดลอง 3.2.3.4)

น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	pH				ความเข้มข้นเริ่มต้น (Pt-Co)		ความเข้มข้น เริ่มต้นเฉลี่ย	ความเข้มข้นที่จุดสมดุล (Pt-Co)		ความเข้มข้นที่ จุดสมดุลเฉลี่ย Ce ,(Pt-Co/l)	แปลง หน่วย เป็น (Pt.Co)	ความ เข้มข้นที่ กำจัด ได้	X/M (PtCo/ g.carbon)	1/X/M	1/Ce	Log X/ M	Log Ce
	In1	Out1	In2	Out2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2								
0	4.64	4.71	4.7	4.73	87,425	76,497	81,961	87,425	76,497	81,961.00	163.92	-	-	-	-	-	-
0.01	4.64	4.83	4.7	4.71	87,425	76,497	81,961	69,211	61,926	65,568.50	131.14	32.78	3,278.00	0.0003	0.0076	3.5156	4.8167
0.02	4.64	4.86	4.7	4.86	87,425	76,497	81,961	60,105	54,641	57,373.00	114.75	49.17	2,458.50	0.0004	0.0087	3.3907	4.7587
0.04	4.64	4.97	4.7	4.91	87,425	76,497	81,961	52,819	49,176	50,997.50	102.00	61.92	1,548.00	0.0006	0.0098	3.1898	4.7075
0.1	4.64	5.50	4.7	5.33	87,425	76,497	81,961	47,355	41,891	44,623.00	89.25	74.67	746.70	0.0013	0.0112	2.8731	4.6496
0.2	4.64	6.07	4.7	5.71	87,425	76,497	81,961	34,606	27,320	30,963.00	61.93	101.99	509.95	0.0020	0.0161	2.7075	4.4908
0.4	4.64	6.77	4.7	6.81	87,425	76,497	81,961	27,320	20,035	23,677.50	47.36	116.56	291.40	0.0034	0.0211	2.4645	4.3743
1.0	4.64	7.37	4.7	7.20	87,425	76,497	81,961	18,214	12,749	15,481.50	30.96	132.96	132.96	0.0075	0.0323	2.1237	4.1898
2.0	4.64	7.62	4.7	7.71	87,425	76,497	81,961	12,749	7,285	10,017.00	20.03	143.89	71.95	0.0139	0.0499	1.8570	4.0007
4.0	4.64	8.10	4.7	8.10	87,425	76,497	81,961	7,285	3,643	5,464.00	10.93	152.99	38.25	0.0261	0.0915	1.5826	3.7375

หมายเหตุ เขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที



ภาคผนวก ช.

ผลการกำจัดสีน้ำจากสาขางานกัมมันต์ F 300 โดยการทดลองแบบต่อเนื่อง
ในถังดูดติดผิวแบบแห้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำจากสาด้วยถ่านกัมมันต์ ชนิด F300 โดยการทดลอง แบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง (Column Test) (จากการทดลอง 3.2.3.5)

ตารางที่ ข.3 ผลการกำจัดสีน้ำจากสาของถ่านกัมมันต์โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแท่ง ที่ระดับ 90 เซนติเมตร

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (ลิตร)	ปริมาตรถ่านกัมมันต์ (ลิตร)	Bed Volume (BV)	ความเข้มข้น (เข้า) (Pt-Co)	pH (ออก)	ความเข้มข้น (ออก) (Pt-Co)	การกำจัดสี (%)
1	0.498	0.420	1.19	837.82	7.63	54.64	93.48
2	0.996	0.420	2.37	837.82	7.62	65.57	92.17
3	1.494	0.420	3.56	837.82	7.68	80.14	90.43
4	1.992	0.420	4.74	837.82	7.58	94.71	88.69
5	2.490	0.420	5.93	837.82	7.59	105.64	87.39
6	2.988	0.420	7.11	837.82	7.54	120.21	85.65
8	3.984	0.420	9.49	837.82	7.30	163.92	80.43
10	4.980	0.420	11.86	837.82	7.22	218.56	73.91
12	5.976	0.420	14.23	837.82	7.20	284.13	66.09
14	6.972	0.420	16.60	837.82	7.17	324.20	61.30
16	7.968	0.420	18.97	837.82	7.15	382.48	54.35
18	8.964	0.420	21.34	837.82	7.07	440.77	47.39
20	9.960	0.420	23.71	837.82	6.86	495.41	40.87
24	11.952	0.420	28.46	837.82	7.09	542.76	35.22

ตารางที่ ข.4 ผลการกำจัดสีน้ำจากสาของถ่านกัมมันต์โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในถังดูดติดผิวแบบแบ่ง ที่ระดับ 120 เซนติเมตร

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (ลิตร)	ปริมาตรถ่านกัมมันต์ (ลิตร)	Bed Volume (BV)	ความเข้มข้น (เข้า) (Pt-Co)	pH (ออก)	ความเข้มข้น (ออก) (Pt-Co)	การกำจัดสี (%)
1	0.498	0.560	0.89	837.82	7.67	29.14	96.52
2	0.996	0.560	1.78	837.82	7.66	40.07	95.22
3	1.494	0.560	2.67	837.82	7.70	54.64	93.48
4	1.992	0.560	3.56	837.82	7.72	69.21	91.74
5	2.490	0.560	4.45	837.82	7.58	87.42	89.57
6	2.988	0.560	5.34	837.82	7.47	98.35	88.26
8	3.984	0.560	7.11	837.82	7.37	127.49	84.78
10	4.980	0.560	8.89	837.82	7.35	174.85	79.13
12	5.976	0.560	10.67	837.82	7.26	218.56	73.91
14	6.972	0.560	12.45	837.82	7.25	258.63	69.13
16	7.968	0.560	14.23	837.82	7.21	309.63	63.04
18	8.964	0.560	16.01	837.82	6.88	356.98	57.39
20	9.960	0.560	17.79	837.82	6.94	400.70	52.17
24	11.952	0.560	21.34	837.82	6.82	448.05	46.52
28	13.944	0.560	24.90	837.82	7.12	491.76	41.30

32	15.936	0.560	28.46	837.82	7.04	531.83	36.52
36	17.928	0.560	32.01	837.82	6.79	564.62	32.61
40	19.920	0.560	35.57	837.82	6.82	597.40	28.70
44	21.912	0.560	39.13	837.82	6.55	626.54	25.22
48	23.904	0.560	42.69	837.82	5.95	655.69	21.74
52	25.896	0.560	46.24	837.82	5.25	688.47	17.83
56	27.888	0.560	49.80	837.82	5.07	717.61	14.35
60	29.880	0.560	53.36	837.82	4.80	739.47	11.74
64	31.872	0.560	56.91	837.82	4.78	764.97	8.70
68	33.864	0.560	60.47	837.82	4.74	790.47	5.65
72	35.856	0.560	64.03	837.82	4.74	805.04	3.91
76	37.848	0.560	67.59	837.82	4.64	834.18	0.43
80	39.840	0.560	71.14	837.82	4.63	834.18	0.43
84	41.832	0.560	74.70	837.82	4.64	837.82	0.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเพิ่มศักดิ์ กาญจนบุตร เกิดเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2518 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาคณะครุศาสตรบัณฑิต สาขามัธยมศึกษา วิชาเอกวิทยาศาสตร์ทั่วไป-เคมี จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2540 เข้าทำงานเป็นอาจารย์สอนวิชาเคมี ในโรงเรียนอัสสัมชัญ กรุงเทพมหานคร ในปี 2541-2547 เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2548



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย