

การกำจัดซีไอดี และ สีของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบกากของเสียอันตราย
โดยวิธีการทางเคมีและกายภาพ

นายปวพ ศรีชมภู

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

COD REMOVAL AND DECOLORIZATION OF LEACHATE FROM SECURE LANDFILL
BY CHEMICAL AND PHYSICAL TREATMENT

Mr. Pawan Srichomphu

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกำจัดซีโอดี และ สีของน้ำชะขยะ จากหลุมฝังกลบ

กากของเสียอันตรายโดยวิธีการทางเคมีและกายภาพ

โดย

นายปวพ ศรีชมภู

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. เขาวน นกอยู่)

ปวพา ศรีชมภู: การกำจัดซีไอดี และ สีของน้ำชะขยะ จากหลุมฝังกลบกากของเสียอันตราย โดยวิธีการทางเคมีและกายภาพ . (COD REMOVAL AND DECOLORIZATION OF LEACHATE FROM SECURE LANDFILL BY CHEMICAL AND PHYSICAL TREATMENT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. ฐเรศ ศรีสถิตย์, 143 หน้า

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการลดซีไอดีและสีของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตราย โดยใช้สารส้มร่วมกับสารโพลีเมอร์เป็นตัวช่วยในการตกตะกอน และใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเพื่อลดปริมาณซีไอดีและสีของน้ำชะขยะโดยวิธีการเคมีและทางกายภาพตามลำดับ ประสิทธิภาพการตกตะกอนสามารถกำจัดซีไอดีและสีของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตรายเท่ากับร้อยละ 52.61 และ 49.10 ตามลำดับ และปริมาณสารส้มที่ใช้เท่ากับ 50 กรัมต่อลิตรที่พีเอชเท่ากับ 6 ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีไอดีและสีของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตรายจะสูง แต่หากเปรียบเทียบกับปริมาณสารส้มที่ใช้และตะกอนที่เกิดขึ้นแล้วนั้น ถือว่าเป็นปริมาณที่สูง โดยการลงทุนทั่วไปไม่สามารถทำการดำเนินการได้เนื่องจากต้องเตรียมสารในปริมาณสูง และลักษณะน้ำเสียยังมีลักษณะตะกอนที่ไม่ละลายน้ำจำนวนมากจึงไม่เหมาะแก่การบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยสารส้ม

การดูดซับสีของน้ำชะขยะที่ผ่านการตกตะกอนโดยสารส้มร่วมกับโพลีเมอร์พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและสีของน้ำชะขยะทั้งหมดมีค่าเท่ากับร้อยละ 89.64 และ 97.45 ตามลำดับ โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 82 กรัมต่อลิตรที่พีเอชเท่ากับ 5

การฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการผ่านสารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH) ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เมื่อดำหนดแนวโน้มของจำนวนครั้งที่สามารถทำการฟื้นฟูสภาพได้พบว่าสามารถนำกลับมาฟื้นฟูสภาพได้ถึง 6 ครั้ง ที่ประสิทธิภาพร้อยละ 60

ค่าใช้จ่ายในการกำจัดซีไอดี และ สีของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบกากของเสียอันตรายโดยวิธีการทางเคมีและกายภาพ มีค่าใช้จ่ายต่อปริมาณน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรเท่ากับ 2,755 บาท

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2554.....

5170375321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: SECURE LANDFILL /LEACHATE /COAGULATION /ADSORPTION

PAWAN SRICHOMPHU: COD REMOVAL AND DECOLORIZATION OF LEACHATE FROM SECURE LANDFILL BY CHEMICAL AND PHYSICAL TREATMENT.

ADVISOR: ASSOC. PROF. THARES SRISATIT, Ph.D., 143 pp.

The objective of this research is to study efficiency of COD and Color removal of the leachate from secure landfill using precipitation of alum and polymer in chemical treatment and using adsorption by activated carbon in physical treatment

The precipitation efficiency for COD and Color removal from the leachate from secure landfill was reported at 52.61 % and 49.10 %, respectively, by the amount of alum used was 50 grams per liter at pH 6. although effective in COD removal and decolorization of the leachate from secure landfills be high, But compared to the amount of alum used and the sediment occur as a high volume. The entire investment can not be performed due to high levels of preparation. And the sediment is also a large amount of insoluble and not suitable for treatment by precipitation with alum.

The adsorption efficiency for COD and Color removal from the leachate was precipitated by alum with polymer has a value equal 89.64 % and 97.45 %, respectively, by using the activated carbon, was 82 grams. per liter, at pH 5

The Regeneration of activated carbon by acetic acid (CH_3COOH) 5% by weight. The regeneration of activated carbon can use for 6 rounds, at efficiency 60%

The cost of the COD and Color removal of the leachate from secure landfill using precipitation of alum and polymer in chemical treatment and using adsorption by activated carbon in physical treatment equivalent to 2,755 Baht per cubic meter

Department:.....Environmental Engineering Student's Signature.....

Field of Study:Environmental Engineering Advisor's Signature.....

Academic Year: ..2011.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ดังนั้นจึงขอแสดงความขอบคุณ ดังรายนามต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ฐเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้ความดูแลเอาใจใส่ลูกศิษย์ตลอดเวลา อีกทั้งยังให้ความรู้ และข้อคิดต่างๆ ทั้งในการทำงานวิจัย ช่วยชี้แนะและแก้ไขในข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ จึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. เซาว์น นกอยู่ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิสุทธิเพ็ชรมนกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปฎิภาณ ปัญญาพลกุล กรรมการ ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางแก้ไขจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบริษัท Water Doctor Co.,Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์สารช่วยตกตะกอนหรือโพลีเมอร์ชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณคุณสมบัติ ปิยะสัจจบุลย์ ตำแหน่งผู้จัดการทั่วไป ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมมาบตาพุด และเจ้าหน้าที่ประจำหลุมฝังกลบ ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมมาบตาพุด จ. ระยอง ของ บริษัท บริหารและพัฒนาการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (General Environmental Conversation Co., Ltd.,)

ขอขอบคุณภาคีวิชาชีพวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ทุนการวิจัย อุปกรณ์และสถานที่ในการทำงานวิจัยนี้ส่งผลให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของกระผม ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำงานและการปฏิบัติตัวมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ของเสียอันตราย.....	4
2.2 แหล่งกำเนิดของเสียอันตราย.....	5
2.3 รายละเอียดของหลุมฝังกลบของเสียอันตราย ที่นำน้ำชะขยะมาใช้ในการงานวิจัย.....	6
2.4 หลักเกณฑ์หลุมฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secure Landfilling).....	8
2.5 ระบบควบคุมน้ำชะขยะกาก (Leachate Control System).....	18
2.6 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกคูเลชัน (Flocculation).....	19
2.7 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม.....	25
2.8 การใช้สารช่วยสร้างตะกอน(Coagulation aid).....	29
2.9 ถ่านกัมมันต์	30
2.10 การดูดติดผิว.....	36
2.11 การฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ (Regeneration).....	45

2.12 การวัดสีน้ำชะขยะ.....	46
2.13 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	48
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....	51
3.1 แผนการทดลอง.....	51
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	53
3.2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะ.....	53
3.2.2 การศึกษาการตกตะกอนโดยการทำการทดสอบโดยใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยสร้างตะกอน	54
3.2.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์.....	56
3.2.4. การศึกษาประสิทธิภาพและความสามารถในการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ ที่ผ่านการกำจัดค่าซีไอดีและสีของน้ำชะขยะ	58
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	59
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	61
4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะ.....	61
4.2 ผลการตกตะกอนโดยใช้การทำการทดสอบ โดยใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน	62
4.2.1 ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน.....	62
4.2.2 ผลการหาพีเอชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน.....	63
4.2.3 ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน	64
4.2.4 ผลการหาปริมาณสารช่วยตกตะกอน (Polymer) ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน	66
4.2.5 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น และ ค่าซีไอดีของน้ำชะขยะที่เหลือ จากการตกตะกอนด้วยสารส้มและใช้สารโพลีเมอร์เป็นตัวช่วย ในการตกตะกอน	67
4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์.....	69
4.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของ พีเอช ต่อการดูดติดผิว	69
4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิว.....	72

หน้า	
4.3.3 ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์.....	74
4.3.5 การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่พีเอชต่างๆ.....	77
4.3.4 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นและค่าซีไอดีของน้ำชะขยะที่เหลือ	
จากการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์	85
4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกำจัด	
สีน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตรายด้วยวิธีการผ่านสารละลาย	
กรดอะซิติก (CH_3COOH).....	86
4.5 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการตกตะกอน	
ด้วยสารส้มและใช้สารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบเป็นตัวช่วยตกตะกอน	
และกำจัดสีโดยการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์	88
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	90
5.1 สรุปผลงานวิจัย	90
5.1.1 ผลการศึกษาการตกตะกอนโดยใช้การทำจาร์เทสต์โดยใช้สารส้ม	
เป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน.....	90
5.1.2 ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์.....	91
5.1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกำจัด	
สีน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตรายด้วยวิธีการผ่านสารละลาย	
กรดอะซิติก(CH_3COOH).....	91
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป	92
เอกสารอ้างอิง.....	93
ภาคผนวก.....	97
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	143

สารบัญตาราง

หน้า	
ตารางที่ 2.1	ปริมาณของเสียอุตสาหกรรมที่รับมากำจัด แยกตามประเภทอุตสาหกรรม 8
ตารางที่ 2.2	เกณฑ์กำหนดคุณลักษณะของแผ่นวัสดุที่บ่มน้ำสังเคราะห์โพลีเอธิลีน 12
ตารางที่ 2.3	เกณฑ์เฉลี่ยของสารอันตรายที่วัดได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบ่อ สังเกตการณ์ด้านใต้น้ำ (Downgradient) ของหลุมฝังกลบ..... 16
ตารางที่ 2.4	เวลาที่ใช้ในการกำจัดสารบางชนิดโดยถ่านกัมมันต์ขนาดต่างๆ..... 39
ตารางที่ 3.1	วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะ..... 53
ตารางที่ 4.1	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะ..... 61
ตารางที่ 4.2	ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน..... 63
ตารางที่ 4.3	ผลการหาพีเอชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน..... 64
ตารางที่ 4.4	ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน..... 65
ตารางที่ 4.5	ผลการหาชนิดของสารช่วยตกตะกอน (Polymer) ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการ ตกตะกอน..... 66
ตารางที่ 4.6	ผลการวิเคราะห์ค่าความขุ่นสีและค่าซีไอดี ก่อนและหลังการตกตะกอน ด้วยสารส้มและมีสารโพลีเมอร์เป็นตัวช่วยตกตะกอน..... 68
ตารางที่ 4.7	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำชะขยะที่พีเอชต่างๆ..... 70
ตารางที่ 4.8	ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของน้ำชะขยะที่พีเอชต่างๆ..... 70
ตารางที่ 4.9	ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำชะขยะที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ..... 72
ตารางที่ 4.10	ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของน้ำชะขยะที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ..... 73
ตารางที่ 4.11	ผลการทดสอบค่าการกำจัดสีเพื่อนำไปคำนวณในรูปแบบไอโซเทอม 75
ตารางที่ 4.12	ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์..... 76
ตารางที่ 4.13	ผลการทดสอบค่าการกำจัดสีเพื่อนำไปคำนวณในรูปแบบไอโซเทอม ที่พีเอช 4..... 77
ตารางที่ 4.14	ผลการทดสอบค่าการกำจัดสีเพื่อนำไปคำนวณในรูปแบบไอโซเทอม ที่พีเอช 5..... 78
ตารางที่ 4.15	ผลการทดสอบค่าการกำจัดสีเพื่อนำไปคำนวณในรูปแบบไอโซเทอม ที่พีเอช 6..... 78

หน้า

ตารางที่ 4.16	ผลการทดสอบค่าการกำจัดสีเพื่อนำไปคำนวณในรูปแบบไอโซเทอม ที่พีเอช 7.....	79
ตารางที่ 4.17	ผลการทดสอบค่าการกำจัดสีเพื่อนำไปคำนวณในรูปแบบไอโซเทอม ที่พีเอช 8.....	79
ตารางที่ 4.18	การผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่พีเอชต่าง ๆ.....	82
ตารางที่ 4.19	ผลการคำนวณปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในสภาวะพีเอชต่างๆ.....	84
ตารางที่ 4.20	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นและค่าซีไอดีของน้ำชะขยะที่เหลือ จากการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์.....	85
ตารางที่ 4.21	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำชะขยะหลังการฟื้นฟูสภาพและประสิทธิภาพ ในการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์.....	86

สารบัญภาพ

หน้า		
ภาพที่ 2.1	รูปตัดหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรม.....	12
ภาพที่ 2.2	การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ.....	19
ภาพที่ 2.3	ผลของการเติมอ็อกโซนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติมอ็อกโซน (ข) หลังจากการเติมอ็อกโซนแล้ว.....	21
ภาพที่ 2.4	การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนต์ ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพ ของคอลลอยด์ด้วยกลไกแบบต่างๆ.....	21
ภาพที่ 2.5	เกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสัมผัระหว่างอนุภาคต่างๆทั้ง 5 ประเภท...	23
ภาพที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มและค่าพีเอช.....	26
ภาพที่ 2.7	กลไกในการสร้างโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม.....	27
ภาพที่ 2.8	ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม.....	28
ภาพที่ 2.9	รูปร่างโพลีเมอร์ประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลในปริมาณเล็กน้อย.....	29
ภาพที่ 2.10	ลักษณะการแบ่งชั้นของโครงสร้างถ่านกัมมันต์.....	32
ภาพที่ 2.11	หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์.....	33
ภาพที่ 2.12	ภาพตัดขวางถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด.....	34
ภาพที่ 2.13	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์.....	38
ภาพที่ 2.14	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์.....	41
ภาพที่ 2.15	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบ BET.....	42
ภาพที่ 2.16	ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช.....	43
ภาพที่ 2.17	ผลของน้ำหนักโมเลกุลในการดูดติดผิว.....	44
ภาพที่ 3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	52
ภาพที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละการกำจัดและร้อยละ การกำจัดซีโอดี.....	71
ภาพที่ 4.2	ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำชะขยะและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอ ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	73
ภาพที่ 4.3	การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ของถ่านกัมมันต์.....	75
ภาพที่ 4.4	การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 4.....	80
ภาพที่ 4.5	การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 5.....	80

หน้า

ภาพที่ 4.6	การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 6.....	81
ภาพที่ 4.7	การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 7.....	81
ภาพที่ 4.8	การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช ของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 8.....	82
ภาพที่ 4.9	แนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำชะขยะหลังการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์.	87

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมที่ผ่านมาของประเทศไทย สืบเนื่องจากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 4 หรือประมาณปี พ.ศ. 2525 เป็นต้นมา ทำให้มีโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก และกากของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมกลายเป็นประเด็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการดำรงชีวิตของประชาชนซึ่งรัฐบาลได้ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว จึงจัดตั้งศูนย์บริหารจัดการกากอุตสาหกรรม โดยมีเอกชนเป็นผู้ดำเนินการหลักและรัฐเป็นผู้ถือหุ้นบางส่วน

เปิดดำเนินการโครงการระยะที่ 1 ในปี พ.ศ.2540 ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด โดย บริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด หรือ (General Environmental Conversation Co., Ltd.) และได้แบ่งระบบการกำจัดออกเป็น 3 ระบบ คือ ระบบการฝังกลบโดยตรง (Direct Landfill) ระบบการปรับเสถียรและฝังกลบ (Stabilization and Landfill) ระบบการผสมกากเชื้อเพลิง (Fuels Blending)

ผลที่ตามมาจากการฝังกลบขยะคือ ปัญหาด้านการจัดการน้ำชะขยะ แม้ว่าในการออกแบบหลุมฝังกลบขยะ จะมีการออกแบบให้มีระบบบำบัดน้ำชะขยะก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมีและชีวภาพของโครงการ พบว่า น้ำเสียซึ่งเป็นน้ำชะกากจะมีค่า ซีโอดีค่อนข้างสูง คือ อยู่ในช่วง 5,000 – 35,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าซีโอดีที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าค่อนข้างสูงจึงทำให้มีผลต่อเนื่องถึงประสิทธิภาพของระบบ ทำให้การดำเนินงานที่ผ่านมาของโครงการปัจจุบันมีน้ำเสียบางส่วนซึ่งผ่านการบำบัดแล้วเกินกว่าเกณฑ์ที่จะส่งไปบำบัดที่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (กนอ.) ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ตามมาตรฐานดังแสดงในภาคผนวก ก ทั้งหมดนี้ได้รายงานไว้ในรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โครงการพื้นที่ฝังกลบกากของเสียอุตสาหกรรม(ส่วนขยาย)นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง (รายงานฉบับสมบูรณ์) จัดทำโดย บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด (2545)

อย่างไรก็ตามทางบริษัทได้กำหนดให้มีแผนรองรับกรณีเกิดเหตุการณ์ที่มีปริมาณน้ำเสียมากเกินกว่าค่าความสามารถในการบำบัดของโครงการในปัจจุบัน รวมทั้งประสิทธิภาพการบำบัด

น้ำเสียของระบบบำบัดลดลงจนไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีลักษณะสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์ที่สามารถระบายน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดได้ โครงการได้ดำเนินการขนส่งน้ำเสียดังกล่าวไปกำจัดโดยเผาในเตาปูนซีเมนต์โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม โดยการเผานั้นก็จะมีวิธีการเผาแบบเผาทำลายโดยเฉพาะ หรือเผาเป็นวัตถุดิบทดแทน และการเผาเป็นเชื้อเพลิงทดแทน แต่วิธีเหล่านี้เป็นวิธีที่มีอัตราค่ากำจัดต่อหน่วยที่สูงและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ในงานวิจัยนี้จึงได้สนใจแนวทางในการบำบัดน้ำชะขยะให้สามารถลดปริมาณซีโอดี และ สีของน้ำชะขยะด้วยวิธีทางกายเคมีและกายภาพโดยการใช้สารส้ม ร่วมกับสารโพลีเมอร์ ช่วยในการตกตะกอนน้ำชะขยะ และใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับซีโอดี และลดปริมาณ ซีโอดีของน้ำชะขยะลงอีก กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน อีกทั้ง สารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการทั้งนั้นมีราคาถูก และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากนั้นจึงนำไปบำบัดต่อที่โรงบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (กนอ.) ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อหาประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของน้ำชะขยะโดยใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ช่วยในการตกตะกอน และหาสภาวะเหมาะสมอื่น ๆ ประกอบเช่น ค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมของน้ำชะขยะ

1.2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพในการลดสีของน้ำชะขยะที่ผ่านการตกตะกอนมาแล้วโดยการดูดซับผิวด้วยถ่านกัมมันต์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้นำน้ำเสียจริงมาจากหลุมฝังกลบขยะของเสียอันตราย ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมมาบตาพุด จ. ระยอง ของ บริษัท บริหารและพัฒนาการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (General Environmental Conversation Co., Ltd.) เพื่อนำมาบำบัดซีโอดีและสีโดยใช้สารส้มร่วมกับสารโพลีเมอร์ และถ่านกัมมันต์

1.3.2 สารสร้างตะกอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นสารส้มที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด ส่วนสารช่วยตกตะกอนเป็นสารโพลีเมอร์ที่มีประจุบวก ลบ และไม่มีประจุ และถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดผง

- 1.3.3 การวิเคราะห์ค่าซีไอดีโดยใช้วิธีฟลักซ์ปิด แบบไตรเตรชัน
- 1.3.4 การวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นที่ใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในหน่วย Pt.Co unit
- 1.3.5 ทำการทดลอง ณ หน่วยวิจัยการจัดการของเสียอุตสาหกรรม ห้องปฏิบัติการขยะมูลฝอย (Solid Waste Laboratory) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 แนวทางในการลดปริมาณซีไอดีก่อนส่งนำไปส่งไปบำบัดที่ ระบบบำบัดน้ำเสีย ส่วนกลางของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (กนอ.) ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด
- 1.4.2 สามารถประยุกต์วิธีการนี้ กับน้ำเสียที่มีความสกปรกในรูปของค่าซีไอดีสูงหรือน้ำเสียประเภทอื่นได้
- 1.4.3 พัฒนาความรู้ในการกำจัดซีไอดี และสีของน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีและการดูดซับ ผนวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

บทที่ 2

ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ของเสียอันตราย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2554) ได้รายงานในคู่มือหลักปฏิบัติที่ดีสำหรับการให้บริการบำบัด กำจัดกากอุตสาหกรรมไว้ว่า เนื่องจากกากอุตสาหกรรมที่เป็นของเสียอันตรายบางชนิดจัดเป็นวัตถุอันตราย ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย ดังนั้น โรงงานจัดการกากอุตสาหกรรมที่รับของเสีย เหล่านั้นเข้ามาบำบัด กำจัดในโรงงาน จึงต้องปฏิบัติตามกฎหมายที่อยู่ภายใต้พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ซึ่งรายชื่อกฎหมายที่สำคัญภายใต้พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 และพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2551

ดังนั้นของเสียอันตราย จึงหมายรวมถึงวัสดุที่ไม่ได้ใช้แล้วที่มีคุณสมบัติเป็นสารไวไฟ กัดกร่อน เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย มีสารพิษปะปน หรือมีตัวทำละลาย เสื่อมคุณภาพตามรายชื่อที่ระบุไว้ในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ดังต่อไปนี้

- 1) วัตถุระเบิดได้
- 2) วัตถุไวไฟ
- 3) วัตถุออกซิไดซ์และวัตถุเปอร์ออกไซด์
- 4) วัตถุมีพิษ
- 5) วัตถุที่ทำให้เกิดโรค
- 6) วัตถุกัมมันตรังสี
- 7) วัตถุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม
- 8) วัตถุกัดกร่อน
- 9) วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง
- 10) วัตถุอย่างอื่น ไม่ว่าจะเป็เคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใด ที่อาจทำให้เกิดอันตราย แก่บุคคล

สัตว์ พืช ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม

หรือกากตะกอนที่เกิดจากการผลิต หรือเกิดจากระบบบำบัดน้ำเสีย จากกิจกรรมตามรายชื่อที่ระบุ ได้แก่

- กากตะกอนจากการละลายเกลือ และกากตะกอนจากโรงผลิตโซดาไฟด้วยวิธีใช้เซลล์ปรอท
- กากวัตถุมีพิษ และกากตะกอนจากโรงงานผลิตและบรรจุยาฆ่าแมลง

- ฝุ่นจากระบบกำจัดตะกั่วในอากาศ และกากตะกอนจากโรงงานหลอมตะกั่ว
- ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เสื่อมหรือไม่ได้คุณภาพ
- น้ำยาเคมีจากถังชุบโลหะ กากที่เหลือจากการชุบโลหะ รวมทั้งกากตะกอนจากโรงงาน

ชุบโลหะ

- ของเสียจากโรงงานผลิตวัตถุระเบิด
- ปลายข้าวหลอดที่ผลิตไม่ได้คุณภาพที่ปนเปื้อนสารปรอท จากโรงงานผลิตหลอดฟลูออ

เวสเซนส์

- ถ่านไฟฉายที่ผลิตไม่ได้คุณภาพ ฝุ่นจากระบบกำจัดอากาศ กากตะกอนจากโรงงานผลิต

ถ่านไฟฉาย

- กากสีจากห้องพ่นสีของโรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับรถยนต์และจักรยานยนต์

2.2 แหล่งกำเนิดของเสียอันตราย

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2552) ได้กล่าวในรายงานของเสียอันตรายว่ามีแหล่งกำเนิดของเสีย มี 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1. แหล่งชุมชน อันประกอบด้วย บ้านเรือน สถาบันการศึกษา โรงพยาบาล และแหล่งพาณิชยกรรม
2. โรงงานอุตสาหกรรม
3. แหล่งเกษตรกรรม

แหล่งกำเนิดของเสียทั้ง 3 แหล่ง สามารถก่อให้เกิดทั้งของเสียที่ไม่อันตราย (Non-hazardous waste) และของเสียอันตราย (hazardous waste)

2.2.1 แหล่งชุมชน

ของเสียที่ไม่เป็นอันตราย ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากชุมชนจะประกอบด้วยสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร เศษหนัง เศษกระดาษ สารอินทรีย์ เช่น เศษแก้ว เศษโลหะ เศษวัสดุก่อสร้าง ส่วนของเสียอันตรายจากชุมชน ได้แก่ ถ่านไฟฉายหมดอายุ กระป๋องสารปราบศัตรูพืช ยาหมดอายุ หลอดไฟหมดอายุหรือชำรุดแล้ว แบตเตอรี่หมดอายุ โทรทัศน์ วิทยุ น้ำมันเครื่องเก่า น้ำยาล้างอัดรูป

นอกจากนั้น ของเสียอันตรายจากชุมชนอีก ประเภทหนึ่งที่ต้องมีการจัดการเฉพาะ ได้แก่ ของเสียจากโรงพยาบาล เนื่องจากเป็นของเสียที่เป็นแหล่งแพร่เชื้อโรคชนิดต่างๆ สุ่มมนุษย์ได้อย่างมาก ตัวอย่างของเสียจากโรงพยาบาล ได้แก่ เข็มและกระบอกฉีดยา สำลี พลาสเตอร์ สาย

ยางให้อาหาร สายสวนปัสสาวะอุจจาระ สายน้ำเกลือ สายดูดเสมหะ ชิ้นเนื้อส่วนต่างๆ เสมหะ เลือด น้ำในช่องท้อง น้ำในไขสันหลัง เป็นต้น สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (เดิม) พ.ศ. 2535 ได้ทำการสำรวจปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดจากโรงพยาบาลในเขตกรุงเทพมหานคร และ ปริมณฑล พบว่าอัตราการเกิดขยะติดเชื้อเฉลี่ย 0.65 กิโลกรัมต่อเตียงต่อวัน

2.2.2 โรงงานอุตสาหกรรม

ของเสียที่ไม่เป็นอันตรายจากโรงงาน อุตสาหกรรม ได้แก่ เศษวัสดุบดจากอุตสาหกรรม อาหาร เช่น เศษผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ เศษกระป๋องและบรรจุภัณฑ์ เศษผ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม สิ่งทอ เป็นต้น

ของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ของสารปราบศัตรูพืช และ สารเคมีต่างๆ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ตะกอนก้นถังกลั่นน้ำยาเคมีต่างๆ ขยะที่มีใยแอสเบสตอส ปนเปื้อน กากตะกอนที่มีโลหะหนักเป็นส่วนประกอบ

2.2.3 แหล่งเกษตรกรรม

ของเสียอันตรายจากแหล่งเกษตรกรรม ได้แก่ การผลิตและการใช้สารเคมีทางการเกษตร เช่น ยากำจัดแมลง ยากำจัดวัชพืช ยากำจัดเชื้อราที่เหี่ยวใช้หรือเสื่อมคุณภาพ ภาชนะที่บรรจุยากำจัดศัตรูพืชต่าง ๆ ซึ่งอาจมีเศษยาติดค้างอยู่ สารเคมีเหล่านี้มีความเป็นพิษในตัวของมันเองบางชนิดมีความคงทนไม่สลายตัวง่าย ทำให้มีฤทธิ์อยู่ได้นาน ส่วนใหญ่นอกจากจะมีพิษต่อศัตรูพืชแล้วยังมีพิษต่อมนุษย์ด้วย

2.3 รายละเอียดของหลุมฝังกลบของเสียอันตรายที่นำน้ำชะขยะมาใช้ในการวิจัย

จากรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โครงการพื้นที่ฝังกลบกากของเสีย อุตสาหกรรม(ส่วนต่อขยาย) นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ของทางบริษัท บริหาร และพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน) หรือ GENCO (2545) ได้ดำเนินการ ประกอบธุรกิจให้บริการบำบัดและกำจัดกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทั้งที่เป็นอันตราย (Hazardous Waste) และไม่เป็นอันตราย (Non-Hazardous Waste) โดยมีระบบการบำบัดและ กำจัดกากของเสียจากอุตสาหกรรมที่ได้มาตรฐาน ถูกต้องตามหลักวิชาการและเป็นไปตาม หลักเกณฑ์และวิธีการตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) และฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541) ว่าด้วยเรื่องการทำจัดสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว โดยปัจจุบันมีศูนย์ให้บริการกำจัด กากอุตสาหกรรม 2 แห่ง ได้แก่

1. ศูนย์บริการกำจัดการอุตสาหกรรมแสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร (ศูนย์ฯ แสมดำ) ให้บริการบำบัดและกำจัดของเสียอุตสาหกรรมจากโรงงานประเภทต่าง ๆ รวมทั้งบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะและโรงงานฟอกย้อมที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียงเป็นหลัก โดยกากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียและกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะถูกปรับเสถียรที่ศูนย์ฯ แสมดำและขนส่งไปฝังกลบในพื้นที่ฝังกลบที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จังหวัดราชบุรี
2. ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ศูนย์ฯ มาบตาพุด) ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง มีเนื้อที่ประมาณ 62.5 ไร่ ได้รับอนุญาตประกอบกิจการให้บริการบำบัดและกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรมตามประเภทของโรงงานลำดับที่ 101 ตามบัญชีท้ายกฎกระทรวง (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2535 สามารถให้บริการแก่โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั่วประเทศ โดยมีบริการกำจัดกากของเสีย 3 รูปแบบ ได้แก่
 - 1) ระบบฝังกลบโดยตรง (Direct Landfill) ใช้ในการกำจัดของเสียอุตสาหกรรมประเภทที่ไม่เป็นอันตราย (Non-Hazardous Waste)
 - 2) ระบบการปรับเสถียรและฝังกลบ (Stabilization and Landfill) เป็นระบบกำจัดกากของเสียประเภทที่เป็นอันตราย (Hazardous Waste) โดยนำกากของเสียไปปรับเสถียร (Stabilization) เพื่อลดความเป็นพิษและ/หรือทำให้เป็นของแข็ง (Solidification) แล้วจึงนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secure Landfill)
 - 3) ระบบผสมกากเชื้อเพลิง (Fuel Blending) เป็นกากนำกากของเสียที่มีค่าความร้อน (Heat Value) ไปผสมเป็นกากเชื้อเพลิง และนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในเตาเผาปูนซีเมนต์ โดยปริมาณของเสียอุตสาหกรรมที่ได้รายงานใน รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการพื้นที่ฝังกลบของเสียอุตสาหกรรม(ส่วนขยาย) นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง รับเข้ามาบำบัดในข้อมูลประกอบการ พ.ศ. 2543 แยกตามประเภทอุตสาหกรรมได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของเสียอุตสาหกรรมที่รับมากำจัด แยกตามประเภทอุตสาหกรรม

ประเภทอุตสาหกรรม	ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรม (ตัน)	สัดส่วน (ร้อยละ)
อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์	20,789.0	26.87
อุตสาหกรรมเคมี	10,087.0	13.04
อุตสาหกรรมรถยนต์	8,464.0	10.94
อุตสาหกรรมปิโตรเคมี	7,980.0	10.31
อุตสาหกรรมเหล็ก	6,828.0	8.82
อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน	5,119.0	6.62
อุตสาหกรรมแก้ว (เลนส์)	4,435.0	5.73
อุตสาหกรรมอาหารและยา	2,544.0	3.29
อุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วน	2,503.0	3.23
อุตสาหกรรมสีและหมึกพิมพ์	1,654.0	2.14
อุตสาหกรรมด้านพลังงาน	1,466.0	1.89
อุตสาหกรรมเครื่องหนัง	1,398.0	1.81
อื่น ๆ	4,115.0	5.32
รวมทั้งหมด	77,382.0	100.0

หมายเหตุ : เป็นข้อมูลผลการประกอบการประจำปี พ.ศ. 2543

ที่มา : บริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน) ,2545

2.4 หลักเกณฑ์หลุมฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secure Landfill)

ในรายงานหลักเกณฑ์หลุมอันตรายของสำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2552) กล่าวว่า สำหรับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตราย (Industrial Hazardous Waste) ซึ่งผ่านการทำลายฤทธิ์หรือปรับเสถียรและทำก่อนแข็งมาแล้ว

2.4.1. ลักษณะที่ตั้งของหลุมฝังกลบ

1) หลุมฝังกลบ จะต้องมิลักษณะทางธรณีวิทยาที่เหมาะสม โดยต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่มีแหล่งแร่ที่มีค่าทางเศรษฐกิจอยู่ข้างใต้ ไม่มีรอยแตก หรือเป็นโพรงของหินชั้นล่าง มีความหนาของชั้นดินระหว่างฐานของหลุมฝังกลบกับระดับน้ำใต้ดินพอสมควร ระดับก้นหลุมฝังกลบจะต้องอยู่สูงจากระดับน้ำใต้ดินสูงสุดไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร (5 ฟุต) และระยะห่างระหว่างขอบนอก

ของหลุมฝังกลบกับแนวเขตที่ตั้งของสถานที่ฝังกลบต้องไม่ต่ำกว่า 33 เมตร (100 ฟุต) หรือตามที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

2) ไม่เป็นพื้นที่ลุ่มหรือที่น้ำท่วมถึง ไม่มีปัญหาเรื่องน้ำท่วม และอยู่ห่างจากแม่น้ำ ลำคลอง หรือแหล่งน้ำที่ใช้ประโยชน์ได้ไม่น้อยกว่า 66 เมตร (200 ฟุต) หรือตามที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้ โดยคำนึงถึงสภาพและลักษณะทางธรณีวิทยา หรือมาตรการป้องกันอื่น ๆ ประกอบ

3) อยู่ห่างจากเขตชุมชน ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการหกหล่นฟุ้งกระจาย ปัญหาการจราจรระหว่างการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว รวมทั้งปัญหาเรื่องฝุ่นและเสียงที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทำงาน

2.4.2. มีเนื้อที่กว้างขวางพอที่จะใช้ฝังกลบได้นานตั้งแต่ 5 ปี ขึ้นไป

2.4.3. การออกแบบและก่อสร้างหลุมฝังกลบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ต้องได้รับการเตรียมอย่างน้อยดังต่อไปนี้

1) ก่อนฝังกลบ จะต้องมีการปูพื้น และด้านข้างหลุมฝังกลบ โดยวัสดุที่ใช้ในการปู (Lining materials) นี้ ต้องมีความแข็งแรงและหนาเพียงพอที่จะทนต่อการรับน้ำหนักและแรงดันที่จะเกิดขึ้นทั้งหมด และจะต้องมีองค์ประกอบอย่างน้อยดังต่อไปนี้

1.1) บุด้านล่างและด้านข้างโดยรอบหลุมฝังด้วยวัสดุต่าง ๆ (Liners) หลายชั้น เพื่อป้องกันการซึมผ่านของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วออกสู่ น้ำใต้ดินหรือน้ำผิวดินที่อยู่ใกล้เคียง โดยปูตามลำดับชั้นตั้งแต่ชั้นล่างสุดจนถึงบนสุด คือ

- ชั้นดินธรรมชาติหรือดินเดิมที่บดอัดแน่น ที่สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกทุกด้านบนได้ทั้งหมด และป้องกันความเสียหายต่อวัสดุปูพื้นด้านล่าง โดยบดอัดแน่นหนาไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตรและมีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 ของความหนาแน่นมาตรฐาน (Standard Proctor Test) โดยทำการบดอัดดินให้แน่นที่ระดับความหนา (Lift) ทุก ๆ 15 เซนติเมตร

- ชั้นกันซึมทุติยภูมิชั้นล่าง (Secondary protective barrier) ประกอบด้วยชั้นดินเหนียวที่ยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) ได้ไม่เกินกว่า 1×10^{-7} เซนติเมตรต่อวินาที (ประมาณ 0.1 ฟุตต่อปี) มีความหนาไม่ต่ำกว่า 90 เซนติเมตร และแผ่นวัสดุทึบน้ำสังเคราะห์โพลีเอธิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene) มีความหนาอย่างต่ำ 1.5 มิลลิเมตร ในกรณีที่ใช้วัสดุธรณีสังเคราะห์แบบคอมโพสิท (Geocomposite) จะต้องได้ชั้นกันซึมที่มีค่าอัตราการซึมนั้น และคุณสมบัติการดูดซับ (Sorption capacity) เทียบเท่ากับชั้นกันซึมดังกล่าวหรือดีกว่า ชั้นระบรวบรวมน้ำ (Secondary leachate collection layer) จะต้อง

ประกอบด้วยชั้นกรวดทราย ซึ่งเป็นหินกรวดคัดขนาด (Graded sand and gravel) ที่ยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) ได้ไม่ต่ำกว่า 1×10^{-2} เซนติเมตรต่อวินาที และมีความหนาไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร ในกรณีที่ใช้วัสดุสังเคราะห์แบบ Geonet จะต้องได้ชั้นรวบรวมน้ำที่มีค่าอัตราการไหลของน้ำ (Transmissivity) ไม่ต่ำกว่า 3×10^{-5} ตารางเมตรต่อวินาที

- ชั้นกันซึมปฐมภูมิชั้นบน (Primary protective barrier) ประกอบด้วยแผ่นวัสดุที่น้ำสังเคราะห์ (Geomembrane) ประเภทโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene) มีความหนาย่างต่ำ 1.5 มิลลิเมตร ในกรณีที่ใช้วัสดุธรณีสังเคราะห์แบบคอมโพสิต (Geocomposite) จะต้องได้ชั้นกันซึมที่มีค่าอัตราการซึมน้ำและคุณสมบัติการดูดซับ (Sorption capacity) เทียบเท่ากับชั้นกันซึมดังกล่าวหรือดีกว่า

- ต้องมีชั้นกรอง (Filter zone) ซึ่งเป็นวัสดุกรองใยสังเคราะห์ (Geotextile) ที่สามารถระบายน้ำส่วนที่อิ่มตัว (hydraulic conductivity) ได้ไม่ต่ำกว่า 1×10^{-2} เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งใช้แยกชั้นระบบรวบรวมน้ำเสียออกจากชั้นที่บรรจุสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

1.2) ต้องมีระบบนำน้ำออกจากชั้นกันซึมปฐมภูมิชั้นบน (Primary protective barrier) และชั้นกันซึมทุติยภูมิชั้นล่าง (Secondary protective barrier) โดยน้ำที่รวบรวมจากแต่ละชั้นในหลุมฝังกลบ จะต้องระบายออกไปเก็บในบ่อสูบ (Sump) ที่แยกกัน เพื่อมิให้เกิดการขังของน้ำภายในหลุมฝังกลบและใช้เป็นระบบตรวจสอบการรั่ว (Leak detection system) ของชั้นกันซึมด้วย

1.3) การระบายที่ก้นหลุมฝังกลบต้องมีความลาด (Slope) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 เพื่อให้การระบายน้ำก้นหลุมเป็นไปอย่างสะดวก

2) เมื่อหลุมฝังกลบเต็มแล้ว ให้ทำการปิดหลุม (Capping) ด้วยวัสดุต่าง ๆ หลายชั้นเพื่อป้องกันมิให้น้ำหรือสิ่งรบกวนจากภายนอกเข้ามาสัมผัสกับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วภายในหลุมฝังกลบ โดยปูตามลำดับชั้นตั้งแต่ล่างสุดจนถึงบนสุด คือ ชั้นดินเหนียวที่ยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) ได้ไม่เกินกว่า 1×10^{-7} เซนติเมตรต่อวินาที มีความหนาไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร แล้วปูทับด้วยแผ่นวัสดุที่น้ำสังเคราะห์โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่มีความหนาน้อย 1.5 มิลลิเมตร หรือแผ่นวัสดุสังเคราะห์อื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าหรือดีกว่า จากนั้นให้ปูทับด้วยชั้นกรวดทรายคัดขนาด เพื่อช่วยในการระบายน้ำ หนาอย่างน้อย 30 เซนติเมตร ซึ่งใช้ระบายน้ำที่อิ่มตัว (Saturated Hydraulic conductivity) ได้ไม่ต่ำกว่า 1×10^{-2} เซนติเมตรต่อวินาที แล้วจึงปูทับด้วยวัสดุกรองใยสังเคราะห์ และชั้นดินธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืชคลุมดินเป็น

ชั้นบนสุดมีความหนาอย่างน้อย 90 เซนติเมตร หากสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วสามารถก่อให้เกิดก๊าซขึ้นได้ในภายหลังการฝังกลบให้จัดให้มีระบบท่อรวบรวมและระบายก๊าซออกไปอย่างเพียงพอ

3) วัสดุที่บ้ำน้ำสังเคราะห์ (Geomembrane) ประเภทโพลีเอธิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene) ที่ใช้ ต้องมีความที่บ้ำน้ำทนทานต่อสภาพการกัดกร่อนทางเคมีและต่อสภาวะแวดล้อม มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทนต่อการรับน้ำหนักและแรงดันที่จะเกิดขึ้นทั้งหมด โดยต้องมีคุณลักษณะไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์กำหนดคุณลักษณะของแผ่นวัสดุที่บ่มน้ำสังเคราะห์โพลีเอทิลีน

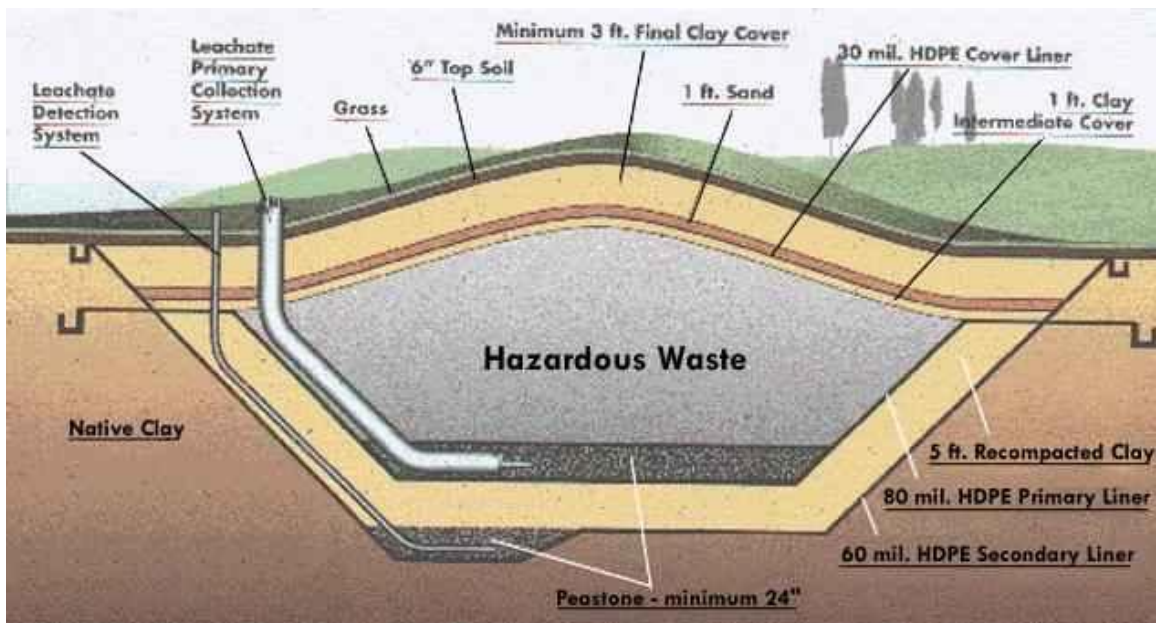
คุณลักษณะของแผ่นวัสดุที่บ่มน้ำ	ค่าที่กำหนด	หน่วย	วิธีทดสอบหรือวิเคราะห์
ความหนาเฉลี่ยไม่น้อยกว่า (Average Thickness)	60	มิลล์(Mils)	ASTM D-751/1593/374
ความหนาดำสุดเมื่อวัดไม่น้อยกว่า (Minimum thickness)	54	มิลล์(Mils)	ASTM D-751/1593/374
ความหนาแน่นไม่น้อยกว่า(Density)	0.94	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	ASTM D-1505
กำลังดึงที่จุดคดง折不น้อยกว่า (Tensile Strength at Yield)	132	ปอนด์ต่อนิ้ว (ความกว้าง)	ASTM D-638-IV
กำลังดึงที่จุดขาดไม่น้อยกว่า (Tensile Strength at Break)	304	ปอนด์ต่อนิ้ว (ความกว้าง)	ASTM D-638-IV
การยืดตัวที่จุดขาดไม่น้อยกว่า (Elongation at Break)	75	% (ร้อยละ)	ASTM D-638-IV
การยืดตัวที่จุดคดง折不น้อยกว่า (Elongation at Yield)	12	% (ร้อยละ)	ASTM D-638-IV
ความต้านทานแรงฉีกขาดไม่น้อยกว่า (Tear resistance)	42	ปอนด์	ASTMD-1004-C
ดัชนีการหลอมเหลวไม่มากกว่า (Melt flow index)	1.0	กรัมต่อ 10 นาที	ASTM D-1238

หมายเหตุ : 1 มิลล์(Mils) มีค่าประมาณ 0.0245 มิลลิเมตร

(สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม , 2552)

4) วัสดุที่บ่มน้ำสังเคราะห์ (Geomembrane) ประเภทโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene) ต้องเป็นชนิดคุณภาพสูง (High grade) ซึ่งทำจากโพลีเอทิลีนเรซิน (Polyethylene resin) หรือเอทิลีนโคโพลีเมอร์เรซิน (Ethylene copolymer resin) หรือส่วนผสมของโพลีเอทิลีนเรซินเป็นส่วนใหญ่ กับโพลีเมอร์อื่นเพียงเล็กน้อยจะต้องเป็นของใหม่ไม่เคยใช้งาน

มาก่อน ผลิตสำเร็จรูปจากโรงงานของผู้ผลิตที่ได้รับมาตรฐานสากลทางด้านการผลิต และต้องมีสี สม่ำเสมอ ไม่มีคราบเหนียว หรือข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจมีผลเสียต่อการใช้งาน เช่น รอยพอง รอยฉีกขาด ตำหนิ ซึ่งเกิดจากสิ่งแปลกปลอม เป็นต้น การเชื่อมต่อแผ่นวัสดุที่บ่มน้ำสังเคราะห์โพลีเอธิลีนความหนาแน่นสูง ให้ต่อโดยวิธีเชื่อมด้วยความร้อน โดยต้องเป็นแบบ wedge weld ชนิด dual track หรือ extrusion joint ตามความเหมาะสมของวิธีการ โดยมีระยะทางตามคำแนะนำของผู้ผลิต หรือไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร เมื่อทดสอบ shear test และ peel test ของจุดเชื่อมตามมาตรฐาน ASTM D4437 จะต้องมีคุณสมบัติต่าง ๆ ไม่ต่ำกว่าแผ่นวัสดุที่บ่มน้ำสังเคราะห์โพลีเอธิลีนความหนาแน่นสูงเอง และให้ทดสอบรอยรั่วจากการเชื่อมโดยวิธี air pressure test สำหรับ dual track และโดยวิธี vacuum box test สำหรับ extrusion welding หากใช้แผ่นวัสดุที่บ่มน้ำสังเคราะห์ (Geomembrane) ประเภทอื่น ๆ ต้องมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับแผ่นวัสดุที่บ่มน้ำสังเคราะห์โพลีเอธิลีนความหนาแน่นสูงหรือสูงกว่า และต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม วัสดุธรณีสังเคราะห์ (Geosynthetics) ประเภทอื่น ๆ ที่นำมาใช้ต้องได้รับการพิจารณาและเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างลักษณะหลุมฝังกลบที่ถูกต้องดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 รูปตัดหลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรม (<http://www.ensoles.org/olf.html>, 2555)

5) หลุมฝังกลบจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถควบคุมการไหลท่วมและขังนองของปริมาณน้ำฝนในรอบ 24 ชั่วโมง ของคาบการตกของฝนในรอบ 25 ปีได้ โดยจัดให้มีระบบป้องกันมิให้น้ำฝนหรือน้ำไหลบ่าจากด้านนอกหลุมฝังกลบเข้ามาสัมผัสกับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วในหลุมฝังกลบระหว่างการฝังกลบ รวมทั้งจัดให้มีระบบระบายน้ำออกจากบริเวณหลุมฝังกลบได้อย่างรวดเร็วและเหมาะสม หากน้ำที่สัมผัสกับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ไม่ว่าจะในกรณีใด ให้ถือเสมือนหนึ่งเป็นน้ำเสียที่ต้องผ่านการบำบัดจนมีคุณลักษณะได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งตามที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด จึงระบายออกทิ้งได้

2.4.4. การดำเนินการฝังกลบ

1) สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่นำมาฝังกลบนั้น เมื่อทำการสกัดและวิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดในข้อ 6.2 6.3 และ 6.4 ของภาคผนวกที่ 2 ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 จะต้องมีความเข้มข้นของสารอันตรายต่าง ๆ ไม่มากกว่าที่ระบุไว้ในข้อ 5.2 ของภาคผนวกที่ 2 ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับดังกล่าว และจะต้องทำให้เป็นก้อนแข็งก่อนดำเนินการฝังกลบ โดยให้มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1.1) สามารถรับแรงอัด (Unconfined Compressive Strength) ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-1633 และ D-2166 ได้ ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือต้องสามารถรับน้ำหนักที่กดทับด้านบนเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบ (Secure Landfill) ได้อย่างปลอดภัย

1.2) มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

2) ห้ามมิให้ฝังกลบสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งมีส่วนประกอบที่เป็นของเหลวอิสระ (Free liquid) โดยให้ทดสอบสถานะของของเหลวอิสระด้วยมาตรฐาน Paint filter liquids test –USEPA (United States Environment Protection Agency) SW-846 Method 9095 ทุกครั้ง

3) ให้จัดทำบันทึกการดำเนินงาน ซึ่งมีรายการแสดงเกี่ยวกับประเภท ชนิด ปริมาณ วิธีการฝังรวมทั้งผังการจัดแบ่งส่วน (Cell) หลุมฝัง และชนิดของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่อยู่ในแต่ละส่วนของหลุมฝัง โดยให้เก็บรักษาบันทึกนี้ไว้ เพื่อให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมสามารถตรวจสอบได้ทุกเมื่อ

4) เมื่อเลิกใช้หลุมฝังกลบในบางบริเวณเป็นการชั่วคราว ต้องจัดให้มีการปิดคลุมด้วยแผ่นวัสดุที่บ่งน้ำสังเคราะห์โพลีเอธิลีนความหนาแน่นสูง ที่มีความหนาไม่ต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตร และจัดระบบระบายน้ำออกจากพื้นที่นั้นให้เพียงพอ พร้อมทั้งให้มีวิธีการป้องกันการชะล้างโดยวิธีที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

5) จัดให้มีวัสดุปิดคลุมสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วในหลุมฝังกลบหลังจากเสร็จสิ้นภารกิจการฝังในแต่ละวันเพื่อลดการกระจายของฝุ่นอันตรายอันอาจเกิดจากแรงลม วัสดุปิดคลุมอาจเป็นวัสดุสังเคราะห์หรือวัสดุธรรมชาติ ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นชอบ

6) ให้ปลูกพืชคลุมดินบนหลุมฝังกลบที่ปิดแล้ว เพื่อลดความรุนแรงของการพังทลายของผิวน้ำดิน โดยพืชที่ปกคลุมดินจะต้องเป็นพืชรากสั้น หรือมีเอกสารที่พิสูจน์ได้ว่าความยาวที่สุกของรากจะยาวนานน้อยกว่า 90 เซนติเมตร

7) ผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องแจ้งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบถึงกำหนด การปิดหลุมฝังกลบขั้นสุดท้าย เพื่อให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของหลุมฝังกลบก่อนการปิดหลุม หากต้องแก้ไขและมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นเท่าใด ให้อยู่ในความรับผิดชอบของผู้ประกอบกิจการโรงงานทั้งหมด

8) เมื่อเลิกใช้หลุมฝังกลบโดยปิดคลุมด้านบนเรียบร้อยแล้ว ผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องรับผิดชอบดูแลรักษาและตรวจสอบหลุมฝังกลบไปอีกเป็นระยะเวลา 30 ปี นับจากวันที่ปิดหลุมฝังกลบเสร็จเรียบร้อย ในกรณีที่ยังไม่แน่ใจในความปลอดภัยของหลุมฝังกลบนั้น กรมโรงงานอุตสาหกรรมอาจพิจารณากำหนดระยะเวลาดังกล่าวให้นานขึ้นตามความเหมาะสมได้

9) ค่าใช้จ่ายของการแก้ไขหลุมฝังกลบที่เกิดมีรอยรั่ว การฉีกขาด หรือเกิดข้อบกพร่องใด ๆ ที่ก่อให้เกิดการรั่วไหลของสารต่าง ๆ ออกสู่ภายนอกหลุม ทั้งในระหว่างการฝังและในช่วงระยะเวลาการดูแลของผู้ดำเนินการฝังหลังการปิดหลุมฝังกลบแล้ว ให้อยู่ในความรับผิดชอบของผู้ประกอบกิจการโรงงานทั้งหมด

2.4.5. การตรวจสอบติดตามผล

1) ต้องจัดสร้างบ่อสังเกตการณ์ (Monitoring well) สำหรับตรวจสอบคุณลักษณะของน้ำใต้ดินในชั้นไม่อิ่มตัว (Unsaturated zone) และชั้นอิ่มตัว (Saturated zone) ที่ตื้นที่สุดที่ไหลผ่านบริเวณหลุมฝังกลบ โดยตั้งอยู่ที่บริเวณเหนือน้ำ (Upgradient) และใต้น้ำ (Downgradient) ของหลุมฝังกลบตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน สถานที่ตั้งและจำนวนของบ่อสังเกตการณ์ ให้กำหนดตามความจำเป็นและเหมาะสมต่อการที่จะให้ได้ตัวอย่างของน้ำใต้ดินที่สามารถใช้เป็นตัวแทนคุณภาพน้ำใต้ดินธรรมชาติจากบริเวณด้านเหนือน้ำ (Upgradient) และด้านใต้น้ำ (Downgradient) หลุมฝังกลบ เพื่อสามารถไปทำการเปรียบเทียบวิเคราะห์และประเมินผลความปลอดภัยของหลุมฝังกลบ

2) การกำหนดชนิดและปริมาณของสาร เพื่อใช้ในการตรวจสอบน้ำในบ่อสังเกตการณ์ จะแตกต่างกันไปตามสถานที่ตั้งของหลุมฝังกลบแต่ละแห่งตามความเหมาะสม ขึ้นกับ

คุณสมบัติของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเดิม โดยพิจารณาจากความเข้มข้นก่อนการประกอบสาร (Background concentrations) ตลอดจนชนิดและปริมาณของสารที่ฝังกลบ

3) น้ำใต้ดินที่เก็บจากบ่อสังเกตการณ์ด้านใต้น้ำ (Downgradient) ของหลุมฝังกลบจะต้องมีลักษณะไม่เกินกว่าเกณฑ์เฉลี่ยที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์เฉลี่ยของสารอันตรายที่วัดได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบ่อสังเกตการณ์ด้านใต้น้ำ (Downgradient) ของหลุมฝังกลบ

ชนิดของสารอันตราย	ปริมาณสูงสุดไม่เกิน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
อาร์ซีนิก	0.05
แคดเมียม	0.01
โครเมียม	0.05
ตะกั่ว	0.05
ปรอท	0.002
นิเกิล	0.05
แมงกานีส	0.3
ทองแดง	1.0
สังกะสี	5.0
เงิน	0.05
แบเรียม	1.0
ซิลิเนียม	0.01
ซิลเว็กซ์ (Silvex)	0.01
2,4-ดี (2,3-D)	0.1
ทอกซาฟีน (Toxaphene)	0.005
เมธอกซิลคลอร์ (Methoxychlor)	0.1
ลินเดน (Lindane)	0.004
เอนดริน (Endrin)	0.0002

(สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2552)

4) ให้ตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินที่เก็บจากบ่อสังเกตการณ์อย่างสม่ำเสมอ ตั้งแต่ก่อนเริ่มดำเนินการฝัง ระหว่างดำเนินการฝัง และระหว่างการดูแลหลุมฝังกลบหลังจากเลิกใช้ โดยเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดินก่อนทำการฝังอย่างน้อย 6 ครั้ง ในระยะเวลาต่าง ๆ กันของปี เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบ (Baseline data) เก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบ่อสังเกตการณ์ทุกบ่อในระหว่างดำเนินการฝังอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง และเก็บผลวิเคราะห์น้ำใต้ดินจากบ่อสังเกตการณ์ทุกบ่อในช่วงการดูแลหลุมฝังกลบ หลังจากเลิกใช้อย่างน้อยทุก 6 เดือน ตามลำดับ

5) ให้ตรวจสอบการรั่วซึมของชั้นบน (Primary Protective Barrier) ของหลุมฝังกลบ หากพบว่ามียัตราการรั่วซึม (Active leakage rate) เกินกว่า 17 มิลลิลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน ให้ถือว่าชั้นกันซึมนั้นหมดประสิทธิภาพในการใช้งานแล้ว และต้องดำเนินการแก้ไข ตามวิธีที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

6) หากผลการตรวจสอบในข้อ 4) พบว่าคุณภาพของน้ำใต้ดินสูงเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในข้อ 3) หรือสามารถพิสูจน์ได้ว่ามีการรั่วซึมของหลุมฝังกลบเกิดขึ้น ผู้ประกอบกิจการโรงงานจะต้องทำการแก้ไขทันที โดยวิธีการทำผนังกัน (Cut-off wall confinement) ซึ่งประกอบด้วยวัสดุผสมของดินและเบนโทไนท์ (Soil - bentonite admixture) หรือวัสดุผสมของซีเมนต์ และเบนโทไนท์ (Cement-bentonite admixture) ที่ยอมให้มีอัตราการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) ได้ไม่เกินกว่า 1×10^{-7} เซนติเมตรต่อวินาที มีความหนา 60 เซนติเมตร แล้วจึงแทรกเสริมระหว่างผนังด้วยแผ่นวัสดุทึบน้ำสังเคราะห์ (Geomembrane) ประเภทโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene) หนาอย่างต่ำ 1.5 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชั้น ในแนวตั้งจากผิวดินถึงชั้นทึบน้ำใต้ดิน (Impervious Layer) เบื้องล่างโดยรอบบริเวณหลุมฝังกลบ ทั้งนี้อาจใช้วิธีการป้องกันโดยวิธีอื่นที่ได้ผลเทียบเท่าหรือดีกว่าและจะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม หากได้หลุมฝังกลบมีลักษณะรอยแตกร้าว (Hydraulic fracturing) ให้เทพูนเกรตติ้งกันซึมด้านล่าง (Grouting) เพื่อกันมิให้สารหรือของเหลวใด ๆ ออกมาจากหลุมฝังกลบ และปนเปื้อนดินรองรับบริเวณหลุมฝังกลบแพร่กระจายต่อไปได้ หรืออาจใช้วิธีการอื่นที่ได้ผลเทียบเท่าหรือดีกว่า และต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

7) ให้ตรวจสอบคุณภาพของน้ำในบ่อสูบที่รวบรวมได้จากชั้นรวบรวมน้ำทุกครั้ง ก่อนที่จะระบายออกทิ้ง ถ้าพบว่ามีค่าความสกปรกเกินกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งตามที่กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ จะต้องทำการบำบัดจนมีคุณลักษณะเป็นไปตามมาตรฐานนั้นเสียก่อน

2.5 ระบบควบคุมน้ำชะกาก (Leachate Control System)

น้ำชะกาก (Leachate) ภายในหลุมฝังกลบเกิดจากการซึมผ่านของน้ำฝนผ่านหลุมฝังกลบ นอกจากนี้ น้ำชะกากอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายของกากของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งนำมาฝังกลบภายในหลุมได้เช่นเดียวกัน

ระบบรวบรวมน้ำชะกาก (Leachate) จะถูกออกแบบให้น้ำชะกากสามารถไหลลงไปสู่บ่อรวบรวมโดยการไหลตามแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity Flow) ทั้งนี้ในแต่ละเซลล์จะมีบ่อรวบรวมน้ำชะกากภายในหลุมฝังกลบ

ระบบรวบรวมน้ำชะกากภายในหลุมฝังกลบของแต่ละเซลล์ย่อย (Sub Cell) จะประกอบด้วยระบบรวบรวมน้ำชะปฐมภูมิ (ด้านบน) ระบบรวบรวมชะทุติยภูมิ (ด้านล่าง) และบ่อรวบรวมน้ำชะกาก (Primary & Secondary Leachate Collection Sump) โดยระบบรวบรวมน้ำชะกากที่เกิดขึ้นในแต่ละเซลล์ย่อย (Sub Cell) จะแยกออกจากกันด้วยชั้นของ Liner เพื่อสะดวกต่อการตรวจสอบการรั่วซึมของชั้นปูรองกันซึม และการดำเนินงานควบคุมน้ำชะกากของเสีย

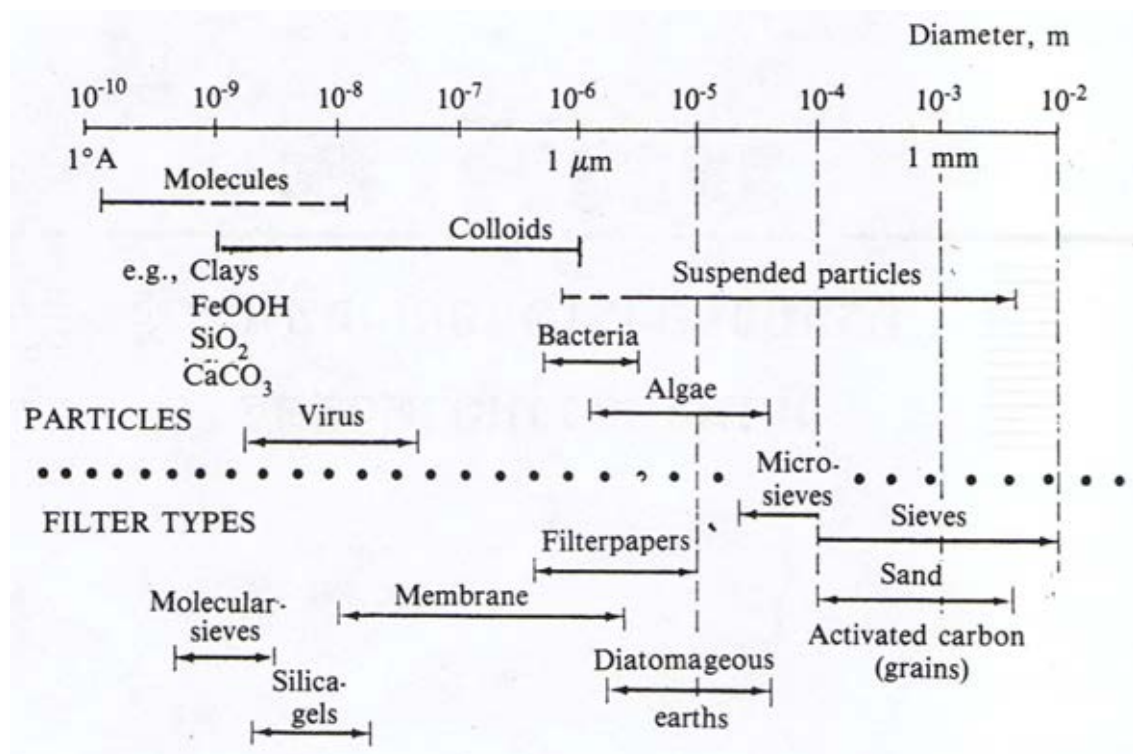
น้ำชะกากที่เกิดขึ้นจะถูกรวบรวมด้วยระบบน้ำชะปฐมภูมิ ซึ่งติดตั้งไว้ต่อกากชั้นการของเสีย ประกอบด้วย ชั้นวัสดุกรองใยสังเคราะห์ (Geotextile) ความหนาแน่นประมาณ 260 กรัมต่อตารางเมตร ชั้นกรวดทรายซึ่งฝังท่อ ประเภทโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene) ที่เจาะเป็นรูและหุ้มด้วยหินกรวดคัดขนาด

ระบบรวบรวมน้ำชะทุติยภูมินั้นประกอบด้วย Geocomposite ซึ่งเป็นวัสดุสังเคราะห์ โครงสร้างแบบตาข่าย (Geonet Drain) มีอัตราไหลผ่านของน้ำ (Transmissivity) ไม่น้อยกว่า 3×10^{-5}

ตารางเมตรต่อวินาที หุ้มด้วยวัสดุกรองใยสังเคราะห์ (Geotextile) ความหนาแน่นประมาณ 180 กรัม/ตารางเมตร ระบบรวบรวมน้ำชะทุติยภูมินี้จะทำหน้าที่รวบรวมน้ำชะกากซึ่งรั่วซึมผ่านชั้นปูรองกันซึมปฐมภูมิออกมา และระบายไปสู่บ่อรวบรวมทุติยภูมิ (Secondary Leachate Collection Sump) ซึ่งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับ บ่อรวบรวมปฐมภูมิ แต่แยกออกจากกันด้วยชั้นปูรองกันซึมปฐมภูมิ ในการดำเนินงานจะมีการตรวจสอบปริมาณน้ำชะกากในบ่อทั้งสองอย่างสม่ำเสมอ น้ำชะกากที่เกิดขึ้นภายในบ่อรวบรวมน้ำชะจะถูกสูบออกจากบ่อด้วย Primary and Secondary HDPE Riser Pipe และขนส่งไปบำบัดที่ระบบบำบัดน้ำเสียของโครงการ

2.6 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกคูเลชัน (Flocculation)

อนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งเรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไปมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10^{-9} จนถึง 10^{-6} เมตร (ภาพที่ 2.2) เนื่องจากมีขนาดเล็กจึงไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองในเวลาจำกัด นอกจากนี้อนุภาคคอลลอยด์เมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุประจําตัว โดยพวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จะมีประจุบวก เช่น สารอินทรีย์, สบู่ หรือสารจําพวก Detergent ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มักจะมีประจุเป็นลบ เช่น อนุภาคของดินเหนียว และเนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันเกิดแรงผลักรั้วกันระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคเหล่านั้นมีเสถียรภาพสูง ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่างๆรวมตัวกันและจับกันเป็นก้อนจะมีขั้นตอน 2 ขั้นตอนคือ(มันสิน ตัณฑุลเวศม์ ,2538)



ภาพที่ 2.2 การจำแนกขนาดของสารต่างๆในน้ำ (Amirtharajah และ Mills, 1982)

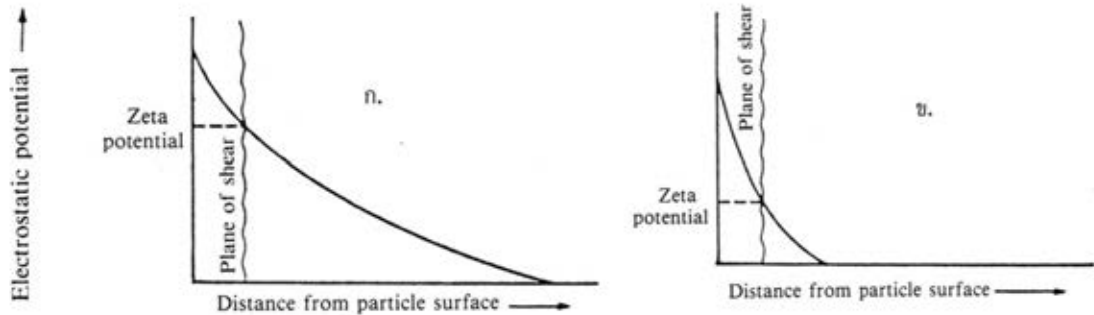
2.6.1 ทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของอนุภาคคอลลอยด์ โดยกลไกวิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้

1) กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) โดยการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) ที่ผิวบนอกสุดของน้ำลดตามไปด้วย (ภาพที่ 2.3) การทำลายเสถียรภาพโดยการลดความหนาของชั้นกระจายด้วยการเติมสารละลายของเกลือต่างๆมีข้อที่น่าสนใจดังนี้

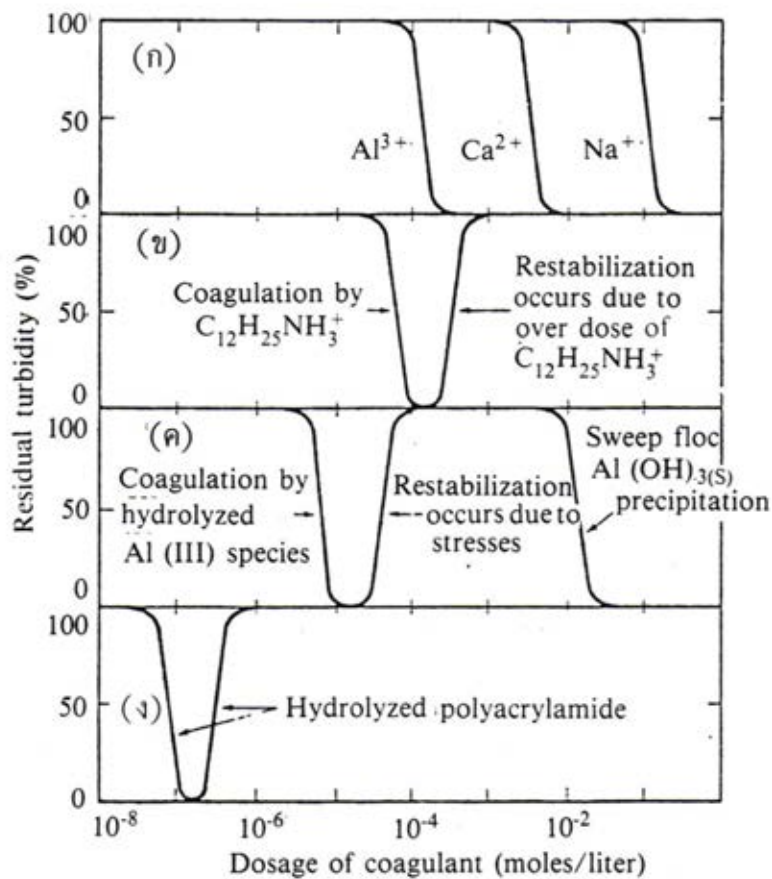
1.1) ปริมาณสารตัวนำไฟฟ้า (ที่มีไอออนประจุบวก) ที่เติมเพื่อทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ด้วยวิธีลดความหนาของชั้นกระจาย ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคอลลอยด์

1.2) ไม่ว่าจะเติมไอออนบวกมากเพียงใด จะไม่สามารถทำให้คอลลอยด์เปลี่ยนประจุไฟฟ้าจากลบเป็นบวก (Charge Reversal) (ภาพที่ 2.4)

2) กลไกดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and Charge Neutralization) โดยใส่สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์และดูดติดผิวได้ ซึ่งจะมีผลในการลดศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพนั่นเอง



ภาพที่ 2.3 ผลของการเติมอิออนที่มีประจุตรงกันข้ามให้กับคอลลอยด์ (ก) ก่อนเติมอิออน (ข) หลังจากการเติมอิออนแล้ว (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2538)

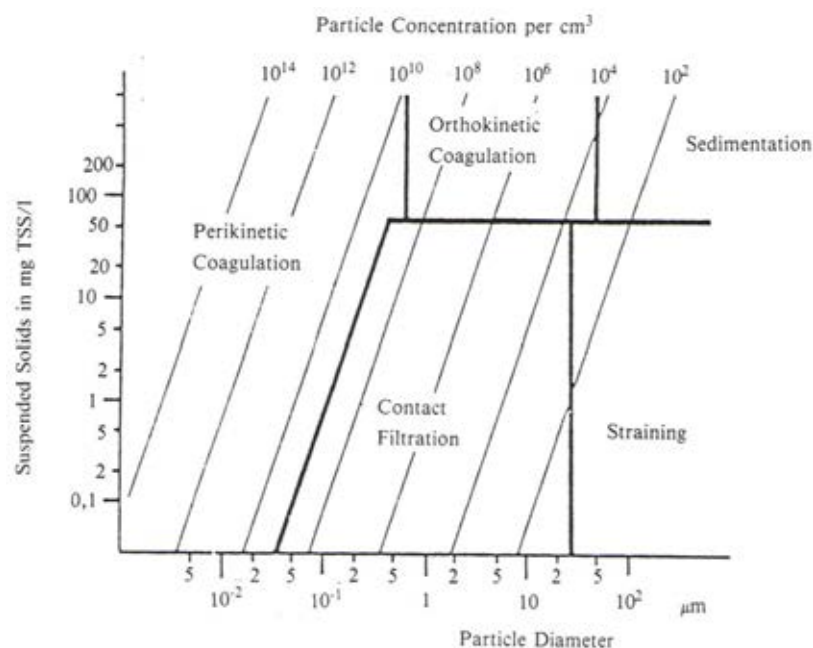


ภาพที่ 2.4 การเปรียบเทียบปริมาณโคแอกกูแลนต์ ที่ใช้ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ด้วยกลไกแบบต่างๆ จะเห็นว่าแบบ (ก) ซึ่งเป็นการลดความหนาของชั้นกระจายด้วย Al^{3+} , Ca^{2+} และ Na^{+} ต้องการสารเคมีมากที่สุด ส่วนแบบ (ง) ซึ่งเป็นการใช้โพลีเมอร์เป็นตัวเชื่อมโยง(สะพาน)ให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมตัวกัน มีความต้องการสารโคแอกกูแลนต์ น้อยที่สุด (Samuel และ Osman, 1983)

3) กลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (Sweep Coagulation) เช่น การใส่สารส้มให้เกิดผลึก $Al(OH)_3$ เหมือนวุ้นสีขาว เพื่อให้อนุภาคมาเกาะแล้วรวมกันเป็นฟล็อกได้ กลไกการใช้ผลึกสารอินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์มีลักษณะที่แตกต่างจากกลไก 2 แบบแรกคือ ปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสม (Optimum Dosage) แปรผกผันกับความเข้มข้นของคอลลอยด์ กล่าวคือ น้ำที่มีความขุ่นน้อยต้องใช้โคแอกกูแลนต์จำนวนมากจึงจะเกิดโคแอกกูแลนต์ได้ดี ในทางตรงกันข้ามน้ำที่มีความขุ่นสูงอาจใช้โคแอกกูแลนต์น้อยกว่า เหตุผลคือน้ำที่มีความขุ่นต่ำจะมีโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคน้อย ดังนั้นแม้ว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์จะเกิดขึ้นแล้วก็ตาม โคแอกกูแลนต์อาจไม่เกิดได้ดีเท่าที่ควร การใช้โคแอกกูแลนต์ปริมาณสูงก็เพื่อสร้างผลึกจำนวนมากๆสำหรับเป็นสารเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์ แต่ในกรณีที่น้ำมีความขุ่นสูง โอกาสสัมผัสย่อมมีมาก จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเป้าสัมผัสจากภายนอกมากเท่ากับกรณีแรก

4) กลไกสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้สารโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อใส่ลงในน้ำจะให้ก้อนเป็นจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่นๆเพื่อทำให้เกิดฟล็อก

2.6.2 ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่หมดเสถียรภาพ แล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอคคูลูเลชัน (Flocculation) วิธีการสร้างสัมผัสให้อนุภาคมีหลายวิธี (ภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5 เกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างสัมผัสระหว่างอนุภาคต่าง ๆ ทั้ง 5 ประเภท (Amirtharajah และ Mills, 1982)

1) ทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสร้างสัมผัสเกิดขึ้น วิธีปฏิบัตินี้เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ กวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่างๆมีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไป มิฉะนั้นแล้วฟลอคที่เกิดขึ้นอาจแตกหรือหลุดออกจากกันได้วิธีนี้เป็นวิธีธรรมดาที่นิยมใช้กันทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ในการสร้างสัมผัสหรือสร้างฟลอคคูลูเลชันเรียกว่า ถังกวนช้า และวิธีการสร้างสัมผัสแบบนี้มีชื่อเทคนิคว่า Orthokinetic Flocculation อนุภาคคอลลอยด์ที่มี ฟลอคคูลูเลชันแบบนี้ควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอนและมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) การสัมผัสของอนุภาคคอลลอยด์ อาจเกิดขึ้นได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การสัมผัสแบบนี้จึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่า การเคลื่อนที่แบบบราวเนียนเรียกว่า Perikinetic Flocculation

3) การสัมผัสระหว่างอนุภาคเกิดขึ้น เนื่องจากการตกตะกอนที่มีอัตราไม่เท่ากัน ของอนุภาคต่างๆ ฟล็อกคูเลชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อมๆกับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัด อนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สามารถสร้างฟล็อกคูเลชันแบบนี้ได้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทางปฏิบัติอนุภาคที่มี ขนาดดังกล่าวอาจเกิด ฟล็อกคูเลชันมาก่อนแล้วครั้งหนึ่ง เมื่อมาถึงการตกตะกอนจึงเกิดฟล็อก คูเลชันอีกในขณะที่มีการตกตะกอน

4) ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1 – 1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอนและมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟล็อกคูเลชันอาจเกิดขึ้นโดยการสร้าง สัมผัสแบบ Orthokinetic Flocculation แต่อาจเกิดขึ้นช้าเนื่องจากโอกาสสัมผัสน้อย วิธีแก้ไขอาจ กระทำดังนี้

5) ใช้ถังกรองทรายแบบกรองเร็วหรือถังกรองแบบ 2 ชั้น ชั้นกรองช่วยเพิ่มอัตรา สัมผัสให้และยังบังคับให้อนุภาคต่างๆเคลื่อนที่เข้ามาชิดกันด้วย การใช้ถังกรองช่วยสร้างฟล็อก คูเลชันเช่นนี้เรียกว่ากรองสัมผัส (Contact Filtration) แต่เนื่องจากช่องว่างในชั้นกรองมีจำกัด วิธีนี้ จึงใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร การใช้กรวดขนาดเล็กแทนทราย อาจเพิ่มปริมาตรช่องว่างได้แต่เป็นการลดพื้นที่สัมผัส ดังนั้นจึงอาจได้ผลในทางฟล็อกคูเลชันไม่ดี เท่าชั้นทราย

6) ใช้อนุภาคที่จับตัวกันเป็นฟล็อกแล้วเป็นเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคใหม่ ในทาง ปฏิบัติสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ ทำให้ฟล็อกจับตัวกันเป็นชั้นสลัดจ์ (Sludge Blanket) และ บังคับให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่ผ่านชั้นสลัดจ์ อีกวิธีหนึ่งคือนำเอาฟล็อกกลับคืนมาผสมกับ อนุภาคคอลลอยด์จากนั้นจึงสร้างสัมผัสตามแบบ Orthokinetic Flocculation ไปตามปกติ การใช้ ถังตกตะกอนแบบ Solids Contact Clarifier ก็ใช้หลักการนี้

7) ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอนแต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีกรองได้เช่นกัน แต่สารกรองที่ใช้ควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย

2.7 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม

สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากสามารถใช้ได้ดีกับน้ำดิบจากแหล่งต่างๆ และหาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่แพงมากนัก สารส้ม (อลูมิเนียมซัลเฟต) มีสูตรโมเลกุล $Al_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$ ซึ่งโดยปกติ (*) มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำจะแตกตัวให้ ไอออนบวกและลบ ดังปฏิกิริยา (1) ดังนี้



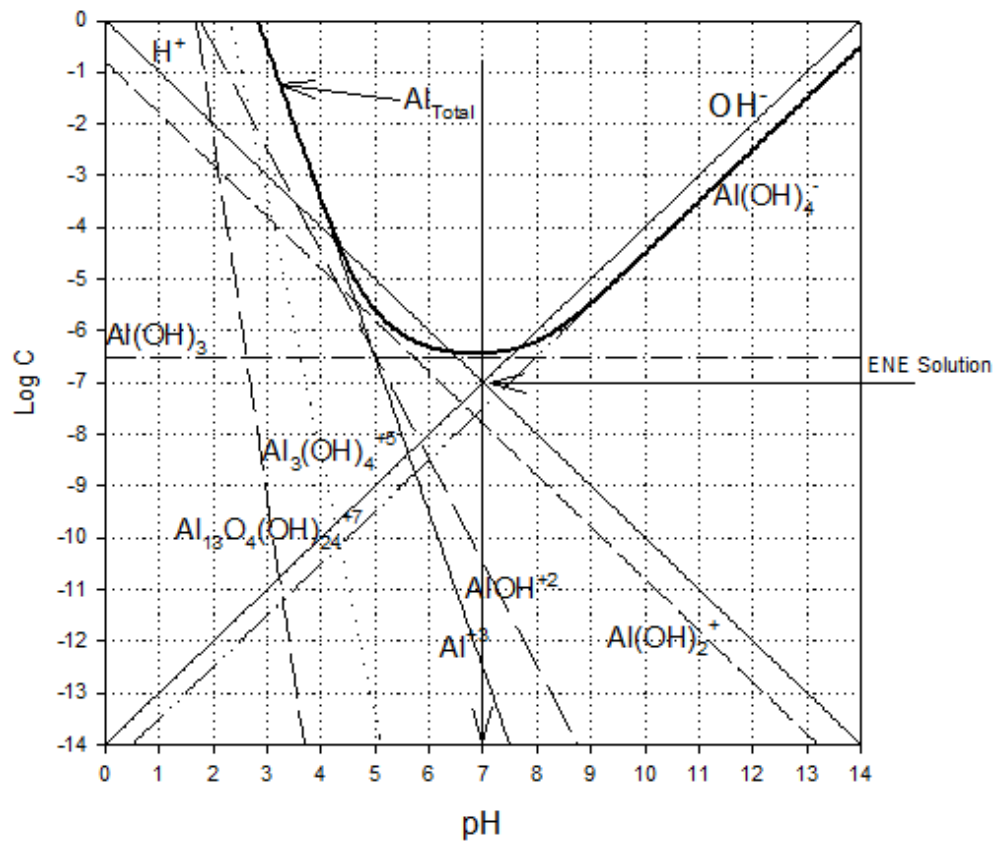
เมื่อเติมสารส้มในน้ำ อลูมิเนียมไอออนจาก $Al_2(SO_4)_3$ จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ ได้ $Al(H_2O)_6^{+3}$ หรือ Al^{+3} ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของ Al^{+3} จะเกิดขึ้นทันทีโดยไลแกนด์ (Ligands) ชนิดต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง OH^- จะเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex substance) ระหว่างอลูมิเนียมกับไฮดรอกไซด์ไอออน (Black และ Hannah, 1961) ดังสมการต่อไปนี้



ในกรณีที่ความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (Saturation Point) ไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไปจนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึก $Al(OH)_3$

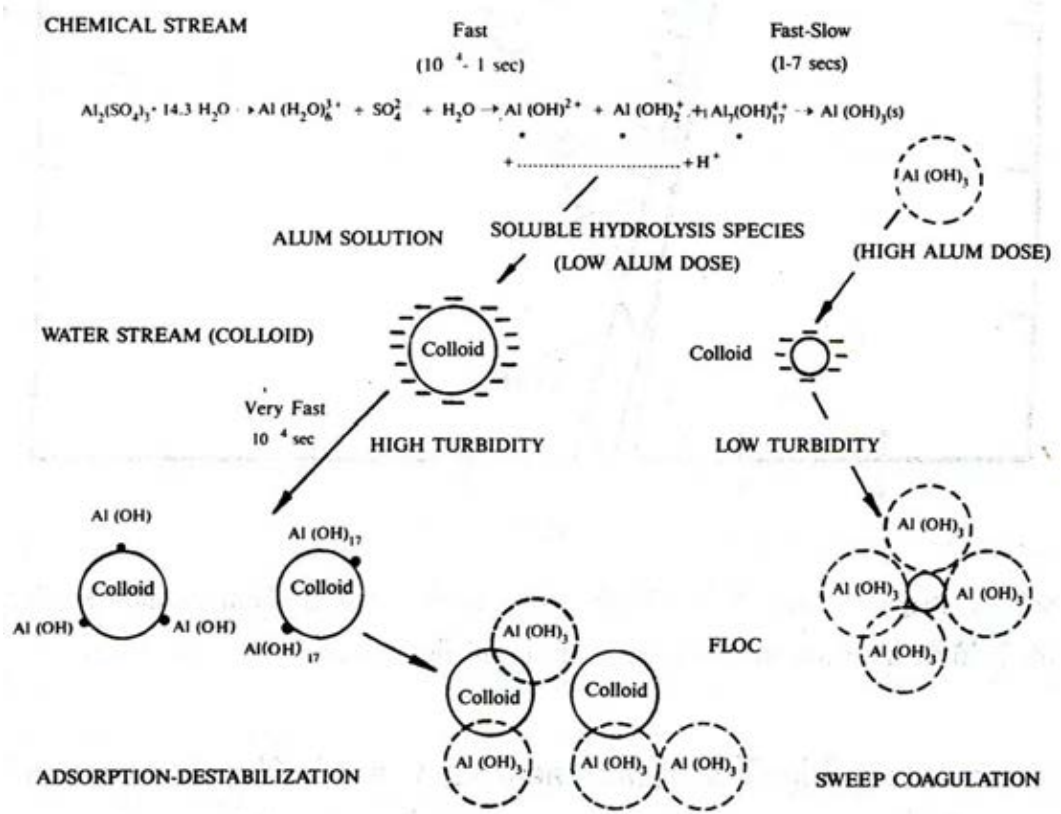


ผลของปฏิกิริยาที่จะเกิดการดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์คือสารคอมเพล็กซ์ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างไฮโดรไลซิสจาก Al^{+3} ถึง $Al(OH)_3$ สารคอมเพล็กซ์อาจมีประจุลบหรือบวกก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ กล่าวคือ ถ้าพีเอชของน้ำสูงกว่าจุดสะเทินทางไฟฟ้า (Zero Point of Charge) ของ $Al(OH)_3(s)$ จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบ เช่น $Al(OH)_4^-$, $Al(OH)_5^{2-}$ ถ้าพีเอชของน้ำต่ำกว่าจะเกิดการสะเทินทางไฟฟ้าของ $Al(OH)_3(s)$ ซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปในกระบวนการโคแอกกูเลชันจะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวกเช่น $Al(OH)^{+2}$, $Al(OH)_2^+$, $Al_7(OH)_{17}^{+4}$, $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$ (ภาพที่ 2.6) มั่นสิน ตันฑุลเวศม์ ที่กล่าวในหนังสือวิศวกรรมการประปา เล่ม 2 (2538)



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนสารส้มและค่าพีเอช (Amirtharajah และ Mills, 1982)

สารส้มที่เติมลงในน้ำจะเกิดการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ด้วยกลไกหลัก ดังนี้ (ภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.7 กลไกในการสร้างโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม (Amirtharajah และ Mills, 1982)

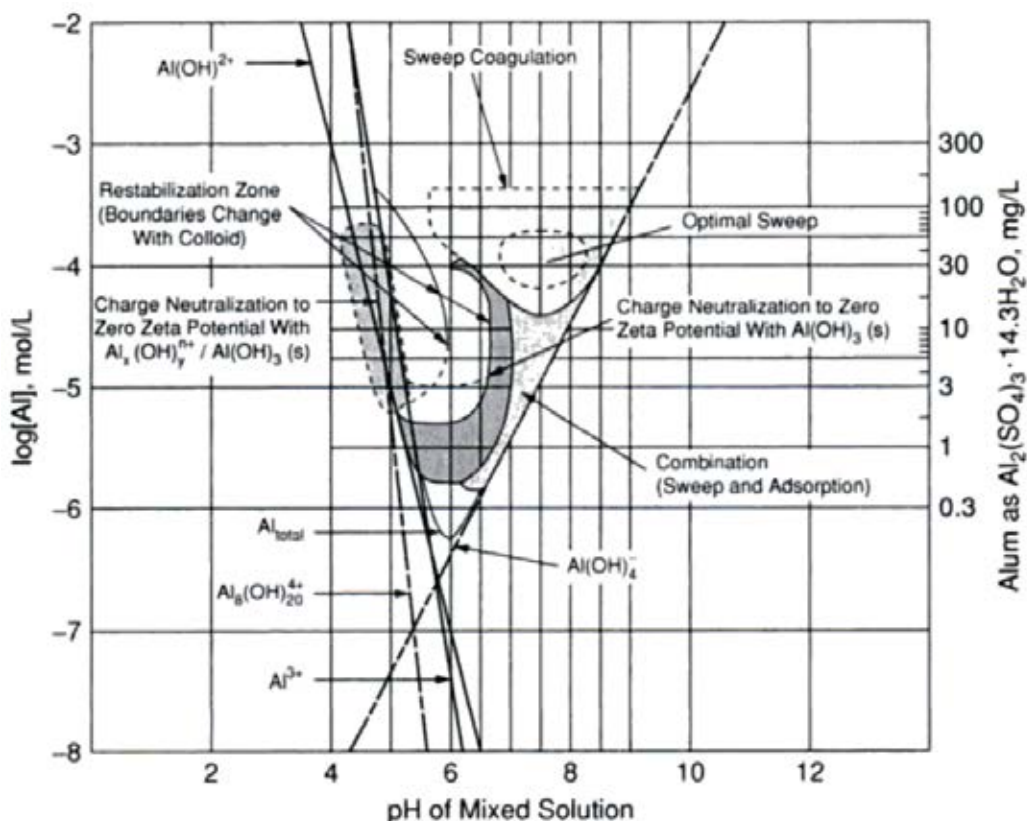
2.7.1 กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption and Charge Neutralization) เกิดจาก สารประกอบเชิงซ้อนสารส้มที่มีประจุบวก ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ซึ่งมักมีประจุเป็นลบให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นการสร้างโอกาสสัมผัสให้อนุภาครวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอน ด้วยน้ำหนักของอนุภาคเพียงลำพัง กลไกนี้มีช่วงความเหมาะสมที่แคบ ซึ่งจะควบคุมการทำงานให้ดีขึ้นยาก เพราะสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะต้องพอเหมาะเท่านั้น ถ้าหากมีปริมาณต่ำเกินไป โคแอกกูเลชันจะไม่เกิด แต่ถ้าสูงเกินไป สารประกอบเชิงซ้อนจะดูดติดผิวอนุภาคมากทำให้อนุภาคเปลี่ยนเป็นประจุบวกและเกิดเสถียรภาพขึ้นอีกแต่ตะกอนที่เกิดจากกลไกนี้สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย

2.7.2 กลไกแบบกวาด (Sweep Coagulation) ในกรณีความเข้มข้นของสารส้มเกินพอจนปฏิกิริยาดำเนินต่อไปจนได้ $Al(OH)_3$ ดังสมการที่ (5) การทำลายเสถียรภาพของอนุภาค

คอลลอยด์ด้วยกลไกนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมสารส้มเป็นจำนวนมากพอ จนมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว ซึ่งทำให้ผลึกของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาคและทำให้ผิวของอนุภาคมีความเหนียว ไม่แสดงอิทธิพลทางประจุไฟฟ้า จึงทำหน้าที่สร้างเป้าสัมผัสอนุภาค คอลลอยด์จนทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่และสามารถตกตะกอนได้เพียงลำพัง

2.7.3. กลไกโคแอกกูเลชันแบบร่วม (Combination Coagulation) เป็นการทำลายเสถียรภาพอนุภาค คอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุและแบบกวาด โดยที่ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองมีไม่เด่นชัด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณสารส้มเพิ่มสูงขึ้นกว่ากลไกการทำลายเสถียรภาพแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ แต่จะใช้ปริมาณสารส้มต่ำกว่ากลไกแบบกวาด

Amirtharajah และ Mills (1982) ได้รวบรวมผลการวิจัยเกี่ยวกับโคแอกกูเลชัน ด้วยสารส้มและนำมาวิเคราะห์ จึงเสนอหลักการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มในภาพที่ 2.8 ซึ่งจากภาพแสดงให้เห็นว่าโคแอกกูเลชันด้วยกลไกแบบกวาด จะได้ผลดีที่สุดที่พีเอช 6.8 ถึง 8.2

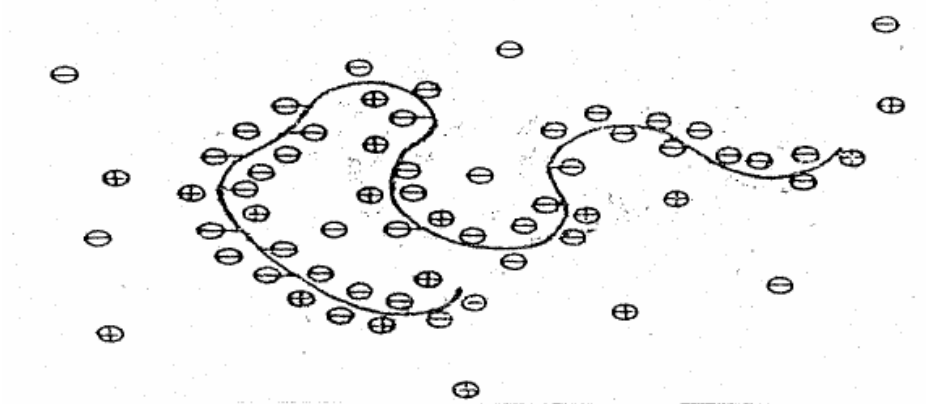


ภาพที่ 2.8 ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม (Amirtharajah และ Mills, 1982)

2.8 การใช้สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulation aid)

โพลีเมอร์สามารถแบ่งได้อย่างกว้างๆ 2 ชนิด คือ

1. โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส (Cellulose) เจลาติน (Gelatin) และแป้ง (Starch)
2. โพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ในปี ค.ศ.1979 ได้มีการสังเคราะห์โพลีเมอร์ขึ้นอย่าง สมบูรณ์ และนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง Polyacrylamide ที่สร้างขึ้นจาก monomer ที่รวมกันเป็น สายโซ่ยาวจำนวนโมเลกุลจะประกอบด้วยโมเลกุลในปริมาณเป็นล้านหน่วยในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 รูปร่างโพลีเมอร์ประกอบด้วยโมเลกุลในปริมาณล้านหน่วย (USEPA, 1984)

องค์ประกอบและรูปแบบทางด้านกายภาพของโพลีเมอร์มีรูปร่างเป็นโซ่ยาว (long chain) เป็นสารเคมีชนิดพิเศษ สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้อย่างสมบูรณ์จาก monomers หลายๆ อัน รวมกันหรือสามารถทำได้จากการเติมสารเคมีลงไปเพื่อเปลี่ยนประจุของ monomers ซึ่งเป็นตัว แบ่งประเภทของโพลีเมอร์ที่เกิดขึ้น ดังนั้น monomer จึงเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโพลีเมอร์ สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆคือ

- 1) Cationic Polymer มีประจุบวกบนส่วนของสารอินทรีย์ ระดับของประจุบนโพลีเมอร์ ขึ้นอยู่กับจำนวนอิออนของ nitrogen groups มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพตะกอนซึ่งมี ประจุลบ ตัวอย่าง Cationic Polymer เช่น polydialyldimethyl ammonium (PDADMA, cat-floc) สารรวมตะกอน polyacrylamide ประเภท cationic เตรียมได้โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสารเคมี ชนิด non-ionic-14 polyacrylamide หรือเป็นการรวม cationic monomer ด้วย acrylamide polymer ชนิด cationic polymer จะนิยมใช้ในงานปรับสภาพตะกอน เนื่องจากของแข็งในน้ำ ตะกอนสดนั้นมีประจุลบ

2) Anionic Polymer มีประจุลบบนส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ จำนวนประจุลบขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มของ acrylamide ที่ละลายอยู่ใน acrylic acid ชนิดของ anionic polymer เช่น polyacrylamide acid (PAA) , hydrolyzed polyacrylamide (HPAM) และ polystyrene sulfate (PSS) สารรวมตะกอน polyacrylamide ประเภท anionic มีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อละลายน้ำและทำให้เกิดกลุ่ม amide group (NH_2) หรือเกิดจากการรวมกลุ่มของ anionic monomer จนเป็น acrylamide polymer

3) Nonionic polymer ไม่ละลายน้ำแต่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมอนุภาคของตะกอนให้เกิดการรวมกลุ่มกันได้ดี ในทางปฏิบัติ nonionic polymer อาจเกิดจากการรวมกันของสารอินทรีย์โพลีเมอร์ inorganic polymer และสารอินทรีย์โพลีเมอร์ (organic polymer) ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของ ฟล็อก

โครงสร้างในรูปสารละลายของ สารอินทรีย์โพลีเมอร์เมื่อละลายน้ำจะเปลี่ยนเป็นสารละลาย ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความหนืด ค่าความหนืด (Viscosity) ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและระดับของประจุไฟฟ้าที่การเจือจางมาก ๆ โมเลกุลจะยืดแขนออก เพราะว่าผลของการผลัดจึงทำให้เกิดการประชิดตามความยาวของสายโพลีเมอร์ ที่ความเข้มข้นปกติ สายโซ่ที่ยาวของโพลีเมอร์จะพับ สันนิษฐานว่ามีรูปร่างคล้ายไส้ไก่ (ม้วนเป็นวง) อย่างไรก็ตามเนื่องจากความยาวของสายโมเลกุลของโพลีเมอร์ค่อนข้างยาวดังนั้นจึงไม่สามารถบอกตัวเลขของสายโพลีเมอร์ได้ทั้งหมดเมื่อโพลีเมอร์ละลายน้ำซึ่งประมาณโพลีเมอร์ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีสายโพลีเมอร์ประมาณ 120 ล้านสายต่อน้ำ 1 ลิตร

2.9 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นถ่านที่อยู่ในรูปของคาร์บอนอสัณฐานชนิดหนึ่ง (Amorphous carbon) แต่ถูกผลิตขึ้นมาโดยการกระตุ้น (Activated) ซึ่งจะเพิ่มพื้นที่ผิวภายใน (Internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก สำหรับดูดซับได้จำนวนมาก ซึ่งจะเกี่ยวพันโดยตรงกับขนาดและปริมาตรของรูพรุนที่มีอยู่

2.9.1 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

1) รูพรุน (pores) ผิวของถ่านกัมมันต์ มีลักษณะรูพรุนจำนวนมาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบ และมีความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของรูพรุนเหล่านี้เปรียบได้กับหลอดแก้วขนาดเล็ก (Capillary tube) ที่เสียบเข้าไปในเนื้อถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปจะเรียกรูพรุนเหล่านี้ตามขนาด คือ ขนาดเล็ก

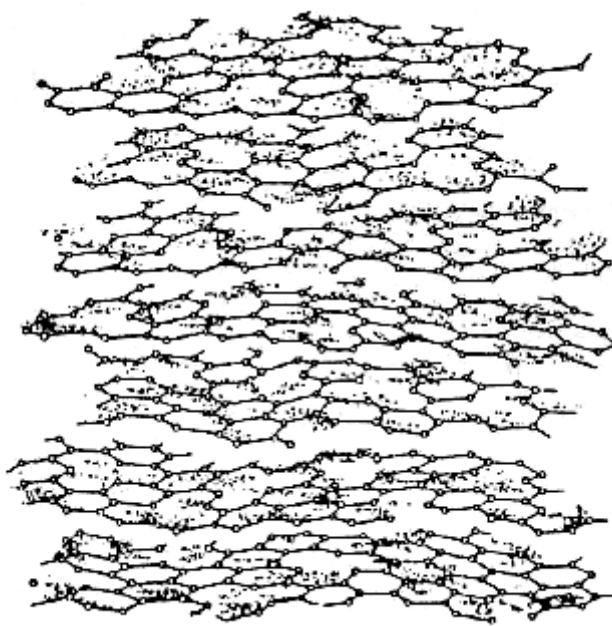
(micropore) มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร รูพรุนขนาดกลาง (mesopore) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ถึง 50 นาโนเมตร และรูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ และการกระจายขนาดรูพรุน (pore size ditribution) จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และวิธีการกระตุ้น รูพรุนที่มีขนาดใหญ่ จะทำหน้าที่เป็นเพียงทางผ่านของสารที่ถูกดูดซับเข้าไปยังรูพรุนขนาดเล็ก จึงไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ แต่จะมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับ สำหรับรูพรุนขนาดกลาง นั้น สามารถดูดซับโมเลกุลของเหลวได้บ้าง และมีความสำคัญมากขึ้นเมื่อดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์สูงๆ

โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้า จะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 2 ถึง 50 นาโนเมตร และมีพื้นที่รวมกันประมาณ 200-300 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กมีหน้าที่ในการดูดซับ จึงมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ โดยเฉพาะการดูดซับที่มีความดันสัมพัทธ์ต่ำ ถ่านกัมมันต์จะมีรูพรุนขนาดเล็กหรือขนาดเล็กกว่า 2 นาโนเมตร ประมาณร้อยละ 90-95 ของพื้นที่ทั้งหมด นอกจากนี้ ถ้าผิวของถ่านบริเวณนั้นเป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (Basal planes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดอื่นๆ การดูดซับจะเกิดจากแรงวานเดอร์วาลส์ หรืออาจเกิดจากพลังงานอิเล็กทรอนิกส์แรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดซับได้ แต่มีโอกาสที่จะหลุดออกแต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิด การดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรงโอกาสที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า หมู่ฟังก์ชันชนิดบนผิวของถ่านกัมมันต์มี 2 ชนิดคือ พวกออกไซด์ของกรด และพวกออกไซด์ของด่าง

2) พื้นที่ผิว (Surface Area) โดยปกติถ่านกัมมันต์ทั่วไปมีพื้นที่ผิวอยู่ระหว่าง 450-1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดมีพื้นที่ผิวแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวจริงที่ใช้ในการดูดซับขึ้นอยู่กับสารที่ถูกดูดซับ

3) โครงสร้างทางเคมี ถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ มักเตรียมจากถ่านที่ได้จากการเผาสารอินทรีย์ด้วยความร้อนให้สลายซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) ในระหว่างการเผาสลายอะตอมต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกไปในรูปของก๊าซ อะตอมของคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) เชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่างหรือโพรง ซึ่งจะเป็นที่อยู่ของทาร์ และสารอื่นที่ได้จากการเผาสลาย ช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับ ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การกระตุ้น โดยการล้างทาร์และสารต่างๆ ที่ได้

จากการเผาผลาญออกจากช่องว่าง หรือโพรง และสร้างหมู่ฟังก์ชันัลขึ้นมาแทนความ สามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ จึงเป็นผลสืบเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีด้วย ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างคล้ายผลึกกราไฟท์ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์แตกต่างจาก กราไฟท์เล็กน้อยในระหว่างกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ซึ่งโครงสร้างนี้เป็นไมโครคริสตัลไลต์ (Microcrystallites) ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนซึ่งจะวางตัวเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นจะห่างกัน ประมาณ 0.335 นาโนเมตร แรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นคือ แรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเป็นแรงที่ไม่ แข็งแรงมากนัก แต่ละชั้นจะประกอบไปด้วยกลุ่มอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม อะตอมแต่ละตัวจะใช้ซิกมาอิล็กตรอนสร้างพันธะเดียวกับอะตอมข้างเคียง 3 อะตอม ความยาว ภายในชั้นระหว่างอะตอมประมาณ 0.144 นาโนเมตร อิล็กตรอนที่เหลืออีกตัวหนึ่งเป็นไพ อิล็กตรอน ที่ใช้ในการสร้างพันธะที่ไม่อิ่มตัว คือ พันธะคู่ (double bond) ดังภาพที่ 2.10

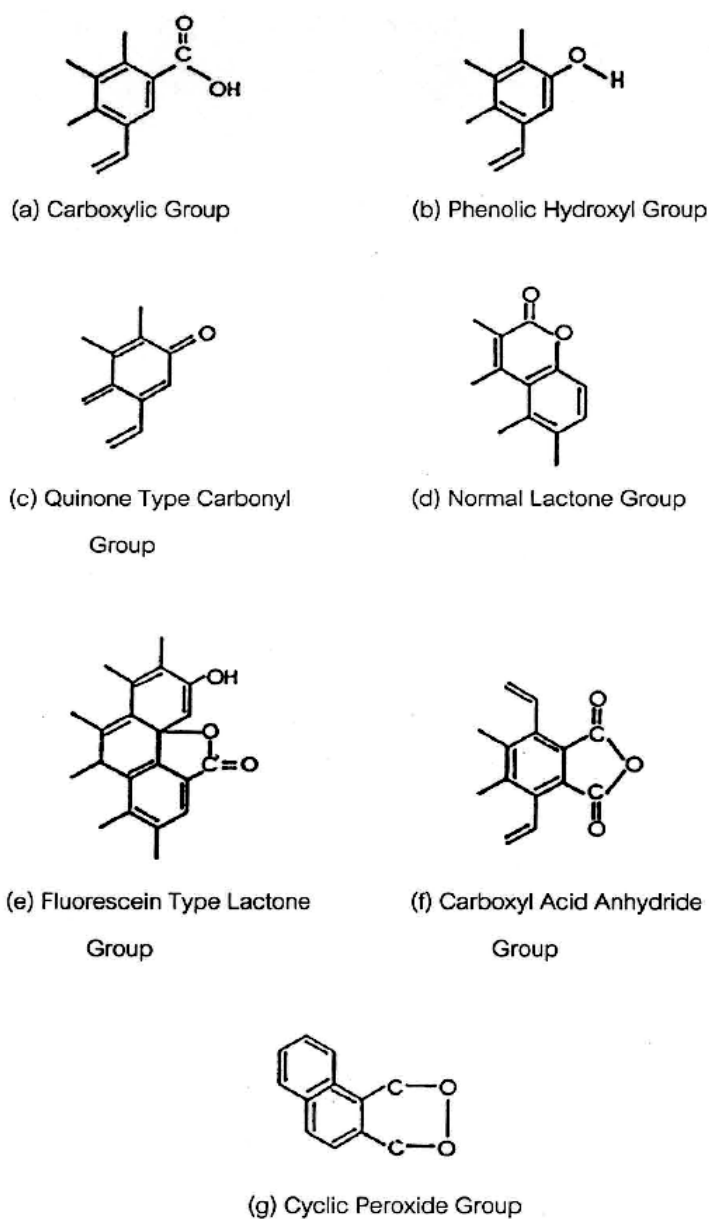


ภาพที่ 2.10 ลักษณะการแบ่งชั้นของโครงสร้างถ่านกัมมันต์ (Faust และ Aly, 1987)

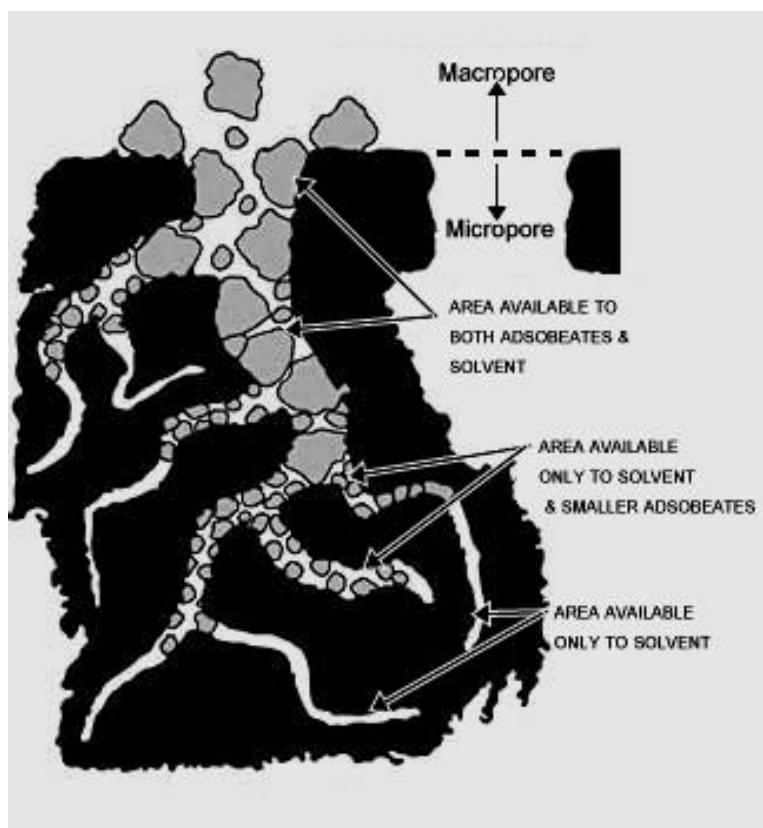
หมู่ฟังก์ชันัลที่พบบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ที่พบบ่อยๆ ได้แก่ Carboxylic groups, Phenolic hydroxyl groups, Quinone type carbonyl groups, Normal lactone groups, Fluorescein type groups, Carboxylic acid anhydride groups และ Cyclic peroxide group เป็นต้น ในภาพที่ 2.11

การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดสารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียบางส่วนที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายทางชีววิทยา ซึ่งอาจมีบางส่วนที่ก่อให้เกิดพิษรวมถึงกลิ่น รส และสีที่ไม่

สามารถกำจัดด้วยวิธีทั่วไปได้ สำหรับประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสียของ ถ่านกัมมันต์ขึ้นกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ปกติมีค่าพื้นที่ผิวอยู่ในช่วงประมาณ 500-1,400 ตารางเมตรต่อกรัมถ่านกัมมันต์ รวมถึงลักษณะทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์ซึ่งสัมพันธ์กับแรง ดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่นผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติเป็นต่างจะส่งผลต่อการดูดซับสีของ สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ไอ้มตัว กล่าวคือความสามารถในการดูดซับ จะขึ้นอยู่กับลักษณะของถ่าน และชนิดของสารที่จะถูกดูดซับร่วมกัน ลักษณะโดยทั่วไปของถ่านกัมมันต์ ดังภาพ 2.12



ภาพที่ 2.11 หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ (Cheremisinoff และ Ellerbusch, 1978)



ภาพที่ 2.12 ภาพตัดขวางถ่านกัมมันต์ (Cheremisinoff และ Ellerbusch, 1978)

โมเลกุลของสารละลายจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของถ่านกัมมันต์แล้วฟุ้งกระจายเข้าไปในรูพรุนขนาดใหญ่ จากนั้นจึงเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุนขนาดเล็ก หากโมเลกุลของสารละลายนั้นไม่ใหญ่กว่าขนาดรูพรุนขนาดเล็ก อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมด้วยอัตราการฟุ้งกระจายของโมเลกุลเข้าไปในรูพรุนของถ่าน โดยอัตราการดูดซับนี้จะแปรผันตามกำลังสองของเวลาสัมผัสระหว่างโมเลกุลของสิ่งสกปรกกับถ่านกัมมันต์ และความเข้มข้นของสิ่งสกปรกในน้ำเสียที่จะบำบัด (Metcalf และ Eddy, 1991)

2.9.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์ แบ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2547) ได้กำหนดชนิดของถ่านกัมมันต์ไว้ 2 ชนิดคือ

- 1) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon :PAC) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก
- 2) ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด(Granular Activated Carbon : GAC) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร แต่ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

2.9.3 การประเมินและการเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ ในการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จำเป็นที่จะต้องมีการเลือกถ่านที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง ตลอดจนความสะดวกในการควบคุมระบบ

สมบัติบางประการของถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวกำหนดการใช้งานได้แก่

- 1) พื้นที่ผิว (Surface Area) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับโดยถ่านที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการดูดซับมาก
- 2) ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการปรับคืนสภาพของถ่าน
- 3) ความหนาแน่นก้อน (Bulk Density) เป็นตัวกำหนดปริมาณของถ่านในแต่ละการใช้งาน
- 4) ขนาดใช้งาน (Effective Size) เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (Mean Particle diameter) และสัมประสิทธิ์ของความเสมอกัน (Uniformity Coefficient) เป็นตัวกำหนดภาวะทางชลศาสตร์ (Hydraulic Condition) ของถังดูดซับ (Adsorption Column)
- 5) ปริมาตรรูพรุน (Pore Volume) เป็นตัวกำหนดการดูดซับโมเลกุลของน้ำเสีย
- 6) แอบริชัน นัมเบอร์ (Abrasion Number) ใช้ในการประเมินความคงทนต่อการขัดสี
- 7) ปริมาณร้อยละของเถ้า (% Ash) แสดงถึงกากของถ่าน
- 8) ความชื้น (Moisture) แสดงปริมาณน้ำในถ่านจากการผลิต
- 9) ไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine Number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
- 10) โมลาสนัมเบอร์ (Molass Number) เป็นตัวกำหนดความสามารถของถ่านในการดูดซับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
- 11) ฟีนอลนัมเบอร์ (Phenol number) ใช้กำหนดความจุของการดูดซับ
- 12) ขนาดของรูพรุน (Pore Size) เป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับโมเลกุลจำเพาะบางชนิด

2.10 การดูดติดผิว (Adsorption)

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

การดูดติดผิวมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เนื่องจากสามารถใช้ดูดติดผิวโมเลกุลของสารอินทรีย์ ซึ่งถ่านกัมมันต์สามารถใช้ดูดติดผิวโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่น สี และสารพิษต่างๆ เช่น กรดไขมันของอูมิเนียมไฮดรอกไซด์และเพอร์ริกไฮดรอกไซด์ ที่เป็นของแข็งอันเกิดจากการรวมตัวระหว่างการทำโคแอกกูเลชัน จะดูดติดผิวสีซึ่งเกิดจากโมเลกุลและสารประกอบจากปฏิกิริยาของคลอรีนกับไตรฮาโลมีเทน หรือยาฆ่าแมลงที่ถูกดูดติดผิวในเม็ดดินเหนียว เป็นต้น (Frederick, 1990)

2.10.1 กลไกการดูดติดผิว (Adsorption Mechanism) การดูดติดผิวของสารประกอบอินทรีย์เกิดจากแรงรวมตัว (Binding Force) หลายชนิดระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยสามารถแบ่งการดูดติดผิวได้เป็น 2 แบบ คือ การดูดติดผิวทางกายภาพ (Physisorption - physical adsorption) และการดูดติดผิวทางเคมี (Chemisorption) การดูดติดผิวทั้ง 2 แบบนี้ เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลสารถูกดูดติดผิวเข้าไปใกล้และยึดติดกับผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของถ่านกัมมันต์ สามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิว ซึ่งความแตกต่างของการดูดติดผิวทางกายภาพและเคมี มีดังนี้

1) การดูดติดผิวทางกายภาพ จะทำให้เกิดการคายตัว (Desorption) ของโมเลกุลสารถูกดูดติดผิวได้ ซึ่งจะเกิดได้ทั้งการดูดติดผิวและการคายตัวในเวลาเดียวกัน แต่การดูดติดผิวทางเคมีจะหมายถึงการใช้พันธะทางเคมีในการยึดเหนี่ยวระหว่างถ่านกัมมันต์และสารถูกดูดติดผิวโดยที่โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวจะไม่สามารถแยกตัวออกไปได้อีก

2) การดูดติดผิวทางกายภาพจะไม่มีพื้นที่เฉพาะโมเลกุลสารถูกดูดติดผิวจะเป็นอิสระในการเข้าไปติดยังพื้นผิว พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดติดผิวสามารถวัดได้จากพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ในทางตรงข้าม การดูดติดผิวทางเคมีจะมีพื้นที่เฉพาะโมเลกุลที่ถูกดูดติดผิวทางเคมีจะมีพื้นที่ตายตัว

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

การดูดติดผิวทางเคมี มีลักษณะสำคัญที่เกิดปฏิกิริยาอันนำมาซึ่งความร้อนที่สูงจากพันธะทางเคมีที่เกิดขึ้น อาทิ การหมุนตัวของอิเล็กตรอน การเกิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และพันธะเคมีจากการรวมตัวของสารดูดติดผิวกับสารที่ถูกดูดติดผิว และเนื่องจากพันธะทางเคมีนี้ส่งผลให้เกิดอุณหภูมิที่สูงขึ้นด้วย

การดูดติดผิวทางกายภาพเป็นผลมาจากแรงวานเดอร์วาลส์ (Van der Waals Force) ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London Dispersion Force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force) โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวจะยึดติดกันทางกายภาพกับโมเลกุลของถ่านกัมมันต์ การดูดติดผิวแบบนี้เป็นการดูดติดผิวแบบหลายชั้น (Multilayers) กล่าวคือ แต่ละชั้นของโมเลกุลจะเกิดอยู่บนชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดติดก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิว หรือจำนวนชั้นของโมเลกุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดติดผิวเพิ่มขึ้น ดังนั้นการดูดติดผิวทางกายภาพจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญได้แก่ การจัดเรียงตัวของโมเลกุล (Orientation) การกระจายตัว (Dispersion) และการเหนี่ยวนำ (Induction) สำหรับโมเลกุลที่มีขั้วนั้น แรงดึงดูดจะเกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ซึ่งเป็นแรงดึงดูดที่เกิดจากโมเลกุลที่มีขั้วสองโมเลกุลคือ ขั้วลบของโมเลกุลหนึ่งดึงดูดกับขั้วบวกของอีกโมเลกุลหนึ่ง สำหรับโมเลกุลที่ไม่มีขั้วนั้นการดูดติดผิวจะเกิดแบบการกระจายตัวหรือเกิดการสั้นของอิเล็กตรอนรอบๆ นิวเคลียสของอะตอม ทำให้พลังงานของระบบลดลง ระบบจึงมีความเสถียรขึ้นทำให้โมเลกุลสามารถเข้ามาเกาะติดกันได้ (Faust และ Aly, 1987)

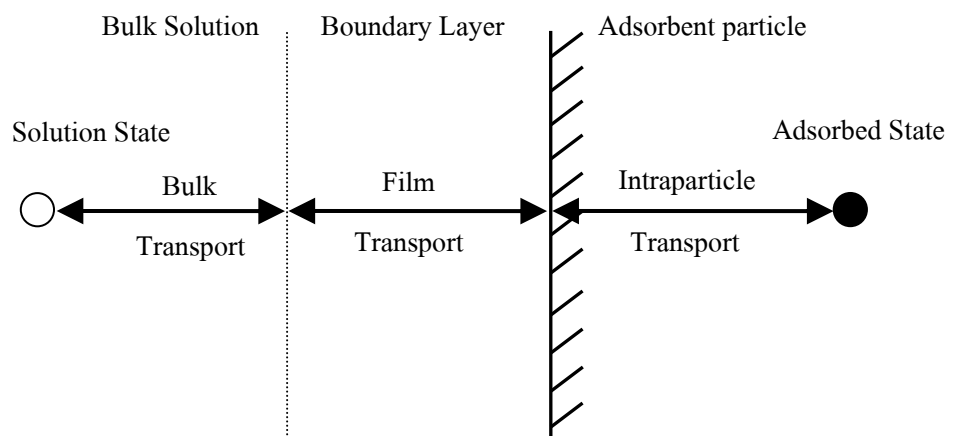
2.10.2 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecular Transfer) การดูดติดผิวของสารประกอบที่เป็นของเหลวเข้าไปยังถ่านกัมมันต์ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องรู้ถึงอัตราการดูดติดผิว เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบทั้งแบบแบทช์ (Batch Test) หรือแบบคอลัมน์ รวมไปถึงการทำแบบจำลองด้วย อัตราการดูดติดผิวที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น ขั้นตอนในการดูดติดผิวของสารจากสารละลายโดยถ่านกัมมันต์มี 3 ขั้นตอนที่เกิดอย่างต่อเนื่องกัน ดังนี้

1) การขนส่งทั้งก้อน (Bulk Transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวในน้ำจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ ที่ห่อหุ้มถ่านกัมมันต์ ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถเห็นถึงชั้นฟิล์มที่อยู่รอบๆ เม็ดคาร์บอน แต่สามารถอธิบายการต้านทานของมวลที่ถูกส่งไปยังพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้จากสมการ

$$K_f = D_e/\delta \quad (6)$$

เมื่อ K_f คือ สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของมวล
 D_e คือ พลังงานของสารถูกดูดติดผิวที่ใช้ในการเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวถ่าน
 แล้ว δ คือ ความหนาแน่นของชั้นของเหลว

2) การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยการแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดติดผิวขั้นตอนหนึ่งการขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle Transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลสารถูกดูดติดผิวเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ (Pore Diffusion) และทำให้เกิดการดูดติดผิวขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดติดผิวเช่นเดียวกัน การเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวมายังถ่านกัมมันต์ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ (Eckenfelder, 1981)

ขนาดของโมเลกุลที่ถูกดูดติดผิวและขนาดของถ่านกัมมันต์ มีส่วนสำคัญต่ออัตราการดูดติดผิว สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของสารถูกดูดติดผิวจะลดลงเมื่อขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น

ดังนั้นในการกำจัดโมเลกุลของสารฮิวมิก ซึ่งมีโมเลกุลใหญ่จะใช้เวลานานกว่าการกำจัดฟีนอลที่มีโมเลกุลเล็ก ในส่วนของถ่านกัมมันต์ ขนาดจะมีส่วนสำคัญเนื่องจากสามารถใช้เวลาในการเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนที่เหมาะสม ที่สามารถเกิดการดูดติดผิวได้

Randtke และ Snoeyink (1993) ได้ทำการทดลองโดยใช้ถ่านกัมมันต์ทำการดูดติดผิว ไดเมทิลฟีนอล (Dimethylphenol) ซึ่งเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กจะใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุล 8 วันสำหรับถ่านกัมมันต์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.4 มิลลิเมตร แต่ใช้เวลาเพียง 15 นาทีสำหรับถ่านกัมมันต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 44 ไมโครเมตร ดังตารางที่ 2.4 สำหรับโมเลกุลของสารขนาดใหญ่ เช่น กรดฮิวมิก จะใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลมากกว่า 1 ปี ในการดูดติดผิวโดยถ่านกัมมันต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.4 มิลลิเมตร และใช้เวลาเพียง 2 วัน สำหรับถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 44 ไมโครเมตร

ตารางที่ 2.4 เวลาที่ใช้ในการกำจัดสารบางชนิดโดยถ่านกัมมันต์ขนาดต่างๆ (Frederick, 1990)

Adsorbate	GAC (Mesh size)	Particle dia. (mm)	C ₀ (mg/l)	Time (days)
Dimethylphenol	8	3.380	90.67	7.70
	30	0.595	90.67	0.54
	325	0.044	90.67	0.01
Rhodamide	8	3.380	85.10	590
	30	0.595	85.10	37
	325	0.044	85.10	0.2
Peat fulvic acid	8	3.380	0.73	1,840
	30	0.595	0.73	115
	325	0.044	0.73	0.7
Humic acid	8	3.380	37.93	5,300
	30	0.595	37.93	333
	325	0.044	37.93	2.0

Frederick (1990) กล่าวถึงข้อสังเกตในการศึกษาอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุลดังนี้

- 1) ถ่านกัมมันต์แบบเม็ดสามารถถูกทำให้เป็นแบบผงได้ในการหาไอโซเทอม เนื่องจากทำให้เป็นผงจะไม่มีผลต่อพื้นที่ผิวรวมในการดูดติดผิว
- 2) ขนาดของถ่านกัมมันต์ที่เล็กเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียทางจลน์ และการสูญเสียระหว่างการฟื้นฟูสภาพ ควรนำมาพิจารณาเพื่อให้ได้ค่าทางจลศาสตร์ที่ดีที่สุด
- 3) ความสามารถในการดูดติดผิวของอนุภาคถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์ จะไม่ถูกใช้ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องมาจากระยะเวลาในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์มักจะไม่เพียงพอต่อการเข้าสู่สมดุล

2.10.3 ไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption Isotherm)

Valencia และ Gloyna (1972) ได้กล่าวถึงการออกแบบระบบดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ ว่ามีความจำเป็นที่ต้องทำการทดลองเพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ในขั้นการทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test) การทดลองเพื่อหาความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ทำได้หลายวิธี วิธีที่นิยมมากที่สุดคือ การหาไอโซเทอมการดูดติดผิว (Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดติดผิว คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดติดผิวกับความเข้มข้นของสารนั้นที่ยังเหลืออยู่ที่จุดสมดุลของการดูดติดผิว เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้รูปสมการอย่างง่าย แล้วสามารถนำมาวาดกราฟเพื่อวิเคราะห์หาค่าคงที่ต่างๆได้ ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการนำค่าคงที่นั้นมาออกแบบระบบดูดติดผิว ได้มีผู้วิเคราะห์ไอโซเทอมไว้ 3 กลุ่ม คือของ แลงมัวร์ BET และ ฟรูนดลิช ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองแลงมัวร์ที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model คือ พลังงานในการดูดติดผิวที่ค่าคงที่และไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของพื้นที่ผิว การดูดติดผิวจะเกิดเฉพาะที่ โมเลกุลเดียวโดยไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิว ซึ่งมีสมการดังนี้

$$X = (X_m b C_e) / (1 + b C_e) \quad (7)$$

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

X_m = ขีดจำกัดของการดูดติดผิว (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

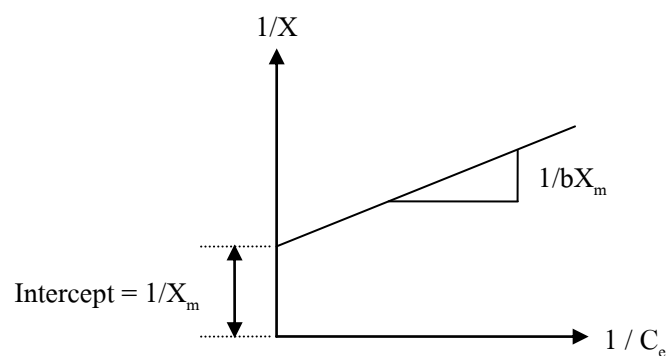
C_e = ความเข้มข้นสารถูกดูดติดผิวที่จุดสมดุล (มก./ล. หรือ โมล/ล.)

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดติดผิว

เปลี่ยนเป็นรูปของสมการเส้นตรงได้ดังสมการที่ (8)

$$1/X = (1/X_m) + (1/C_e)(1/bX_m) \quad (8)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/X$ กับ $1/C_e$ ซึ่งเป็นเส้นตรงจะมีความชัน $1/bX_m$ และ จุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m$ (ภาพที่ 2.14)



ภาพที่ 2.14 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ (Valencia และ Gloyna, 1972)

2) ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบ BET (Brunauer-Emmett-Teller Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมแบบ BET พัฒนามาจากไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ จากการดูดติดแบบชั้นเดียวเป็นการดูดติดแบบหลายชั้น (Multilayers) ซึ่งแบบจำลองของ BET มีพื้นฐานอยู่บนสมมติฐานที่ว่าแต่ละโมเลกุลในชั้นดูดติดผิวชั้นแรก เป็นบริเวณที่ซึ่งโมเลกุลชั้นที่สองเคลือบบนผิวของสารในลักษณะที่เป็นโมเลกุลหลายชั้น

$$X = (X_m b C_e) / (C_s - C_e) [1 + (b-1) C_e / C_s] \quad (9)$$

โดยที่ X = ปริมาณสารถูกดูดติดผิวต่อน้ำหนักสารดูดติดผิว (มล./ก. หรือ โมล/ก.)

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

C_e = ความเข้มข้นของสารถูกดูดติดผิวในสารละลายที่จุดสมดุล (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

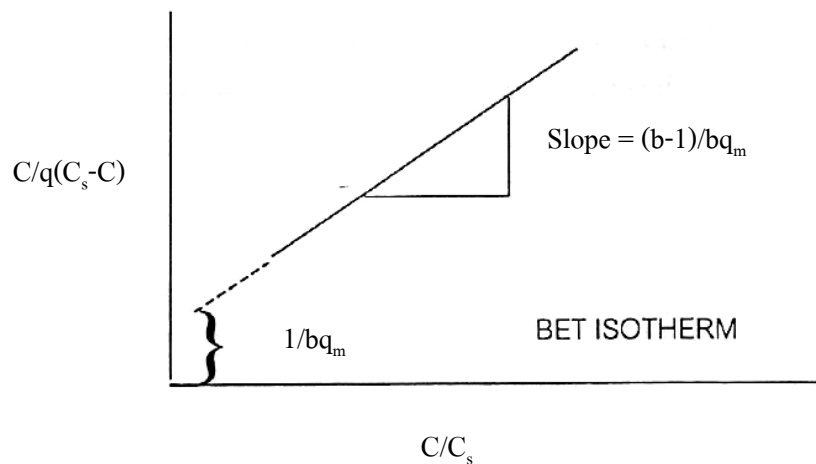
C_s = ความเข้มข้นสารถูกดูดติดผิวที่จุดอิ่มตัว (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดติดผิว

สมการ (9) เปลี่ยนรูปเป็นสมการเส้นตรงดังสมการ (10)

$$C_e/X(C_s - C_e) = (1/X_m b) + [(b-1)/X_m b] (C_e/C_s) \quad (10)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C_e/X(C_s - C_e)$ กับ (C_e/C_s) ได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน $[(b-1)/X_m b]$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m b$ (ภาพที่ 2.15)



ภาพที่ 2.15 ไอโซเทอมการดูดซับแบบ BET (Valencia และ Gloyna, 1972)

3) ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการการดูดซับแบบฟรอนด์ลิชใช้อย่างแพร่หลาย ในการอธิบายการดูดซับในในระบบของเหลว โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีสมการดังนี้

$$X/M = KC_e^{1/n} \quad (11)$$

โดยที่ X/M = ปริมาณสารถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักสารดูดซับ (มล./ก. หรือ โมล/ก.)

C_e = ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุล (มก./ก. หรือ โมล/ก.)

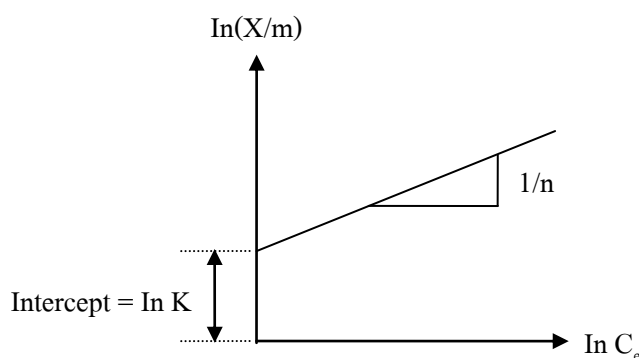
K = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ

$1/n$ = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

สมการ (11) สามารถเขียนในรูปแบบลอการิทึมได้เป็น

$$\log(X/M) = \log K + 1/n \log C_e \quad (12)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log(X/M)$ กับ $\log C_e$ จะเป็นเส้นตรง ซึ่งมีความชัน $1/n$ และ $\log K$ เป็นจุดตัดแกน y ของ $\log(X/M)$ ที่ $\log C_e = 0$ ($C_e = 1$) ดังภาพที่ 2.16 ซึ่งสมการของ ฟรอนดลิชบอกถึงความสามารถดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์โดย K แสดงถึงความจุดูดติดผิวและ $1/n$ แสดงถึงสภาวะการดูดติดผิวที่ความเข้มข้นนั้น โดยถ้าค่า $1/n$ มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงการดูดซับที่ไม่ดี แต่หากค่า $1/n$ มีค่ามากกว่า จะแสดงถึงการดูดซับที่ดี และหากเส้นกราฟมีความชันมาก แสดงว่าสารดูดซับนั้นสามารถเกิดการดูดซับได้ดีความเข้มข้นสูงๆ (Mihelcic, 1999)



ภาพที่ 2.16 ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรอนดลิช (Valencia และ Gloyna, 1972)

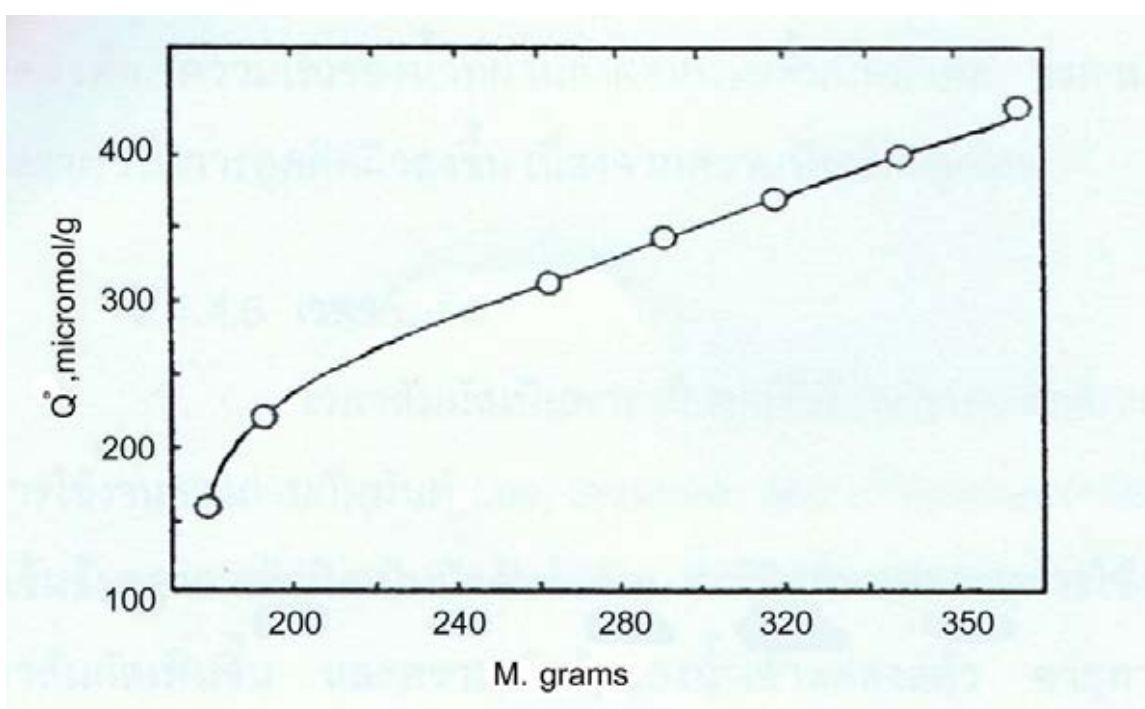
2.10.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดูดติดผิว

Weber (1972) , Lee, Snoeyink และ Crittenden (1983) ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดูดติดผิว โดยแยกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) ขนาดและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ความสามารถดูดติดผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ โดยอัตราการเคลื่อนที่ของสารถูกดูดติดผิวเข้าสู่รูพรุนของถ่านกัมมันต์ จะถูกควบคุมโดยชั้นของเหลวที่ห่อหุ้มโดยรอบถ่านกัมมันต์ ดังนั้นอัตราการดูดติดผิวจะมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านกัมมันต์ ในทางตรงกันข้าม ถ้าการเคลื่อนที่ภายในรูพรุนเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดติดผิว อัตราการดูดติดผิวจะเป็นสัดส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านกัมมันต์

2) ลักษณะของสารถูกดูดติดผิว ความสามารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดติดผิวเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดติดผิว การดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้น เมื่อความสามารถในการละลายน้ำ

ของสารถูกดูดติดผิวในตัวทำละลายลดลงน้ำได้ดีหรือแตกตัวเป็นไอออนได้ดีจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูงจึงเป็นการยากในการดูดติดผิวดังนั้น สารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถถูกดูดติดผิวได้ดี นอกจากความสามารถในการละลายแล้ว ขนาดโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวยังมีความสัมพันธ์กับการดูดติดผิวจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวละลาย ดังภาพที่ 2.17 อัตราการดูดติดผิวของ Sulfonate Alkylbenzenes ซึ่งมีขนาดโมเลกุลต่าง ๆ กัน โดยเมื่อน้ำหนักโมเลกุลมีขนาดมากขึ้นความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง เมื่อการเคลื่อนที่ภายในรูพรุนเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดติดผิว



ภาพที่ 2.17 ผลของน้ำหนักโมเลกุลในการดูดติดผิว (Weber, 1972)

3) พีเอช (pH) พีเอชมีอิทธิพลต่อการดูดติดผิวเนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) การดูดติดผิวมีผลมาจากพีเอชของสารละลายกับประจุบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ นอกจากนี้พีเอชยังมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออน และการละลายน้ำของสารต่างๆ อีกด้วย

4) อุณหภูมิ การดูดติดผิวโดยทั่วไปเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic) ดังนั้น ความสามารถในการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิ แต่อัตราเร็วในการดูดติดผิวจะลดลง ในทางตรงข้ามเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง โดยเปลี่ยน

ความสามารถในการละลาย เช่น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิซึ่งโดยปกติจะทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดูดติดผิวลดลง

5) ความปั่นป่วน ความเร็วในการดูดติดผิวขึ้นอยู่กับ การแพร่ภายนอก และการแพร่ภายในซึ่งขึ้นกับความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ชั้นฟิล์มของเหลวซึ่งล้อมรอบถ่านกัมมันต์จะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาถ่านกัมมันต์ ดังนั้นการแพร่ภายนอกเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ในทางตรงกันข้ามถ้าความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบางๆ ทำให้การแพร่ภายในเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ความปั่นป่วนในถังดูดติดผิวคือ ความเร็วของน้ำที่ผ่านถังต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด ซึ่งตามทฤษฎีถ้าเพิ่มความเร็วจะทำให้อัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงขึ้น เนื่องจากความปั่นป่วนสูงขึ้น

6) เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดติดผิวและอายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์ เวลาสัมผัสและความเข้มข้นของสารอินทรีย์เป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์โดยถ้าเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของน้ำเข้าลดลงแล้ว อายุการใช้งานของชั้นถ่านกัมมันต์จะนานขึ้น เวลาสัมผัสที่ใช้การลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์อื่น เช่น พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดติดผิว ลักษณะขนาดรูพรุน ชนิดและขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดติดผิวในสารละลาย และชนิดของถ่านกัมมันต์ เป็นต้น

7) 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), สารอินทรีย์ที่ละลายกรด (Acid-Soluble Inorganics) เป็นต้น

2.11 การฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ (Regeneration)

เมื่อถ่านกัมมันต์ถูกใช้งานไปเป็นเวลานาน ๆ รูพรุนของถ่านจะถูกอุดตันด้วยโมเลกุลของสิ่งสกปรก ทำให้ถ่านหมดประสิทธิภาพในการดูดติดผิว เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีราคาค่อนข้างสูงดังนั้นเพื่อที่จะลดราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดจะต้องนำถ่านดูดติดผิวที่หมดประสิทธิภาพ (Exhausted Carbon) มาฟื้นฟูเพื่อสามารถนำกลับมาใช้งานอีก การฟื้นฟูถ่านกัมมันต์โดยการนำถ่านไปกำจัดโมเลกุลของสิ่งสกปรกที่อุดอยู่ในรูของถ่านกัมมันต์อาจทำได้หลายวิธี ได้แก่ (Yehaskel, 1978)

1) การใช้ความร้อนในการฟื้นฟูสภาพ (Thermal Reactivation) วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก ถ่านกัมมันต์ที่หมดประสิทธิภาพแล้วจะรวมกับน้ำมีลักษณะขุ่น (Slurry) นำเข้ามาในระบบฟื้นฟูคุณภาพ หลังจากนั้นทำการแยกน้ำ (Dewater) ออกจากถ่านกัมมันต์ แล้วส่งเข้าเตาเผาที่เรียกว่า Multiple Hearth Furnace หรือ Rotary Kiln ทำการเผาที่อุณหภูมิ 870-980 องศาเซลเซียส ระหว่างนี้ถ่านจะถูกทำให้แห้ง และการเผาไหม้จะทำให้โมเลกุลของสิ่งสกปรกที่เป็นสารอินทรีย์บนผิวหน้า และในรูพรุนของเม็ดถ่านระเหยเป็นไอและถูกเผาผลาญตัวไป ในขั้นตอนการเผาจำเป็นต้องควบคุมปริมาณออกซิเจนเพื่อให้ความร้อนทำลายโมเลกุลของสิ่งสกปรกที่ติดผิวถ่าน แต่ไม่ทำลายเนื้อถ่าน (Cheremisinoff และ Ellerbusch, 1978) หลังจากนั้นถ่านกัมมันต์ที่ร้อนจัดจะถูกทำให้เย็นโดยจุ่มลงในน้ำ (Quenching) แล้วนำไปล้างแยกเศษผงถ่านออก แล้วจึงสูบไปเก็บไว้หรือนำกลับไปใช้งาน การฟื้นฟูสภาพของถ่านกัมมันต์จะใช้เวลาประมาณ 30 นาที และสิ้นเปลืองพลังงานประมาณ 4,000-5,000 บีทียูต่อถ่านหนึ่งปอนด์ ในแต่ละขั้นตอนถ่านจะสูญหายไปประมาณร้อยละ 4-9

2) การใช้ด่างในการฟื้นฟูสภาพ (Alkaline Regeneration) วิธีนี้นิยมใช้กับสารถูกดูดติดผิวหรือสภาวะที่ใช้ในการดูดติดผิวที่เป็นกรด

3) การใช้กรดในการฟื้นฟูสภาพ (Acid Regeneration) วิธีนี้นิยมใช้กับสารถูกดูดติดผิวหรือสภาวะที่ใช้ในการดูดติดผิวที่เป็นด่าง

4) การใช้ตัวทำละลายในการฟื้นฟูสภาพ (Solvent Regeneration) วิธีนี้นิยมใช้กับสารถูกดูดติดผิวกลุ่มสารอินทรีย์

5) การใช้ไอน้ำในการฟื้นฟูสภาพ (Steam Regeneration) วิธีนี้นิยมใช้กับสารถูกดูดติดผิวที่เป็นไอได้ง่าย

6) การฟื้นฟูสภาพโดยวิธีทางเคมี (Biological Regeneration) วิธีนี้นิยมใช้กับสารถูกดูดติดผิวที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ เช่น สารอินทรีย์

2.12 การวัดสีน้ำชะขยะ

โดยทั่วไปการวัดความเข้มข้นสีของน้ำตัวอย่างน้ำจะวัดความเข้มสีในรูปของสีจริงซึ่งเป็นการวัดสีที่กำจัดเอาสารแขวนลอยออกแล้ว การกำจัดสารแขวนลอยที่ใช้กันมี 2 วิธีคือ

1) วิธีการกรอง (Filtration System) โดยการกรองผ่านกระดาษกรอง Glass Fiber GF/C (ขนาดรูพรุน 1.2 ไมครอน)

2) วิธีการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge System) โดยการหมุนเหวี่ยงที่ 1,000 รอบ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เนื่องจากสีของน้ำจะขึ้นกับความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำอย่างมาก โดยที่สีของน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของน้ำเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปเมื่อวัดสีของน้ำแล้วมักจะรายงานผลการตรวจวัดสี พร้อมกลับรายงานพีเอชของน้ำนั้นไว้ด้วย อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติโดยทั่วไปมักจะตรวจวัด ความเข้มสีของตัวอย่างน้ำโดยกำหนดหลักเกณฑ์การวัดสีไว้ดังนี้ คือ

- 1) วัดความเข้ม ณ สีอุณหภูมิห้อง
- 2) วัดความเข้มสีที่สภาพตัวอย่างน้ำที่เป็นอยู่ โดยแสดงพีเอชของน้ำตัวอย่างน้ำ ขณะตรวจวัดสีไว้ในรายงานผลความเข้มสี

- 3) วัดความเข้มสีของน้ำตัวอย่างที่ปรับสภาพแล้วโดยการปรับพีเอชของน้ำ ตัวอย่างน้ำโดยให้ได้เท่ากับค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 7.6 (APHA,1998)

การวัดสีในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น วัดโดยหน่วยซิลิกา (Silica Scale Method) วัดโดย หน่วยแพลทตินัม-โคบอลต์ (Platinum-Cobalt Method), วัดโดยหน่วยโลวิบอนด์ (Lovibond Method) หรือวัดโดยหน่วยเอดีเอ็มไอ (ADMI Method ; ADMI = American Dye Manufacturing Institute) เนื่องจากสีของน้ำชะขยะเกิดจากสารประกอบอินทรีย์ เป็นสารอินทรีย์เชิงซ้อน มักจะมีสี เหลืองหรือน้ำตาล ซึ่งการวัดสีของน้ำที่เกิดจากสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ นั้น เหมาะที่จะใช้วิธีวัด สีในหน่วยแพลทตินัม-โคบอลต์ (ASTM,2000) โดยสีมาตรฐานที่ใช้จะเตรียมมาจากสารละลาย มาตรฐานแพลทตินัม-โคบอลต์ สีที่มีความเข้มข้น 1 หน่วยแพลทตินัม-โคบอลต์ จะเกิดจาก สารละลายมาตรฐานแพลทตินัมจำนวน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของคลอโรแพททิเนท (Chlorophotinate Ion) ซึ่งสีมาตรฐานที่เตรียมได้จะมีสีเหลืองใกล้เคียงกับสีของน้ำชะขยะ

2.12 งานวิจัยที่ผ่านมา

Cheasavathi (1992) ศึกษาการกำจัดสี ซีไอดีและแมงกานีสจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อม ยีนส์โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยอลูมิเนียมซัลเฟต โซเดียมอลูมิเนตและสารช่วย ตกตะกอนชนิด Nonionic พบว่าใช้อลูมิเนียมซัลเฟต 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH = 7 กำจัดสีร้อยละ 89.5 ความขุ่นร้อยละ 84.1 ซีไอดีร้อยละ 35.4 แมงกานีสร้อยละ 25.8 แต่ถ้าหากเพิ่มโซเดียม อลูมิเนต 30 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีเป็นร้อยละ 93.5 ความขุ่นร้อยละ 89.9 ซีไอดีร้อยละ 38.2 และแมงกานีสร้อยละ 36.6 ยิ่งไปกว่านั้นประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้น โดยสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 98.0 ความขุ่นร้อยละ 96.6 ซีไอดีร้อยละ 37.2 และแมงกานีสร้อยละ

29.7 เมื่อใช้โพลีเมอร์ ชนิด nonionic ปริมาณ 3 มก./ล. ร่วมด้วย เวลาที่ใช้ในการผสมเป็นดังนี้ 3 นาทีในการกวนเร็ว (100 รอบต่อนาที) 30 นาทีในการกวนช้า (40 รอบต่อนาที) และ 30 นาทีในการทิ้งไว้ให้ตกตะกอน

Kawamura และ Jenkins (1976) รายงานว่าการที่นำโพลีเมอร์ที่ชนิดประจุบวก ประจุลบ และไม่มีประจุมาใช้เป็นสารสร้างตะกอนหรือสารช่วยเร่งให้ตกตะกอนกันอย่างมากเนื่องจากการใช้โพลีเมอร์จะช่วยลดปริมาตรตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำได้ ทำให้ได้กลุ่มตะกอนที่มีขนาดเล็กและแน่น (dense floc) ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนที่เกิดจากการใช้สารส้มหรือเกลือเฟอริกคลอไรด์ ทำให้เกิดกลุ่มตะกอนที่รวดเร็วมากกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กเป็นสารสร้างตะกอน สะดวกในการใช้งาน ไม่มีความเป็นพิษและอันตรายต่อผู้ใช้ สามารถทำลายหรือลดสภาพความเป็นต่างน้อยกว่าการใช้สารส้มหรือเกลือของเหล็กในการสร้างตะกอน ทำให้สารเคมีบางชนิด เช่น ซัลเฟต ตกค้างในน้ำในปริมาณที่น้อย

Kurniawan, Lo และ Chan (2006) ศึกษาการกำจัดซีโอดีและแอมโมเนียในน้ำชะขยะมูลฝอย NENT ในเมืองฮ่องกง โดยใช้โอโซนร่วมกับถ่านกัมมันต์ โดยน้ำชะขยะมูลฝอยจะถูกป้อนเข้าถังดูดติดผิวที่บรรจุถ่านกัมมันต์แบบไหลขึ้นอย่างต่อเนื่อง และถูกออกซิไดซ์ด้วยโอโซนบริเวณผิวหน้าด้านบนของชั้นถ่านกัมมันต์ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นและพีเอชอย่างเหมาะสม พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีได้ ร้อยละ 86 และแอมโมเนียได้ร้อยละ 92 หากใช้การออกซิไดซ์ด้วยโอโซนเพียงอย่างเดียวสามารถกำจัดซีโอดีร้อยละ 35 และแอมโมเนียร้อยละ 50 ซึ่งมีความเข้มข้นของซีโอดีและแอมโมเนียเริ่มต้น เท่ากับ 8,000 และ 2,620 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของซีโอดีและแอมโมเนียในน้ำที่ออกจากระบบ ยังเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นจึงควรมีการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยขั้นต้นก่อนด้วยการบำบัดด้วยโอโซนร่วมกับถ่านกัมมันต์

Luhadia, Kaushik และ Murthy (2003) ศึกษาการบำบัดสีและซีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยใช้ ถ่านกัมมันต์ที่ขายเป็นการค้า เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากซีลีอและกะลามะพร้าวซึ่งถูกกระตุ้นทางเคมีด้วย $ZnCl_2$ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ขายเป็นการค้าให้ค่าความจุการดูดซับสีและซีโอดีได้ดีกว่า อีกทั้งถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากวัสดุทั้งสองชนิดดังกล่าว ต้องใช้สารเคมีจำนวนมากในการกระตุ้น

Marco และคณะ (2007) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพบำบัดน้ำเสียอินทรีย์จาก 5 แหล่งน้ำเสียในประเทศอิตาลีคือ Cuma ,Nola ,S.Giovanni ,Marcianese และ University pilot plant มาทำการบำบัดด้วยกระบวนการตกตะกอนโดยใช้สารส้ม โดยใช้ความเร็วในรอบ 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที สำหรับการกวนเร็วและความเร็ว 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที สำหรับการกวนช้า ณ สภาวะอุณหภูมิห้อง โดยใช้ปริมาณสารส้มเท่ากับ 150 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 450 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 4 – 10 พบว่าที่ปริมาณสารส้ม 150 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถกำจัด ซีโอดี ได้ถึงร้อยละ 80 ในช่วงพีเอชที่ 6.0 – 8.0 ในแหล่งน้ำเสีย Nola และ S.Giovanni ในขณะที่แหล่งน้ำเสีย Marcianese ซึ่งมีปริมาณ ซีโอดี ไม่ต่างจากแหล่ง Nola มากนักกลับมีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี และ TSS ของน้ำเสียระหว่างปริมาณสารส้ม 150 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 450 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่ต่างกันมากนัก คือร้อยละ 55 ถึง 75-85 ในขณะนั้นไป ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี และ TSS ของน้ำเสีย จะแตกต่างกันไปในแต่ละพีเอชและปริมาณสารส้มโดยค่าทั้งสองนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันในทุกสภาวะการทดลอง

Morrow และ Rausch (1974) รายงานว่าโพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) สามารถใช้เป็นสารสร้างตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic coagulants) ให้แก่น้ำดิบที่มีความขุ่นสูงและต่ำได้เมื่อใช้ค่า G ในการกวนเร็วกว่า 400 วินาที⁻¹ ทำให้ได้ตะกอนที่มีปริมาตรต่ำจึงง่ายต่อการนำไปกำจัด นอกจากนี้ตะกอนที่เกิดขึ้นจะหนัก และมีความหนาแน่นมากกว่าตะกอนที่เกิดขึ้นจากการใช้สารสร้างตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์จึงทำให้การตกตะกอนและการรวมตัวกันของตะกอนดีกว่า แต่ในการใช้โพลีเมอร์ในการกำจัดสีจะไม่ได้ผลที่ดีพอและค่าความเป็นต่าง ความกระด้าง พีเอช และอุณหภูมิจะไม่มีผลต่อการทำงานของโพลีเมอร์

Satyawali และ Balakrishnan (2007) การทดลองนี้ได้ทดสอบตัวอย่างคาร์บอน 19 ซึ่งเตรียมโดยกรดและใช้ความร้อนในการกระตุ้นทำให้เป็นกาก เติร์มจากชานอ้อย แ่้าลอยชานอ้อย ซีลี้อย ซี้เ้าจากต้นไม้ และข้าวเปลือก สำหรับการกำจัดสี น้ำกากส่า ถ่านชานอ้อยที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก B (PH) แสดงการกำจัดสีได้สูงสุดร้อยละ 50 อย่างไรก็ตาม ถ่านกัมมันต์ทางการค้า AC (ME) และ AC (LB) สามารถกำจัดสีได้ดีกว่า โดยกำจัดสีได้มากกว่าร้อยละ 80 นอกจากนี้การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิว melanoidins อันเป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดสีน้ำกากส่าแสดงให้เห็นว่าไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ มีความเหมาะสมในการที่จะนำมาทำนายกลไกของการกำจัดสีน้ำกากส่า

จักริน นักรไ้ (2549) ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบมูลฝอยเทศบาลตำบลแสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเม็ดมะขามและถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองพบว่า ที่พีเอช 8 และเวลาสัมผัส 90 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำชะขยะมูลฝอยเท่ากับร้อยละ 58.69 และ 61.78 ตามลำดับ และผลของการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์เม็ดมะขามโดยการล้างด้วยกรดอะซิติก (CH_3COOH) เข้มข้นร้อยละ 5 พบว่ามีประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพครั้งแรก เท่ากับร้อยละ 90.67 และครั้งที่สอง เท่ากับร้อยละ 82.02 และครั้งที่สาม เท่ากับร้อยละ 74.69 ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์ มีประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพครั้งแรก เท่ากับร้อยละ 95.47 และครั้งที่สอง เท่ากับร้อยละ 89.32 และครั้งที่สาม เท่ากับร้อยละ 82.78 ตามลำดับ

สัญญาวัล อิงคภาคย์ (2539) ศึกษาประสิทธิภาพของการลดซีไอดี และสีออกจากน้ำชะขยะมูลฝอยจากแหล่งฝังกลบขยะในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ ผลการทดลองพบว่าถ่านไม้ และถ่านแกลบไม่มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม เนื่องจากความสามารถในการดูดติดผิวซีไอดี และสีต่ำ ส่วนถ่านกัมมันต์มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม โดยประสิทธิภาพของการลดซีไอดี และสีอยู่ในช่วงร้อยละ 78-89 และ 37-96 ตามลำดับ

จากที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดซีไอดีและสีของน้ำเสียหลายชนิด โดยวิธีการทางกายภาพและเคมี เช่นการตกตะกอนโดยใช้สารส้มและมีโพลีเมอร์เป็นตัวช่วยในการตกตะกอน รวมทั้งการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวน้ำเสีย โดยทั้งสองวิธีนี้มีความสามารถในการบำบัดที่ดีและง่ายต่อการกำจัดของเสีย จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเอาแนวทางนี้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้โดยใช้น้ำเสียจากน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตราย มาผ่านการตกตะกอนโดยใช้สารส้มร่วมกับโพลีเมอร์ในการกำจัดซีไอดีและสีของน้ำชะขยะ และนำไปผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เพื่อกำจัดสีและซีไอดีที่เหลือให้ออกจากน้ำ

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้สารส้มร่วมกับสารโพลิเมอร์ช่วยในการตกตะกอนของน้ำชะขยะเพื่อลดค่าซีไอดี และใช้ถ่านกัมมันต์ ในการดูดสี โดยมีขั้นตอนทั้งหมด 4 ขั้นตอนในภาพที่ 3.1

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะโดยมีพารามิเตอร์ในการวัดดังต่อไปนี้

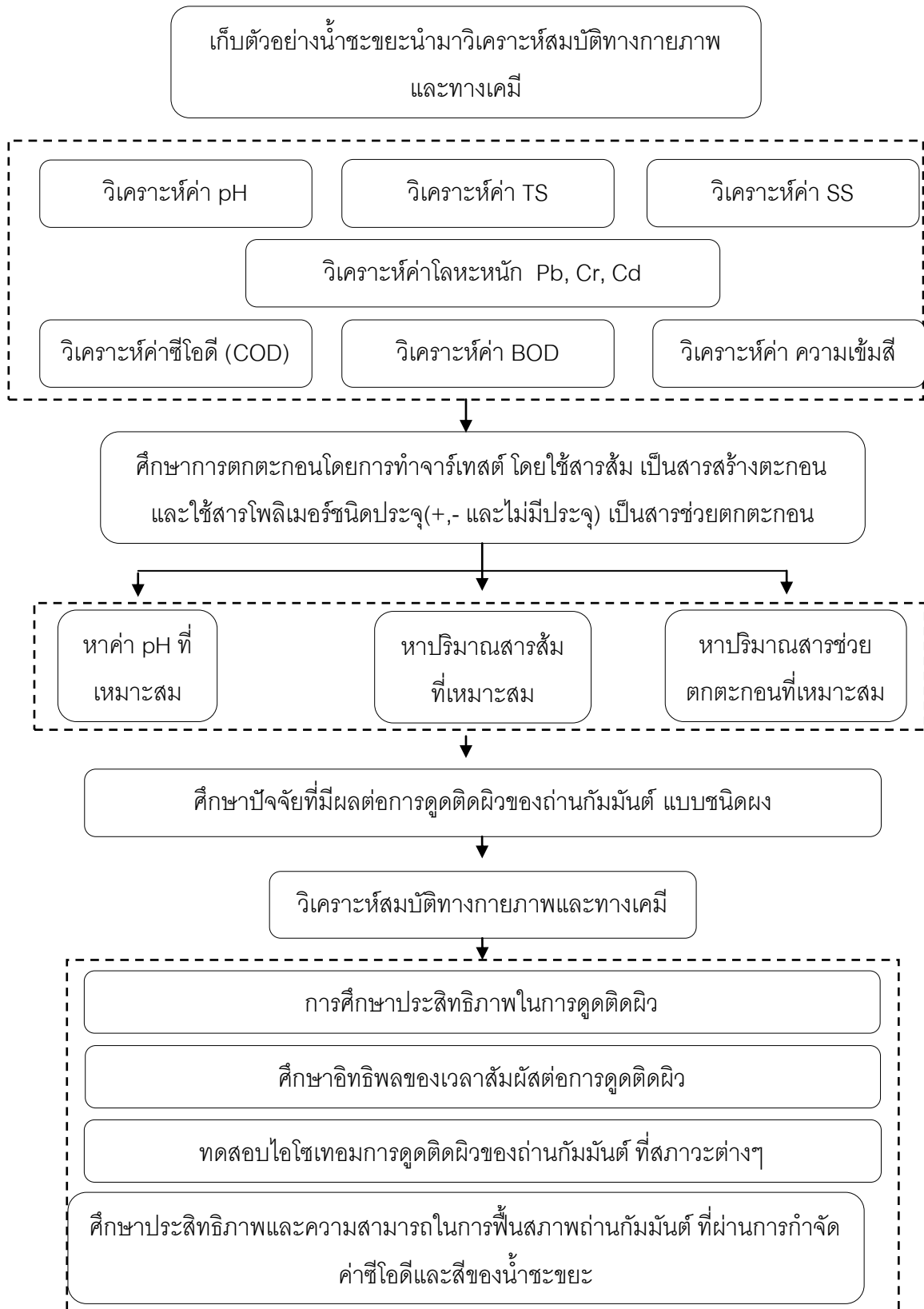
- 1) Chemical Oxygen Demand (COD)
- 2) Biochemical Oxygen Demand (BOD)
- 3) Total Solids (TS)
- 4) Suspended Solids (SS)
- 5) ค่าความเข้มข้นในหน่วยของแพลทตินัมโคบอลต์ (Pt.Co unit)
- 6) ค่าปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม และปริมาณโครเมียมทั้งหมด) ด้วยเทคนิค

Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการตกตะกอนโดยการทำการเจือสี โดยการใส่สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลิเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน โดยทำการศึกษาค่าพีเอช ปริมาณสารส้ม และปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำชะขยะ

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ โดยทำการศึกษา อิทธิผลของค่าพีเอช กับเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิว และทดลองไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบพุนดลิช และแลงมัวร์

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์หลังจากทำการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับแล้วด้วยวิธีการผ่านสารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH) เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปหาประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพ



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะ

เก็บน้ำชะขยะ นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี โดยพารามิเตอร์ และวิธีวิเคราะห์ดังนี้ (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	No. Standard Methods
ค่า pH	วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง pH meter	-
ค่าซีโอดี	วิเคราะห์โดยวิธี Closed Reflux Titrimetric Method	5520C
ค่าความเข้มข้นสี	วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ในหน่วย Pt.Co unit	2120C
ค่า TS	วิเคราะห์หาปริมาณสาร ที่เหลือยู่ในภาชนะหลังจากระเหยน้ำออก จากน้ำตัวอย่างจนหมดแล้วในภาชนะไปอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส (°C) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	2540B
ค่า SS	วิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอย ที่สามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรอง และอบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส (°C) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	2540D
ค่า บีไอดี	วิเคราะห์โดยใช้วิธี Azide Modification of Iodometric Method	5210B
ค่าปริมาณโลหะ หนัก Pb, Cr, Cd(total)	วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)	3500

3.2.2 การศึกษาการตกตะกอนโดยการทำการทดสอบโดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลิเมอร์เป็นสารช่วยสร้างตะกอน

3.2.2.1 ศึกษาหาปริมาณสารส้มเบื้องต้นเพื่อใช้ในการตกตะกอนน้ำชะขยะ

1) นำน้ำตัวอย่างปริมาตร 500 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมสารส้มความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในปริมาณที่ทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารส้มอยู่ในช่วง 5, 10, 15, 20, 25 และ 50 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์โดยอัตราเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 นาที เปลี่ยนเป็นกวนช้าที่อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที ปล่อยให้ทิ้งไว้ 30 นาที ให้ตกตะกอน

2) สังเกตลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้น นำน้ำส่วนใสไปวัดค่าพีเอช และซีไอดี เพื่อหาปริมาณสารส้มที่สามารถลดปริมาณซีไอดีได้มากที่สุดและนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป โดยรายงานผลในรูปของร้อยละของซีไอดีและสีที่เหลืออยู่เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง

3.2.2.2 ศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสม

1) นำน้ำตัวอย่างปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับพีเอชในบีกเกอร์ให้อยู่ในช่วง 4, 6, 8, 9, 10 ตามลำดับ ด้วย NaOH 1.0 N หรือ H₂SO₄ 1.0 N และ Control คือ ตัวควบคุมไม่มีการปรับค่าพีเอช

2) เติมสารส้มความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในปริมาณที่ทำให้น้ำเสียมีปริมาณกรัมสารส้มต่อลิตรน้ำเสียในปริมาณที่ได้จากการทดลองข้อ 3.2.2.1 กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ด้วยอัตราเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 นาที เปลี่ยนเป็นกวนช้าที่อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที ปล่อยให้ทิ้งไว้ 30 นาที ให้ตกตะกอน

3) สังเกตลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้น นำน้ำส่วนใสไปวัดค่าพีเอชและซีไอดี ที่เหลือโดยรายงานผลในรูปของร้อยละของซีไอดีที่เหลืออยู่เมื่อเทียบกับก่อนการทดลองเพื่อนำค่าพีเอชที่เหมาะสมนี้ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.2.2.3 ศึกษาปริมาณสารส้มในสถานะที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำชะขยะ

- 1) นำน้ำตัวอย่างปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับพีเอชในบีกเกอร์ให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมตามผลจากการทดลองข้อ 3.2.2.2
- 2) เติมสารส้มความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในปริมาณที่ทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารส้มในปริมาณ 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75, 100 และ 150 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย เพื่อหาปริมาณสารส้มที่สามารถลดค่าซีไอดีได้สูงสุด กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ด้วยอัตราเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 นาที เปลี่ยนเป็นกวนช้าที่อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที ทิ้งไว้ 30 นาที ให้ตกตะกอน
- 3) สังเกตลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้น นำน้ำส่วนใสไปวัดค่าพีเอชและซีไอดีที่เหลือ เพื่อหาปริมาณสารส้มในสถานะที่เหมาะสมที่สามารถลดปริมาณซีไอดีของน้ำชะขยะได้มากที่สุดโดยรายงานผลในรูปของร้อยละของซีไอดีที่เหลืออยู่เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง นำค่าปริมาณสารส้มจากการทดลองนี้ไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.2.2.4 ศึกษาหาชนิดของสารช่วยตกตะกอน (สารโพลีเมอร์) ร่วมกับการตกตะกอนในสถานะที่เหมาะสม

- 1) นำน้ำตัวอย่างปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับพีเอชในบีกเกอร์ให้มีค่าที่เหมาะสมตามผลการทดลองข้อ 3.2.2.2
- 2) เติมสารส้มความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในปริมาณที่ทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารส้มลิตรน้ำเสียในปริมาณที่เหมาะสมตามข้อที่ 3.2.2.3 กวนโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ด้วยอัตราเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 นาที เปลี่ยนเป็นขั้นตอนการกวนช้าที่อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที เติมสารช่วยตกตะกอน (สารโพลีเมอร์) โดยแยกชนิดของโพลีเมอร์ออกเป็น โพลีเมอร์ชนิดประจุบวกมีชื่อทางการค้าว่า WF-5811 โพลีเมอร์ชนิดประจุลบมีชื่อทางการค้าว่า WF-5311 และ โพลีเมอร์ชนิดไม่มีประจุมีชื่อทางการค้าว่า WF-5000 ปริมาณอย่างละ 0.5 กรัม ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที เพื่อหาชนิดของโพลีเมอร์ที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารช่วยตกตะกอน
- 3) สังเกตลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้น นำน้ำส่วนใสไปวัดค่าพีเอช และซีไอดีที่เหลือ รายงานผลในรูปของร้อยละของซีไอดีที่เหลืออยู่เมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง เพื่อหาชนิดของสารช่วยตกตะกอน (สารโพลีเมอร์) ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.2.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

3.2.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะ

ทำการวิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการศึกษากการตกตะกอนโดยการทำการทดสอบโดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยสร้างตะกอน โดยนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี โดยพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ดังนี้ (ตารางที่ 3.1)

3.2.3.2 ศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิว

- 1) นำน้ำชะขยะที่ผ่านการศึกษากการตกตะกอนโดยการทำการทดสอบโดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยสร้างตะกอนจากการทดลองที่ 3.2.2 ที่ผ่านการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะปริมาณ 50 มิลลิลิตร มาใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติมถ่านกัมมันต์ 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 และความเข้มข้นที่เหลือเพื่อหาประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดีและซีของน้ำชะขยะ ที่เกิดจากการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างกัน
- 4) นำค่าความประสิทธิผลดังกล่าวมาเขียนกราฟระหว่างเวลา (นาที) กับค่าประสิทธิผลการลดค่าซีไอดีและซี (ร้อยละ)

3.2.3.3 ศึกษาอิทธิพลของพีเอชต่อการดูดติดผิว

- 1) นำน้ำชะขยะที่ผ่านการศึกษากการตกตะกอนโดยการทำการทดสอบโดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยสร้างตะกอนจากการทดลองที่ 3.2.2 ที่ผ่านการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะปริมาณ 50 มิลลิลิตร มาใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติมถ่านกัมมันต์ 0.5 กรัม ลงในขวดแต่ละใบตามลำดับ 3, 5, 6, 7, 8, 9 และไม่ปรับพีเอชโดยใช้พีเอชที่ของน้ำเสียจากการทดลองที่ 3.2.2 นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาทีตามระยะเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.2.3.2

3) แยกถ่านกัมมันต์ออก โดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าพีเอช ซีไอดี และความเข้มข้นที่เหลือเพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและสีของน้ำชะขยะ ที่เกิดจากการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่เวลาสัมผัสต่างกัน

4) นำค่าความประสิทธิผลดังกล่าวมาเขียนกราฟระหว่างเวลา (นาที) กับค่าประสิทธิผลของการกำจัดซีไอดีและสี (ร้อยละ)

3.2.3.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดติดผิวในรูปแบบของไอโซเทอมการดูดติดผิว

1) นำน้ำชะขยะที่ผ่านการศึกษากการตกตะกอนโดยการทำการทดสอบโดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยสร้างตะกอนจากการทดลองที่ 3.2.2 ที่ผ่านการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร มาใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2) เติมถ่านกัมมันต์ 0.00, 0.01, 0.02, 0.04, 1.0, 2.0, และ 4.0 กรัมลงในขวดแต่ละใบตามลำดับ นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาทีตามระยะเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.2.3.2

3) แยกถ่านกัมมันต์ออก โดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าพีเอช ซีไอดี และความเข้มข้นที่เหลือเพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและสีของน้ำชะขยะ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ และ ฟรุนดลิช เพื่อเทียบประสิทธิภาพในการดูดติดผิว

3.2.3.5 การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ ที่พีเอชต่างๆ

1) นำน้ำชะขยะที่ผ่านการศึกษากการตกตะกอนโดยการทำการทดสอบโดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยสร้างตะกอนจากการทดลองที่ 3.2.2 ที่ผ่านการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร มาใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยปรับค่าพีเอชให้มีค่าอยู่ที่ 5, 6, 7, 8, 9 และไม่ปรับพีเอช โดยมีการปรับค่าพีเอชให้คงที่ตามค่าเริ่มต้นตลอดการทดลองด้วย NaOH 5.0 N หรือ H₂SO₄ 5.0 N

2) เติมถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.00, 0.01, 0.02, 0.04, 1.0, 2.0, และ 4.0 กรัม ลงในขวดแต่ละใบไปตามลำดับ นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาทีตามระยะเวลาที่เหมาะสมจากข้อ 3.2.3.2

3) แยกถ่านกัมมันต์ออก โดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าพีเอช ซีไอดี และความเข้มข้นที่เหลือเพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและสีของน้ำชะขยะ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4) นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ และ ฟรุนดลิช เพื่อเทียบประสิทธิภาพในการดูดติดผิวที่พีเอชต่าง ๆ

3.2.4. การศึกษาประสิทธิภาพและความสามารถในการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ ที่ผ่านการกำจัดค่าซีไอดีและสีของน้ำชะขยะ

ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดค่าซีไอดีและสีของน้ำชะขยะ ระหว่างถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) เพื่อหาประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพ

1) นำน้ำชะขยะที่ผ่านการศึกษาคาทตะกอนโดยการทำจาร์เทสต์โดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยสร้างตะกอนจากการทดลองที่ 3.2.2 มาปริมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ควบคุมพีเอชให้เหมาะสมตามการทดลองข้อที่ 3.2.3.3

2) เติมถ่านกัมมันต์ ปริมาณ, 1.0, 2.0, 5.0 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่า ที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ตามระยะเวลาที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลอง ข้อที่ 3.2.3.2

3) แยกถ่านกัมมันต์ออกโดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 วัดค่าพีเอชของน้ำชะขยะแล้วนำน้ำชะขยะไปวัดค่าพีเอช, ซีไอดี และความเข้มข้นที่เหลือ

4) นำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดูดติดผิวแล้วมาฟื้นฟูสภาพโดยถ่านกัมมันต์มาล้างด้วยสารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH) เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และล้างตามด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น นำถ่านกัมมันต์มาชั่งน้ำหนักที่เหลือ

5) นำมาดูดติดผิวสีน้ำชะขยะและทำการฟื้นฟูสภาพอีก 3 รอบ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง หาประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีไอดีและสีของน้ำชะขยะ หลังจากการฟื้นฟูสภาพ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ยังไม่ได้ผ่านการดูดซับ

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1. อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) เครื่องทดสอบการตกตะกอน (Jar Test) รุ่น FC 6S,VELP Scientifica
- 2) เครื่องมือรีฟลักซ์ สำหรับวิเคราะห์ค่าซีไอดี
- 3) เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น Seven Easy, Mettler Toledo
- 4) เครื่องชั่งละเอียด รุ่น AB204-S, Mettlet Toledo
- 5) เครื่องวัดและบันทึกการดูดกลืนแสง รุ่น HACJ TJTP J06749, Thermo electron corporation visible
- 6) ตู้อบความร้อน รุ่น WTB Blinder, Germany
- 7) เครื่องเขย่า (Shaker)
- 8) ชุดเครื่องแก้วอื่นๆ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี
- 9) กระดาษกรอง Whatman GFC

3.3.2. วัสดุที่ใช้ทดสอบ

- 1) น้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบ
- 2) สารสร้างตะกอน (Coagulant) ที่ใช้ในการทดลองคือ สารส้ม (Alum) ที่ใช้ตามท้องตลาด
- 3) สารช่วยสร้างตะกอน (Coagulant Aids หรือ Polymer) ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ
 - 3.1 โพลีเมอร์ชนิดแอนไอออน ชื่อทางการค้า WF-5311
ของบริษัท Water Doctor CO.,Ltd,
 - 3.2 โพลีเมอร์ชนิดแคทไอออน ชื่อทางการค้า WF-5811
ของบริษัท Water Doctor CO.,Ltd,
 - 3.3 โพลีเมอร์ชนิดอนไอออน ชื่อทางการค้า WF-5000
ของบริษัท Water Doctor CO.,Ltd,
- 4) สารเคมีที่ปรับพีเอช
 - 4.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

- 4.3 สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4)
- 4.4 สารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ (H_2PO_4)
- 5) ถ่านกัมมันต์ แบบชนิดผง
ชื่อทางการค้า Charcoal Activated powder QP
ยี่ห้อ Panreac
PRODUCT CODE: 211237
- 6) สารเคมีที่ใช้เตรียมสารละลายมาตรฐานแพลทตินัม-โคบอลต์
 - 6.2 โพแทสเซียมคลอโรแพลทตินेट (Potassium Chloroplatinate, K_2PtCl_6)
 - 6.3 โคบอลต์คลอไรด์ (Cobalt Chloride, $CoCl_2 \cdot H_2O$)
 - 6.4 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 7) สารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH) เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะ

ตัวอย่างน้ำชะขยะที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากหลุมฝังกลบของเสียอันตรายของบริษัท GENCO (General Environmental Conversation Co., Ltd.) ในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำชะขยะที่ได้นี้ สรุปว่าค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.26 – 7.54 และเมื่อวัดค่าซีไอดี โดยวิธี Closed Reflux มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 54,000 – 56,160 มิลลิกรัมต่อลิตร และการวัดความเข้มข้นน้ำชะขยะโดยเครื่อง spectrophotometer ในหน่วยสี แพลทตินัม – โคบอลต์ มีค่าอยู่ระหว่าง 4,632 – 4,817 Pt-Co จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำชะขยะมีค่า ความเข้มข้นและค่าซีไอดีสูงมากเนื่องจากการเป็นกรของเสียอันตรายที่มีการชะมาจากตะกอนของเสียอันตรายที่อยู่ในน้ำชะขยะ อันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำชะขยะที่ค่าความเข้มข้นและค่าซีไอดีสูง โดยสารเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็น สารคอลลอยด์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำชะขยะ ผลการวิเคราะห์สรุปค่าได้ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะขยะ

พารามิเตอร์	ครั้งที่ 1 (มิ.ย. 53)	ครั้งที่ 2 (ก.ย. 53)	ครั้งที่ 3 (พ.ย. 53)	เฉลี่ย
ค่าพีเอช	7.26	7.54	7.32	7.37
ค่าซีไอดี (มก./ลิตร)	56,160	54,000	55,975	55,378
BOD (มก./ลิตร)	18,720	18,000	18,658	18,459
TS	47,995	48,378	47,623	47,999
SS	170	200	190	187
สี (Pt.Co)	4,817	4,632	4,693	4,714

ดังจะให้เห็นจากลักษณะน้ำเสียที่มีค่าของของแข็งแขวนลอยอยู่สูงซึ่งประกอบไปด้วยปริมาณของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ศึกษาหาความสามารถในการตกตะกอนของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตราย โดยในการทดลองใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนเพื่อช่วยให้สารคอลลอยด์เหล่านี้รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (floc) ขนาดใหญ่และตกตะกอนลงมาเนื่องจากการเติมสารส้มลงไปใต้น้ำปริมาณที่เพียงพอ โดยทำการปรับพีเอชให้เหมาะสมจะทำให้เกิดการตกผลึกลงมาอย่างรวดเร็วโดยอนุภาคของคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าวนี้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเพิ่มขนาดหรือน้ำหนักให้กับอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและเกิดเป็นตะกอนได้ อีกทั้งการเติมสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมจะช่วยให้เกิดการตกตะกอนมากขึ้นเนื่องจากสารช่วยตกตะกอนเป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์เข้าด้วยกัน เป็นการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้เช่นกัน หลังจากนั้นได้ทำการกำจัดสีโดยการใช้อ่านกัมมันต์ในการดูดซับสีเป็นการทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งต้องหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตราย

4.2 ผลการตกตะกอนโดยใช้การทำจาร์เทสต์ โดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนและใช้สาร โพลีเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน

4.2.1 ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน

การหาปริมาณสารส้มเบื้องต้นเพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการใช้ในการทดลอง โดยการทดลองใช้น้ำชะขยะปริมาตร 500 มิลลิลิตร ที่ไม่มีการปรับค่าพีเอชแล้วเติมสารส้มความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในปริมาณที่ทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารส้ม 5 – 50 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย

ตารางที่ 4.2 ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน

ค่าพีเอช เริ่มต้น	ค่าพีเอช หลัง ตกตะกอน	สารส้ม		ค่า ซีโอดี เริ่มต้น (มก./ลิตร)	ค่า ซีโอดี หลังการ ตกตะกอน (มก./ลิตร)	ประสิทธิภาพ การกำจัด ซีโอดี (ร้อยละ)
		ความ เข้มข้น (กรัม/ลิตร)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)			
7.37	6.11	5	5.05	54,824	48,000	12.45
7.37	5.66	10	10.20	54,270	43,200	20.40
7.37	5.1	15	15.46	53,717	39,400	26.65
7.37	4.33	25	26.32	52,609	37,400	28.91
7.37	5.44	50	55.56	49,840	26,685	46.46

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าซีโอดีเริ่มต้นนั้นจะมีปริมาณไม่เท่ากัน เป็นผลเนื่องมาจากการเติมปริมาณสารส้มลงไปใต้น้ำชะขยะในปริมาณที่มากจนทำให้เกิดการเจือจางความเข้มข้นของน้ำชะขยะจึงทำให้ค่าซีโอดีเปลี่ยนแปลงไป และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารส้มเบื้องต้นที่ใช้ตกตะกอนน้ำชะขยะที่สามารถลดปริมาณซีโอดีได้มากที่สุดคือปริมาณ 50 กรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 46.46 โดยผลที่ได้นี้เป็นผลมาจากการเจือจางของปริมาณสารส้มในน้ำชะขยะและผลของการตกตะกอนของน้ำชะขยะด้วยเช่นกัน เนื่องจากลักษณะน้ำเสียนั้นมีค่าความสกปรกในรูปแบบของคอลลอยด์ค่อนข้างสูง ซึ่งคอลลอยด์นั้นเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าซีโอดีและสีนั้นมีค่าสูง ความเข้มข้นของสารส้มที่เติมลงไปนั้นจะทำให้อนุภาคของคอลลอยด์บางส่วนจับตัวกันเป็นตะกอนและตกตะกอนลงมา อีกทั้งยังมีส่วนของปริมาณสารส้มที่เติมลงไปปริมาณมากจนทำให้น้ำเสียเกิดการเจือจางทั้งหมดนี้จึงมีส่วนทำให้ค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีลดลง

4.2.2 ผลการหาพีเอชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน

การหาปริมาณสารส้มเบื้องต้นเพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการใช้ในการทดลอง โดยการทดลองใช้น้ำชะขยะปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยปรับค่าพีเอชในช่วง 4 – 10 แล้วเติมสารส้มความเข้มข้น 500 กรัมต่อลิตรในปริมาณที่ทำให้น้ำเสียนั้นมีปริมาณสารส้ม 50 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย ที่ได้จากการทดลองที่ 4.2.1 ในตารางที่ 4.3 เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมจากปริมาณสารส้มที่ใช้ในการตกตะกอนเบื้องต้นดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการหาพีเอชที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน

ค่าพีเอช เริ่มต้น	สารส้ม		ค่าพีเอช หลัง ตกตะกอน	ค่าซีโอดี เริ่มต้น (มก./ลิตร)	ค่าซีโอดี หลัง ตกตะกอน (มก./ลิตร)	ประสิทธิภาพ การลดซีโอดี (ร้อยละ)
	ความ เข้มข้น (กรัม/ ลิตร)	ปริมาตร (มิลลิลิตร)				
4	50	55.56	3.40	46,931	24,731	47.30
5	50	55.56	4.35	46,931	24,283	48.26
6	50	55.56	5.01	46,931	23,618	49.67
Control (7.37)	50	55.56	5.44	46,931	26,685	43.14
9	50	55.56	8.81	46,931	25,074	46.57
10	50	55.56	9.32	46,931	29,820	36.46

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 เห็นได้ว่าค่าซีโอดีเริ่มต้นมีค่าเท่ากันสามารถเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้อย่างชัดเจนในแต่ละค่าพีเอชเริ่มต้น โดยจะพบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการใช้ตกตะกอนน้ำชะขยะได้ค่าที่ดีที่สุดคือ 6 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 49.67 ดังนั้นจึงเลือกการปรับค่าพีเอชของน้ำชะขยะให้มีค่าเท่ากับ 6 เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป ซึ่งปริมาณซีโอดีที่ลดลงนั้นเป็นผลจากการปรับค่าพีเอชและปริมาณสารส้มที่เติมลงไป

4.2.3 ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน

การหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนที่ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการทดลอง โดยการทดลองใช้น้ำชะขยะปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยปรับค่าพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 6 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากผลการทดลองที่ 4.2.2 หลังจากนั้นเติมสารส้มความเข้มข้น 500 กรัมต่อลิตรในปริมาณต่างๆ ปริมาณที่ทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารส้ม 5 - 150 กรัมต่อลิตรน้ำเสียเพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสีย อันตรายเป็นดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน

ค่าพีเอชเริ่มต้น	ค่าพีเอชหลังตกตะกอน	สารส้ม		ค่าซีโอดีเริ่มต้น (มก./ลิตร)	ค่าซีโอดีหลังการตกตะกอน (มก./ลิตร)	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)
		ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ (มิลลิลิตร)			
6	6.02	5	5.05	54,824	48,000	12.45
6	5.89	10	10.20	54,270	43,200	20.40
6	5.74	15	15.46	53,717	39,400	26.65
6	5.43	25	26.32	52,609	37,400	28.91
6	5.01	50	55.56	49,840	23,618	52.61
6	4.68	75	88.24	47,071	22,533	52.13
6	3.81	100	125.00	44,302	25,700	41.99
6	3.54	150	214.29	38,765	24,800	36.02

จากผลการทดลองนั้นการที่เติมสารส้มลงไปนั้นน้ำเสียนั้นสารส้มจะละลายน้ำ กลายเป็นประจุ Al^{3+} ไปจับกับประจุ OH^- จนเมื่อถึงจุดที่ความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (Saturation Point) ไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไปจนได้ผลปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึก $Al(OH)_3$ และจะเหลือประจุ H^+ ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เมื่อเติมสารส้มมากขึ้นจะทำให้พีเอชสุดท้ายที่ได้น้อยลงตามผลการทดลองที่เกิดขึ้น และเมื่อเทียบค่าซีโอดีหลังการทดลองโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนการเจือจางของสารส้มแล้วพบว่าที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 และปริมาณสารส้มเท่ากับ 50 กรัม โดยปริมาณสารส้มดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ได้ร้อยละ 46.69 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด ในอัตราส่วนการเจือจางของสารส้มต่อน้ำ ดังนั้นจึงเลือกสารส้มในปริมาณ 50 กรัมต่อลิตรที่พีเอชเท่ากับ 6 เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง แต่หากคิดค่าปริมาณซีโอดีโดยไม่เจือจางแล้วปริมาณสารส้มที่ 75 กรัมต่อลิตรที่พีเอช 6 จะมีค่าซีโอดีลดต่ำลงที่สุด

4.2.4 ผลการหาปริมาณสารช่วยตกตะกอน (Polymer) ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน

ในการหาชนิดของโพลิเมอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารช่วยตกตะกอนร่วมกับสารส้ม โดยสารโพลิเมอร์ที่ใช้เป็นชนิดผงแบ่งเป็น 3 ชนิดตามประจุ คือ โพลิเมอร์ชนิดประจุบวก โพลิเมอร์ชนิดประจุลบ และโพลิเมอร์ชนิดไม่มีประจุ

เนื่องจากในการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอนในสภาวะที่เหมาะสมโดยทดลองน้ำชะขยะปริมาตร 500 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 6 ที่ได้จากการทดลองที่ 4.2.2 แล้วเติมปริมาณสารส้ม 75 กรัมต่อลิตร(เป็นค่าซีโอดีที่ลดต่ำลงที่สุด) ที่ได้จากการทดลองที่ 4.2.3 หลังจากนั้นเติมโพลิเมอร์แต่ละชนิดลงไป ปริมาณ 0.5 กรัมต่อลิตร โดยเติมลงไปในช่วงตอนการกวนช้า จะได้ผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการหาชนิดของสารช่วยตกตะกอน (Polymer) ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน

ค่าพีเอชเริ่มต้น	ปริมาณสารส้ม (กรัมต่อลิตร)	ชนิดของโพลิเมอร์	ค่าพีเอชหลังตกตะกอน	ค่าซีโอดีเริ่มต้น (มก./ลิตร)	ค่าซีโอดีหลังการตกตะกอน (มก./ลิตร)	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)
6	75	ไม่เติม	4.68	47,071	22,533	52.13
6	75	ประจุบวก	3.87	42,364	22,835	46.10
6	75	ประจุลบ	3.85	42,364	22,283	47.40
6	75	ไม่มีประจุ	3.83	42,364	22,731	46.34

จากผลการทดลองพบในกรณีที่ไม่มีเติมสารโพลิเมอร์สามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 52.13ในรูปแบบของการคิดอัตราการเจือจางน้ำเสียจากการเติมสารอื่นลงไป ในน้ำเสีย ซึ่งเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการเติมสารโพลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ถึงแม้ว่าจะมีค่าซีโอดีที่น้อยกว่า เนื่องจากเมื่อคิดคำนวณการเติมสารโพลิเมอร์ลงไปนั้นเปรียบเสมือนการเจือจางน้ำขยะถึงแม้ค่าซีโอดีจะลดลงแต่ก็เป็น การลดลงในรูปแบบของการเจือจางเท่านั้นไม่ได้เป็นผลมาจากการตกตะกอน แต่หากมีการเติมโพลิเมอร์ลงไปเพื่อทำให้น้ำเสียตกตะกอนเพียงอย่างเดียว นั้น จะไม่สามารถทำได้เพราะโพลิเมอร์จะมีลักษณะที่เป็นแขนงไว้ยึดเกาะกับอนุภาคที่ละลายอยู่ในน้ำ แต่หากในน้ำเสียนั้นไม่มีอนุภาคหรือมีอนุภาคขนาดเล็กกว่าที่โพลิเมอร์จะสามารถยึดเกาะได้ นั้น การเติมโพลิเมอร์ลงไปก็จะไม่มีผลช่วยให้เกิดการตกตะกอนหรือทำให้มีการตกตะกอนเกิดขึ้น

ดังนั้นการเติมสารโพลีเมอร์ชนิดต่างๆลงไปจึงไม่เป็นการเหมาะสมในการทดลองต่อน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตรายนี้

4.2.5 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น และ ค่าซีไอดีของน้ำชะขยะที่เหลือจากการตกตะกอนด้วยสารส้มและใช้สารโพลีเมอร์เป็นตัวช่วยในการตกตะกอน

เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาประสิทธิภาพในการลดซีไอดีที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมสารช่วยตกตะกอนชนิดต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกเอาน้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนและเติมสารช่วยตกตะกอนหรือโพลีเมอร์ประจุลบปริมาณ 0.5 กรัมต่อลิตรไปใช้ที่ค่าซีไอดีและสีเริ่มต้นที่ 22,533 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 2,452 แพลทตินัมโคบอลต์ตามลำดับ ในขั้นตอนการทดลองขั้นต่อไปเพื่อไป

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นและค่าซีไอดีของน้ำชะขยะที่ผ่านการตกตะกอนด้วยสารส้มปริมาณ 150 กรัมต่อลิตร ร่วมกับสารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบปริมาณ 0.5 กรัมต่อลิตรที่ ค่าพีเอชเท่ากับ 6 ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นและค่าซีไอดีของน้ำชะขยะก่อนตกตะกอน ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4. 6 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นและค่าซีไอดี ก่อนและหลังการตกตะกอนด้วยสารส้ม และมีสารโพลีเมอร์เป็นตัวช่วยตกตะกอน

พารามิเตอร์	น้ำชะขยะ			ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)	มาตรฐาน น้ำทิ้งของ (กนอ.)
	ค่าเฉลี่ย ก่อน ตกตะกอน	หลัง ตกตะกอน	ค่าเฉลี่ย		
ค่าซีไอดี (มก./ลิตร)	47,071	22,378 — 22,235	22,533	52.13	3,000
ค่าความเข้มข้น (Pt.Co)	4,714	2,495 — 2,430	2,452	49.10	ไม่เป็นที่ พึงรังเกียจ
ค่าพีเอช	7.26	3.9 – 3.8	3.85	-	5.5-9.0
Cr (ppm)	0.357		0.228		2.0
Cd (ppm)	<0.05		<0.05		0.03
Pb (ppm)	<0.3		<0.3		0.2

จากผลการวิเคราะห์พบว่าการตกตะกอนของน้ำชะขยะด้วยสารส้มมี ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นร้อยละ 52.13 และ 49.10 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพที่ลดลงนั้นจากค่าซีไอดีและความเข้มข้นก่อนตกตะกอน เปรียบเทียบกับหลังตกตะกอนในขั้นตอนการทดลองที่ 4.2 โดยค่าเริ่มต้นของการทดลองที่ วิเคราะห์ได้ในแต่ละครั้งนั้นจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากน้ำเสียที่นำมาวิเคราะห์นั้นมีการเก็บ ตัวอย่างไว้และมีการตกตะกอนของน้ำเสียโดยตัวของน้ำเสียเอง และในแต่ละการทดลองนั้นจะมี ปัจจัยของการเจือจางน้ำเสียจากการเติมสารส้มในการทดลองจึงทำให้ค่าเริ่มต้นมีค่าไม่คงที่ จากการทดลองในการตกตะกอนน้ำชะขยะด้วยสารส้มนั้นต้องใช้ปริมาณสารส้มมาก ถึง 50 กรัมต่อลิตรจึงจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีและซีไอดีที่ดีที่สุดซึ่งเป็นปริมาณที่มากเกินไป กว่าความเป็นจริงไม่เหมาะสมแก่การทดลอง ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีและความ เข้มข้นจะมากที่สุดก็ตาม แต่ปัจจัยการลดลงของค่าซีไอดีและความเข้มข้นไม่ได้มีส่วนจากการ ตกตะกอนของสารส้มเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่จะมีผลของการเจือจางของสารส้มที่เติมลงไป ในปริมาณมากเกินไปทำให้ค่าความสกปรกในรูปของซีไอดีและความเข้มข้นของน้ำชะขยะลดน้อยลง ในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกันคือร้อยละ 52.13 และ 49.10 ตามลำดับ โดยสามารถกำจัดอนุภาค

สารแขวงลอยที่อยู่ในน้ำเสียที่ทำให้เกิดค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีและความเข้มข้นของสารรวมตัวของอนุภาคเป็นกลุ่มก้อนแล้วตกตะกอนลงมาอีกทั้งยังมีส่วนของสารที่เติมปริมาณสารส้มที่มากเกินไปจนทำให้เกิดการเจือจางของน้ำเสีย แต่ผลที่ตามมาคือปริมาณของเสียในรูปแบบของตะกอนสารส้มที่ต้องกำจัดหากเปรียบเทียบกับ การนำไปใช้จริงแล้วจึงไม่เหมาะสมกับการลงทุนถึงแม้จะมีประสิทธิภาพก็ตาม

4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

ในการทดลองนี้จะเป็นการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดติดสีและกำจัดซีโอดี โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีและความเข้มข้นของน้ำชะขยะหลังจากขั้นตอนการตกตะกอน

4.3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของพีเอชต่อการดูดติดผิว

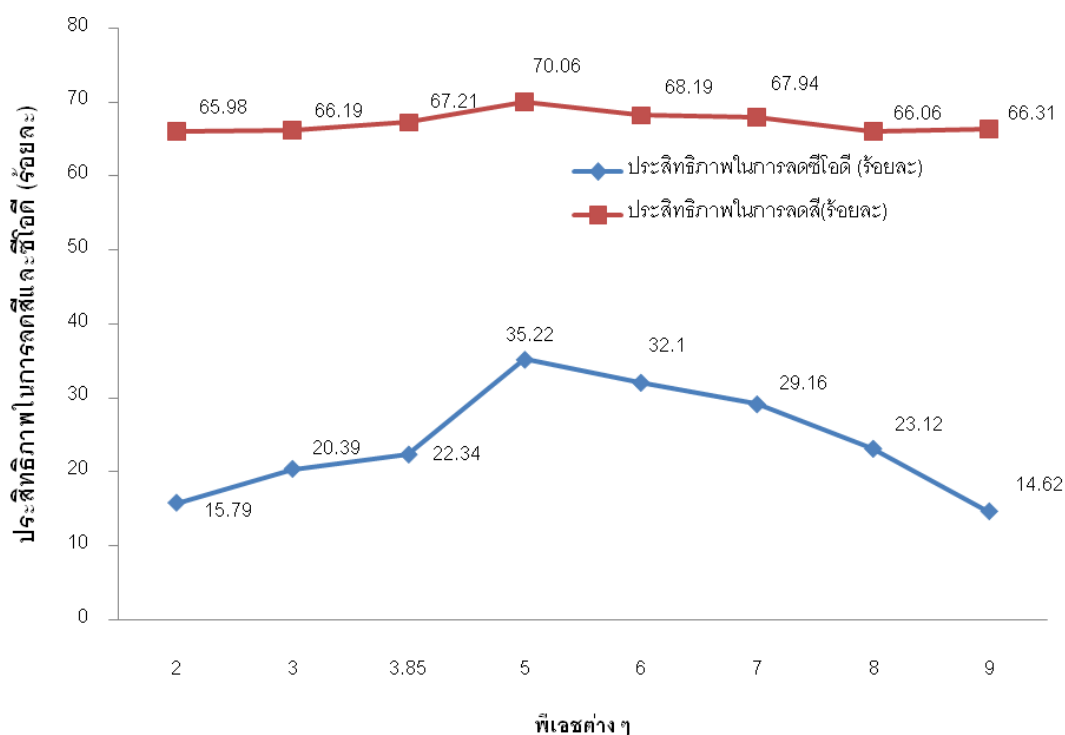
โดยนำน้ำชะขยะที่ผ่านการตกตะกอนจากผลการทดลองขั้นตอนที่ 4.2 ที่ทราบความเข้มข้น และค่าซีโอดีเริ่มต้น มาปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 2 - 9 หลังจากนั้นนำน้ำชะขยะที่ปรับพีเอชแล้วเติมลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบอย่างละ 50 มิลลิลิตร แล้วเติมถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.5 กรัมลงในขวดแต่ละใบ แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีที่เกิดจากการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7 ตารางที่ 4.8 ภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำชะขยะที่พีเอชต่างๆ

ค่าพีเอช เริ่มต้น	ปริมาณ ถ่าน (กรัม)	ค่าพีเอช หลังเขย่า	ค่าสีเริ่มต้น (Pt.Co)	ค่า สี หลังการ ตกตะกอน (มก./ลิตร)	ประสิทธิภาพ การลดสี (ร้อยละ)
2	0.5	3.05	2,452	834	65.98
3	0.5	3.68	2,452	829	66.19
3.85	0.5	4.34	2,452	804	67.21
5	0.5	5.62	2,452	734	70.06
6	0.5	7.38	2,452	780	68.19
7	0.5	7.63	2,452	786	67.94
8	0.5	8.21	2,452	832	66.06
9	0.5	8.95	2,452	826	66.31

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำชะขยะที่พีเอชต่างๆ

ค่าพีเอช เริ่มต้น	ปริมาณถ่าน (กรัม)	ค่าพีเอช หลังเขย่า	ค่า ซีโอดี เริ่มต้น (มก./ลิตร)	ค่า ซีโอดี หลังเขย่า (มก./ลิตร)	ประสิทธิภาพ การลด ซีโอดี (ร้อยละ)
2	0.5	3.05	22,283	18,764	15.79
3	0.5	3.68	22,283	17,739	20.39
3.85	0.5	4.34	22,283	17,304	22.34
5	0.5	5.62	22,283	14,434	35.22
6	0.5	7.38	22,283	15,130	32.10
7	0.5	7.63	22,283	15,786	29.16
8	0.5	8.21	22,283	17,132	23.12
9	0.5	8.68	22,283	19,026	14.62



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับร้อยละการกำจัดสีและร้อยละการกำจัดซีโอดี

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่าประสิทธิภาพในการลดสีทั้งหมดที่พีเอช 5 จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 70.06 เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำชะขยะจะมีประสิทธิภาพการกำจัดทั้งหมดร้อยละ 35.22 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดอีกทั้งยังเป็นค่าที่มีการปรับพีเอชจากน้ำเสียเริ่มต้นไม่มากนักเนื่องจากหากมีการปรับพีเอชมากก็จะเป็นการเสียค่าใช้จ่ายในการปรับพีเอชอีกด้วย โดยประสิทธิภาพในบางส่วนของ การลดสีและซีโอดีจะเกิดจากที่มีการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียทำให้เกิดการตกตะกอนของน้ำเสียจากการปรับพีเอช จึงเลือกใช้น้ำในการทดลองและนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

และจากผลการทดลองในภาพที่ 4.4 ผลการทดลองจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและสีของน้ำชะขยะได้สูงที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 5

4.3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการดูดติดผิว

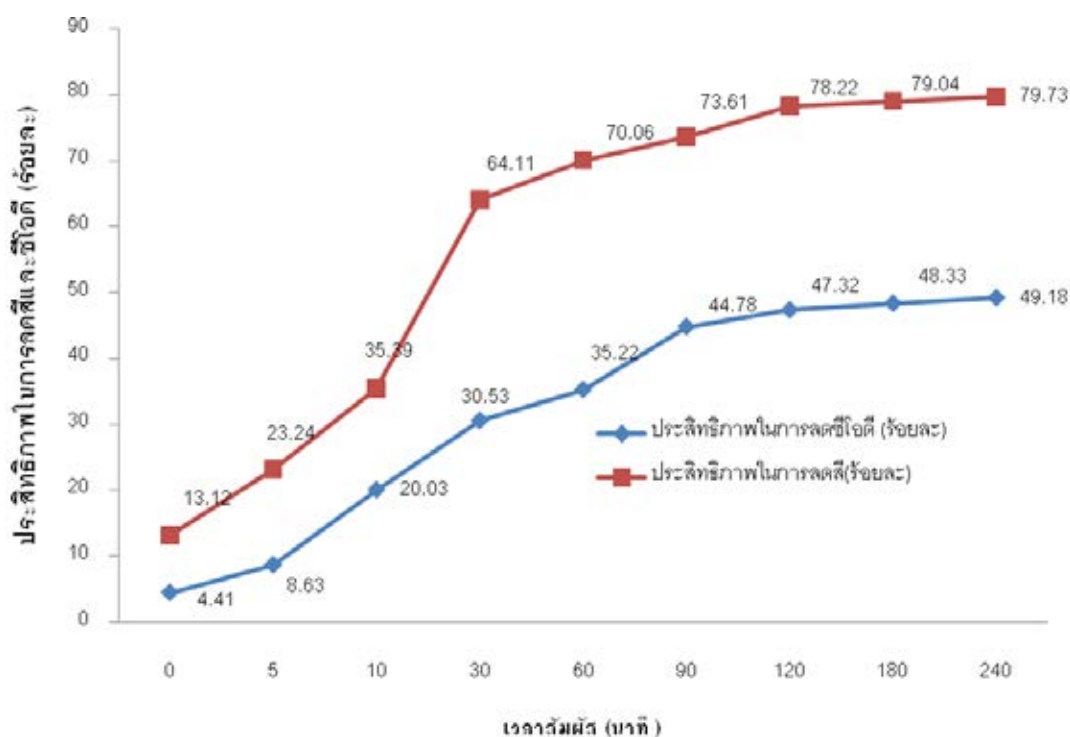
นำน้ำชะขยะที่ผ่านการตกตะกอนจากขั้นตอนที่ 4.2 ที่ทราบความเข้มข้น และค่าซีไอดีเริ่มต้น มาปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 5 ตามผลการทดลองที่ 4.3.2 หลังจากนั้นนำน้ำชะขยะที่ปรับพีเอชแล้วเติมลงในขวดรูปชมพู่แต่ละใบอย่างละ 50 มิลลิลิตร แล้วเติมถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.5 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที โดยปรับเวลาในการเขย่าเป็น 0 ,5 ,10 ,15 ,30 ,60 ,120 ,180 และ 240 นาที เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่เกิดขึ้นจากการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ในเวลาสัมผัสต่างๆ ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 ตารางที่ 4.10 ภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของน้ำชะขยะที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

ปริมาณถ่านกัมมันต์ (กรัม)	เวลา (นาที)	ค่าพีเอชเริ่มต้น	ค่าพีเอชหลังตกตะกอน	ค่าซีไอดีเริ่มต้น (Pt.Co)	ค่าซีไอดีหลังการตกตะกอน (Pt.Co)	ประสิทธิภาพการลดซีไอดี (ร้อยละ)
0.5	0	5	4.92	2,452	2,130	13.12
0.5	5	5	4.86	2,452	1,882	23.24
0.5	10	5	4.74	2,452	1,584	35.39
0.5	30	5	4.82	2,452	880	64.11
0.5	60	5	5.62	2,452	734	70.06
0.5	90	5	5.98	2,452	647	73.61
0.5	120	5	6.24	2,452	534	78.22
0.5	180	5	6.58	2,452	514	79.04
0.5	240	5	7.04	2,452	497	79.73

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของน้ำชะขยะที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

ปริมาณ ถ่านกัมมันต์ (กรัม)	เวลา (นาที)	ค่าพีเอช เริ่มต้น	ค่าพีเอช หลัง ตกตะกอน	ค่าซีไอดี เริ่มต้น (มก./ลิตร)	ค่าซีไอดี หลังการ ตกตะกอน (มก./ลิตร)	ประสิทธิภาพ การลดซีไอดี (ร้อยละ)
0.5	0	5	4.92	22,283	21,300	4.41
0.5	5	5	4.86	22,283	20,360	8.63
0.5	10	5	4.74	22,283	17,820	20.03
0.5	30	5	4.82	22,283	15,480	30.53
0.5	60	5	5.62	22,283	14,434	35.22
0.5	90	5	5.98	22,283	12,304	44.78
0.5	120	5	6.24	22,283	11,739	47.32
0.5	180	5	6.58	22,283	11,514	48.33
0.5	240	5	7.04	22,283	11,324	49.18



ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีน้ำชะขยะ และประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่เวลาสัมผัสต่างๆ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.5 พบว่าการกำจัดสีน้ำชะขยะจะเกิดขึ้นรวดเร็วเมื่อระยะเวลาสัมผัส 5 นาทีจนถึง 60 นาที สังเกตได้จากความชันของกราฟในช่วงเวลา 5 นาทีถึง 60 นาที จะมีความชันมาก และที่เวลาสัมผัส 240 นาทีจะมีการกำจัดสีสูงสุดของถ่านกัมมันต์คือร้อยละ 79.73 ซึ่งจะเพิ่มเล็กน้อยเมื่อเทียบกับระยะเวลา 120 นาที เมื่อพิจารณาที่เวลาสัมผัส 120 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดสีร้อยละ 78.22 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับเวลาสัมผัส 240 นาที ซึ่งถ้าคิดถึงการนำไปใช้งานจริงที่เวลาสัมผัสน้อยกว่าจะมีผลทำให้การบำบัดน้ำเสียเร็วขึ้นเป็นการประหยัดเวลาและการลงทุน ดังนั้นจึงสรุปว่าเวลาสัมผัสที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีน้ำชะขยะด้วยถ่านกัมมันต์คือ 120 นาที

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.5 พบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองการกำจัดสีน้ำชะขยะ นั่นคือประสิทธิภาพการกำจัดสีไอดีของน้ำชะขยะจะเกิดรวดเร็วในช่วงเวลา 5 นาที จนถึงเวลา 60 นาที สังเกตได้จากความชันของกราฟในช่วงเวลา 5 นาทีถึง 60 นาที จะมีความชันสูงเช่นกันกับกราฟของประสิทธิภาพในการลดสีของน้ำชะขยะ

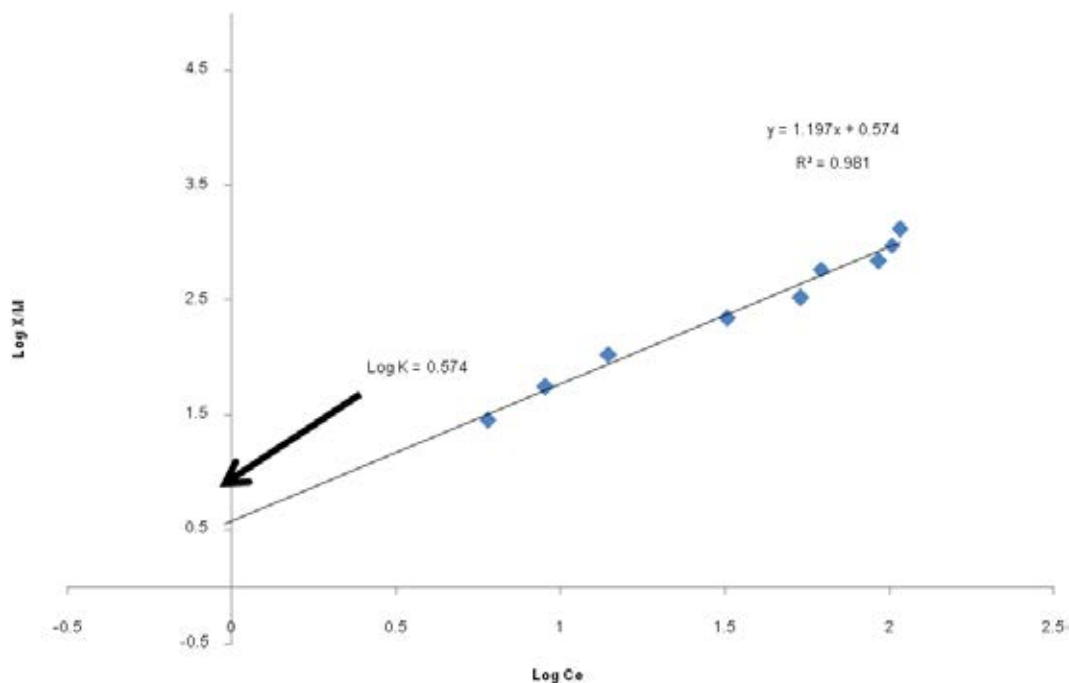
จากผลการทดลองหาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีไอดีน้ำชะขยะด้วยถ่านกัมมันต์ โดยการหาค่าพีเอช และเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำชะขยะโดยถ่านกัมมันต์ยิ่งเพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้นเท่าไร สอดคล้องกันกับประสิทธิภาพการกำจัดสีไอดีก็จะเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน ดังนั้นการกำจัดสีน้ำชะขยะโดยกระบวนการดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์จึงเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำชะขยะซึ่งเป็นการลดสีและค่าซีไอดีไปพร้อม ๆ กัน

4.3.3 ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

ในขั้นตอนนี้ได้นำน้ำชะขยะที่ผ่านการตกตะกอนจากขั้นตอนที่ 4.2 ที่ทราบความเข้มข้น และค่าซีไอดีเริ่มต้น และปรับพีเอชให้เท่ากับ 5 ตามการทดลองที่ 4.3.2 มาใส่ขวดทดลองรูปชมพู่ เติมถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0 – 15 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ นำขวดทดลองไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 4.3.3 หลังจากนั้นแยกถ่านกัมมันต์ออกโดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าพีเอช ซีไอดี และความเข้มข้นที่เหลือนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ และพรุนดลิช ผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบค่าการกำจัดสีเพื่อนำไปคำนวณในรูปแบบไอโซเทอม

น้ำหนัก ถ่านM (g)	ค่าพีเอช หลังเขย่า	สีเริ่มต้น (Pt-Co)	สีที่จุดสมดุล เฉลี่ย (Pt-Co/l)	สีที่จุดสมดุล Ce (Pt-Co)	สีที่กำจัดได้ X (Pt-Co)	X/M (Pt-Co/g Carbon)
0	5.03	2,452	2,419	121	-	-
0.01	4.99	2,452	2,151	108	13	1340.00
0.02	4.91	2,452	2,037	102	19	955.00
0.04	5.03	2,452	1,857	93	28	702.50
0.1	5.25	2,452	1,239	62	59	590.00
0.2	5.28	2,452	1,078	54	67	335.25
0.4	5.39	2,452	645	32	89	221.75
1	5.69	2,452	280	14	107	106.95
2	6.07	2,452	180	9	112	55.98
4	6.93	2,452	120	6	115	28.74



ภาพที่ 4.3 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์		
K	1/n	1/bX _m
3.75	1.197	0.135

จากการทดลอง สำหรับการหาไอโซเทอมการดูดติดผิวของน้ำชะขยะได้ผลตาม ตารางที่ 4.12 เมื่อนำข้อมูลมาวาดกราฟไอโซเทอมแบบพรุนดลิช ดังภาพที่ 4.6 (ก) จะได้สมการเส้นตรง $y = 1.197x + 0.574$ มีค่า $R^2 = 0.981$ มีค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถการดูดติดผิว (K) เท่ากับ 3.75 แพลทตินัม-โคบอลต์ต่อกรัมถ่านกัมมันต์ และค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานในการดูดติดผิว (1/n) เท่ากับ 1.197 สำหรับการหาไอโซเทอมแลงมัวร์ของถ่านกัมมันต์ เมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟไอโซเทอมแลงมัวร์ ดังภาพที่ 4.6 (ข) จะได้สมการเส้นตรง $y = 0.135x - 0.0001$ มีค่า $R^2 = 0.983$, $1/X_m$ เท่ากับ -0.0001 แพลทตินัม-โคบอลต์ต่อกรัมถ่านกัมมันต์ และ $1/bX_m$ เท่ากับ 0.135

จากผลการศึกษาไอโซเทอมทั้งสองแบบ พบว่าสมการไอโซเทอมทั้งแบบแลงมัวร์และแบบพรุนดลิชมีความเหมาะสมที่จะนำมาทำนายกลไกการกำจัดสีของน้ำชะขยะใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่า R^2 ของทั้งสองนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่จากการทดลองค่า $1/X_m$ ของสมการไอโซเทอมทั้งแบบแลงมัวร์เท่ากับ -0.0001 แพลทตินัม-โคบอลต์ต่อกรัมถ่านกัมมันต์โดยในทางทฤษฎีนั้นไม่สามารถเป็นไปได้ จึงทำให้กลไกที่ใช้ทำนายการดูดติดผิวจะมีแนวโน้มไปในรูปแบบไอโซเทอมแบบพรุนดลิช ซึ่งจะมีการคำนวณปริมาณของถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนต่อไป

4.3.4 การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่พีเอชต่างๆ

ในขั้นตอนนี้ได้นำน้ำชะขยะจากผลการทดลองที่ 4.2 ที่ทราบความเข้มข้นและค่าซีไอดี เริ่มต้นปริมาณ 50 มิลลิลิตรใส่ขวดทดลองรูปชมพู่ เติมถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0 .00, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 1.0, 2.0 และ 4.0 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ และปรับพีเอชให้มีค่าอยู่ที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 นำขวดทดลองไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ดีที่สุดที่ได้จากทดลองที่ 4.3.3 โดยมีการปรับค่าพีเอชให้คงที่ตามค่าเริ่มต้นตลอดการทดลองด้วย NaOH 5.0 N หรือ H₂SO₄ 5.0 N หลังจากนั้นแยกถ่านกัมมันต์ออกโดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าพีเอช ซีไอดี และความเข้มข้นที่เหลือ นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ และฟรุนดลิช ผลการทดลองที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.1 3 – ตารางที่ 4. 17 และภาพที่ 4.4 – ภาพที่ 4.8

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบค่าการกำจัดสีเพื่อนำไปคำนวณในรูปแบบไอโซเทอมที่พีเอช 4

น้ำหนักถ่านM (g)	ค่าพีเอชหลังเขย่า	สีเริ่มต้น (Pt-Co)	สีที่จุดสมดุลเฉลี่ย Ce (Pt-Co/l)	สีที่จุดสมดุล Ce (Pt-Co)	สีที่กำจัดได้ X (Pt-Co)	X/M (Pt-Co/g Carbon)
0	4	2,452	2,419	121	-	-
0.01	4	2,452	2,347	117	4	361.10
0.02	4	2,452	2,146	107	14	683.05
0.04	4	2,452	2,032	102	19	484.03
0.1	4	2,452	1,412	71	50	503.61
0.2	4	2,452	1,243	62	59	294.06
0.4	4	2,452	1,025	51	70	174.28
1	4	2,452	946	47	74	73.66
2	4	2,452	732	37	84	40.38
4	4	2,452	412	21	100	21.68

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบค่าการกำจัดสีเพื่อนำไปคำนวณในรูปแบบไอโซเทอมที่พีเอช 5

น้ำหนัก ถ่าน, M (g)	ค่าพีเอช หลังเขย่า	สีเริ่มต้น (Pt-Co)	สีที่จุดสมมูล เฉลี่ย Ce (Pt-Co/l)	สีที่จุดสมมูล Ce (Pt-Co)	สีที่กำจัดได้ X (Pt-Co)	X/M (Pt-Co/g Carbon)
0	5	2,452	2,379	119	-	-
0.01	5	2,452	2,221	111	8	791.10
0.02	5	2,452	2,176	109	10	508.05
0.04	5	2,452	1,532	77	42	1059.03
0.1	5	2,452	1,372	69	50	503.61
0.2	5	2,452	1,213	61	58	291.56
0.4	5	2,452	1,050	53	66	166.15
1	5	2,452	876	44	75	75.16
2	5	2,452	572	29	90	41.23
4	5	2,452	380	19	100	22.45

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบค่าการกำจัดสีเพื่อนำไปคำนวณในรูปแบบไอโซเทอมที่พีเอช 6

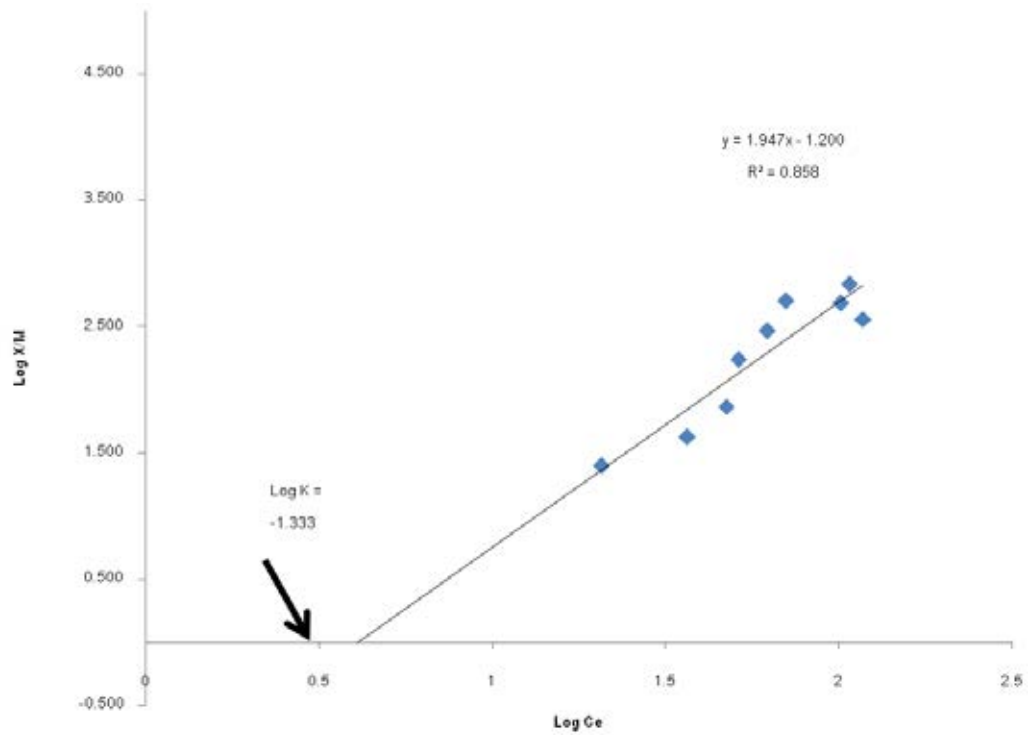
น้ำหนัก ถ่าน M (g)	ค่าพีเอช หลังเขย่า	สีเริ่มต้น (Pt-Co)	สีที่จุดสมมูล เฉลี่ย Ce (Pt-Co/l)	สีที่จุดสมมูล Ce(Pt-Co/)	สีที่กำจัดได้ X (Pt-Co)	X/M (Pt-Co/g Carbon)
0	6	2,452	2,309	115	-	-
0.01	6	2,452	2,275	114	2	171.10
0.02	6	2,452	2,206	110	5	258.05
0.04	6	2,452	2,132	107	9	221.53
0.1	6	2,452	2,013	101	15	148.11
0.2	6	2,452	1,852	93	23	114.38
0.4	6	2,452	1,521	76	39	98.53
1	6	2,452	806	40	75	75.16
2	6	2,452	457	23	93	45.45
4	6	2,452	350	18	98	23.20

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบค่าการกำจัดสีเพื่อนำไปคำนวณในรูปแบบไอโซเทอมที่พีเอช 7

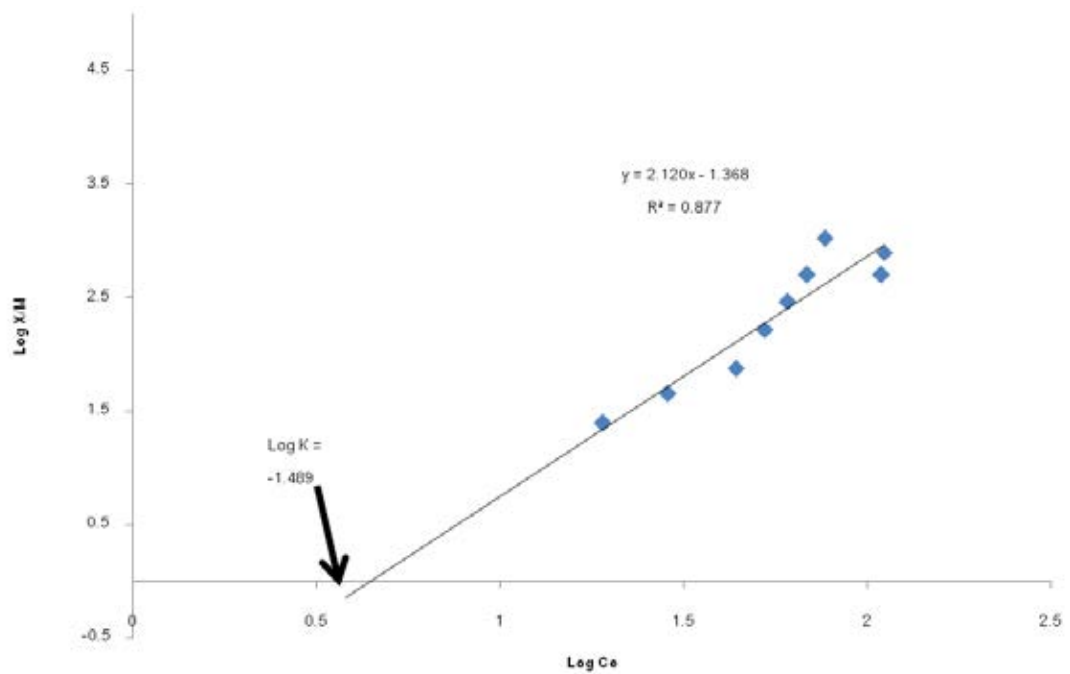
น้ำหนัก ถ่านM (g)	ค่าพีเอช หลังเขย่า	สีเริ่มต้น (Pt-Co)	สีที่จุดสมมูล เฉลี่ย Ce (Pt-Co/l)	สีที่จุดสมมูล Ce (Pt-Co)	สีที่กำจัดได้ X (Pt-Co)	X/M (Pt-Co/g Carbon)
0	7	2,452	2,359	118	-	-
0.01	7	2,452	2,297	115	3	311.10
0.02	7	2,452	2,217	111	7	355.55
0.04	7	2,452	2,132	107	11	284.03
0.1	7	2,452	2,072	104	14	143.61
0.2	7	2,452	1,976	99	19	95.80
0.4	7	2,452	1,680	84	34	84.90
1	7	2,452	907	45	73	72.61
2	7	2,452	532	27	91	44.13
4	7	2,452	402	118	98	22.69

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบค่าการกำจัดสีเพื่อนำไปคำนวณในรูปแบบไอโซเทอมที่พีเอช 8

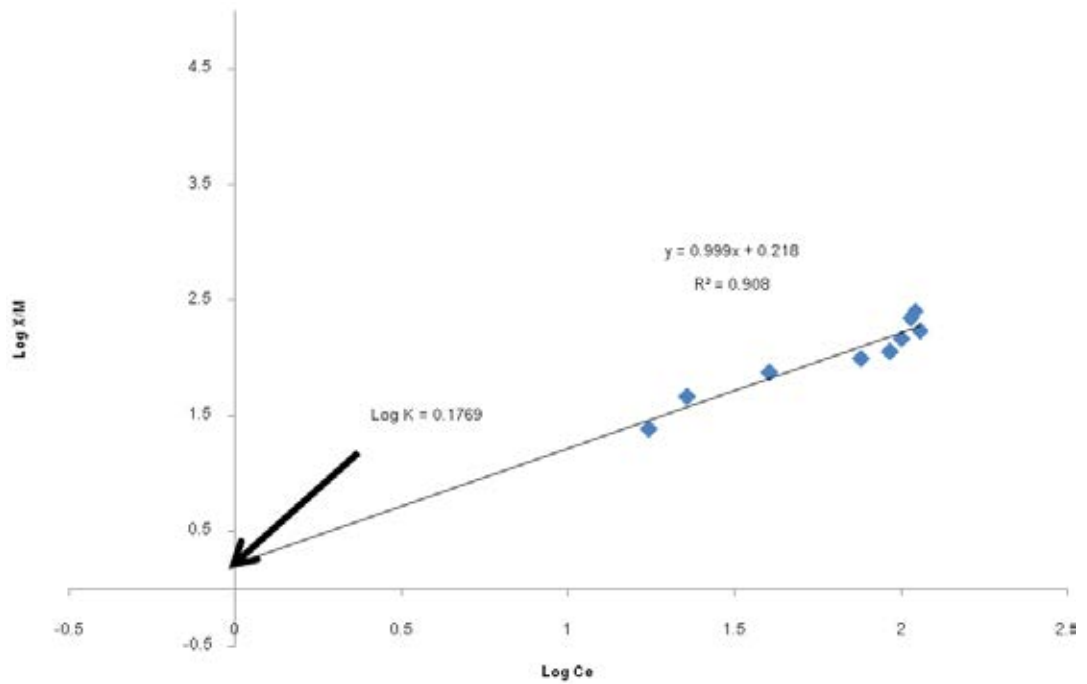
น้ำหนัก ถ่านM (g)	ค่าพีเอช หลังเขย่า	สีเริ่มต้น (Pt-Co)	สีที่จุดสมมูล เฉลี่ย Ce (Pt-Co/l)	สีที่จุดสมมูล Ce (Pt-Co)	สีที่กำจัดได้ X (Pt-Co)	X/M (Pt-Co/g Carbon)
0	8	2,452	2,219	111	-	-
0.01	8	2,452	2,153	108	3	331.10
0.02	8	2,452	1,942	97	14	693.05
0.04	8	2,452	1,657	83	28	702.78
0.1	8	2,452	1,413	71	40	403.11
0.2	8	2,452	1,283	64	47	234.06
0.4	8	2,452	1,153	58	53	133.28
1	8	2,452	742	37	74	73.86
2	8	2,452	357	18	93	44.90
4	8	2,452	413	21	90	19.11



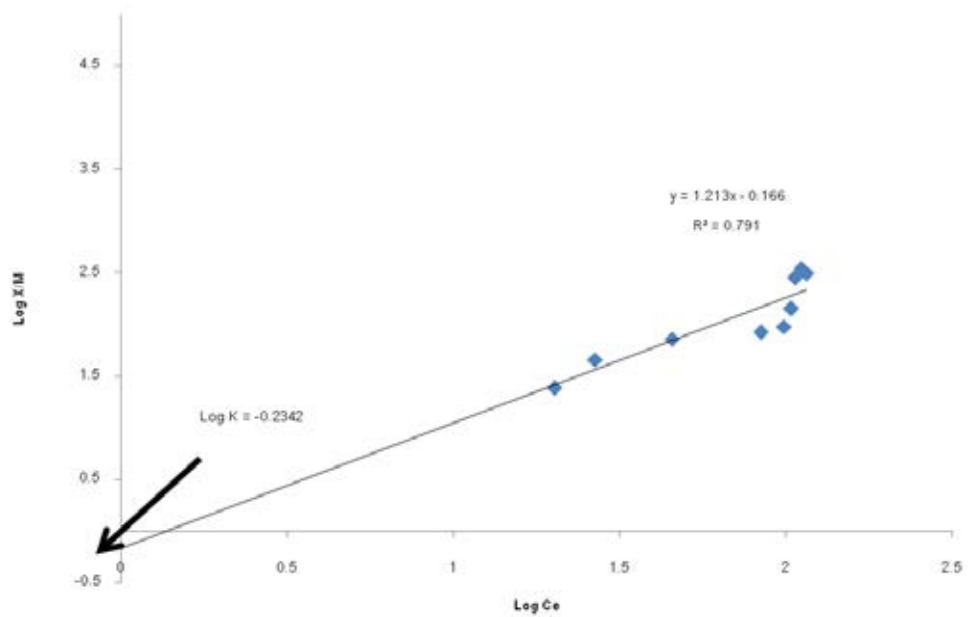
ภาพที่ 4.4 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 4



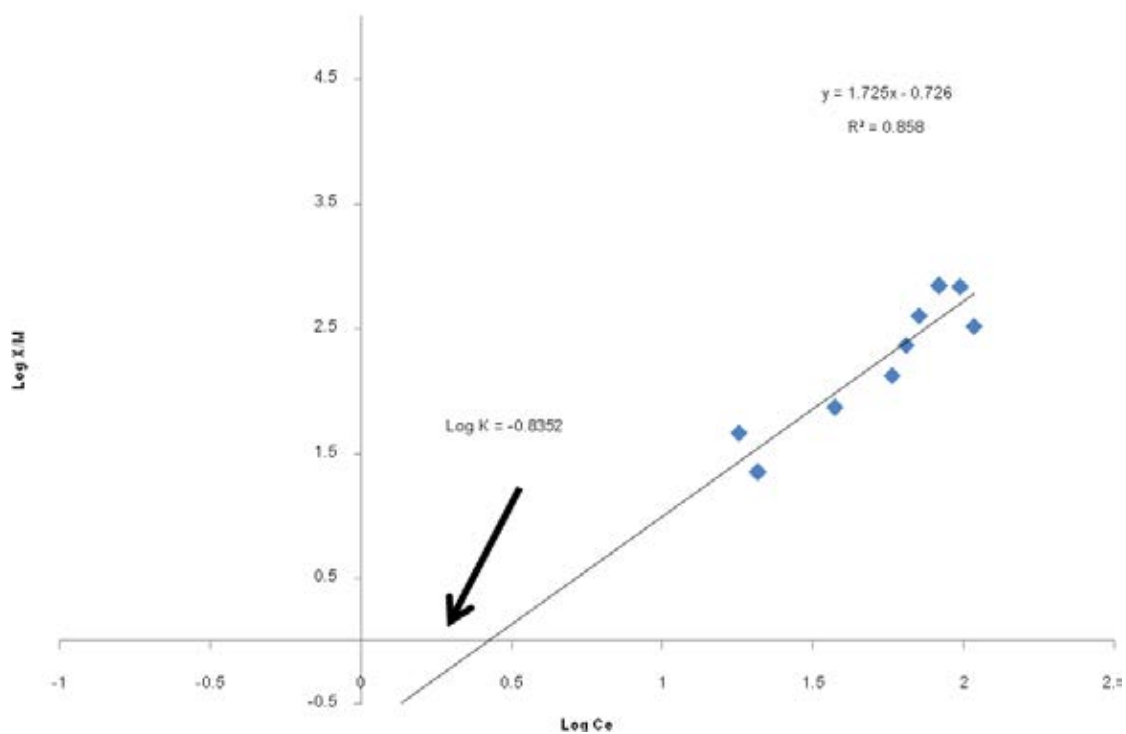
ภาพที่ 4.5 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 5



ภาพที่ 4.6 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 6



ภาพที่ 4.7 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 7



ภาพที่ 4.8 การทดสอบไอโซเทอมแบบพหุนดลิตซ์ของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 8

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่พีเอชต่างๆ

ที่สภาวะต่างๆ (ค่าพีเอช)	K	1/n	1/b X_m	R^2 พหุนดลิตซ์	R^2 แลงมัวร์
4	0.0631	1.947	1.019	0.858	0.935
5	0.04297	2.120	0.922	0.877	0.975
6	1.653	0.999	0.639	0.9099	0.9249
7	0.682	1.213	0.774	0.8013	0.9138
8	0.188	1.725	0.8008	0.858	0.741

การทดลองหาไอโซเทอมการดูดติดผิวตามมาตรฐาน ASTM D3860 – 890 (standard Practice for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon by Aqueous Phase Isotherm Technique) ได้กำหนดน้ำหนักในการทดลองเป็น 10 ค่าน้ำหนักคือ 0.00, 0.01, 0.02, 0.04, 0.10, 0.20, 0.40, 1.00, 2.00, และ 4.00 กรัม นำมาเขย่าหาความสามารถในการดูดติดผิวในรูปของความเข้มข้นที่เหลืออยู่ โดยการเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาทีด้วยระยะเวลา 120 นาที (จากการทดลองที่ 4.3.3)

จากผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 3 ถึงตารางที่ 4. 17 พบว่าที่พีเอชต่างๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นที่เหลืออยู่หลังจากเขย่าจะลดลงไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของถ่านกัมมันต์ที่พีเอชต่างๆ พบว่าที่พีเอช 6 มีค่า $1/n$ เข้าใกล้ 1 มากที่สุด เนื่องจากความสามารถในการดูดติดผิวที่ดีจะมีค่า $1/n$ น้อยกว่า 1 เนื่องจากที่สภาวะทั้งหมดมีค่า $1/n$ สูงกว่า 1 ทั้งหมด มีแค่พีเอช 6 ที่มีค่าใกล้ 1 มากที่สุดคือ 0.999 และที่พีเอช 6 นี้เองก็มีค่า K มากที่สุดคือ 1.653 ซึ่งยิ่งค่า K มีค่ามากก็จะแสดงว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีด้วยเช่นกัน

สำหรับไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ของถ่านกัมมันต์ที่พีเอชต่าง ๆ พบว่าค่า $1/X_m$ ของสมการไอโซเทอมทั้งแบบแลงมัวร์มีค่าเป็นลบในหน่วยแฟลทตินัม-โคบอลต์ต่อกรัมถ่านกัมมันต์ในทุกสภาวะซึ่งในทางทฤษฎีนั้นค่าที่เป็นลบนั้นไม่สามารถเป็นไปได้นำมาคำนวณได้ ผลการศึกษาไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชสำหรับทำนายการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 4, 5, 6, 7 และที่พีเอช 8 นั้นใช้ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชในการทำนายการดูดติดผิว ซึ่งจะมีการคำนวณปริมาณของถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนต่อไป

และเมื่อค่าสมการไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช มาอธิบายการดูดติดผิวในระบบของเหลว โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีสมการดังนี้

$$X/M = KC_e^{1/n}$$

โดยที่ X/M = ปริมาณสารถูกดูดติดผิวน้ำหนักสารดูดติดผิว (มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ โมลต่อกรัม)

C_e = ความเข้มข้นของสารถูกดูดติดผิวในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ โมลต่อกรัม)

K = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดติดผิวของสารดูดติดผิว

$1/n$ = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานการดูดติดผิว

โดยการเปรียบเทียบครั้งนี้ใช้ค่าสี่เริ่มต้นจริงที่ไม่ผ่านขั้นตอนการตกตะกอนโดยมีค่าเท่ากับ 4,714 แพลทตินัมโคบอลต์ และโดยทั่วไปแล้วมาตรฐานของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมจะไม่ได้กำหนดมาตรฐานของสีจากน้ำสีเพียงแต่บอกในเกณฑ์ที่ไม่เป็นที่พึงรังเกียจผู้วิจัยจึงใช้ปริมาณ C_0 ในหน่วยความเข้มข้นที่มีค่าเท่ากับ 120 ในหน่วยแพลทตินัมโคบอลต์ ซึ่งเป็นปริมาณความเข้มข้นที่กำจัดได้สูงสุดจากการทดลองหาไอโซเทอมในสภาวะพีเอชที่เหมาะสม เพื่อเปรียบเทียบปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดติดผิวที่สภาวะต่างๆ โดยเทียบจากสมการไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลการคำนวณปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในสภาวะพีเอชต่าง ๆ

สภาวะต่าง ๆ (พีเอช)	K	1/n	X/M	ปริมาณ ถ่านกัมมันต์ (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณ ถ่านกัมมันต์ (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
พีเอชเริ่มต้น (5)	3.75	1.20	538.65	82	81,585
พีเอชคงที่เท่ากับ 4	0.06	1.95	14.74	134	133,729
พีเอชคงที่เท่ากับ 5	0.04	2.12	10.93	86	85,781
พีเอชคงที่เท่ากับ 6	1.65	1.00	198.16	478	477,578
พีเอชคงที่เท่ากับ 7	0.68	1.21	99.27	416	415,517
พีเอชคงที่เท่ากับ 8	0.19	1.73	38.92	130	129,919

เมื่อคำนวณแล้วจะพบว่าปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดติดผิวน้ำชะขยะให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 120 แพลทตินัมโคบอลต์ต่อน้ำชะขยะจำนวน 1 ลิตรที่สภาวะพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5 และที่สภาวะคงที่เท่ากับ 5 นั้นจะมีค่าปริมาณถ่านกัมมันต์ต่อลิตรน้อยที่สุดคือ 82 และ 86 กรัมต่อลิตร หรือเท่ากับ 81.59 และ 85.78 กิโลกรัมต่อลิตร ซึ่งในการนำไปใช้งานจริงนั้นจะต้องมีการคำนวณจุดยุติ หรือจุดที่การดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์เริ่มทำงานไม่ได้ประสิทธิภาพ และมีประสิทธิภาพในการดูดติดผิวน้อย ๆ ลดลง จนถ่านกัมมันต์หมดสภาพจนไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้อีก เพื่อคำนวณปริมาณต่อหน่วยที่ใช้ในการดูดติดผิวประกอบกับคำนวณจำนวนการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์

4.3.5 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นและค่าซีโอดีของน้ำชะขยะที่เหลือจากการดุดูดผิวด้วย ถ่านกัมมันต์

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นและค่าซีโอดีของน้ำชะขยะที่ผ่านการดุดูดผิว ด้วยถ่านกัมมันต์ 82 กรัมต่อลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 5 ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นและค่าซีโอดีของน้ำชะขยะเริ่มต้น ดังแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4. 20 ผลการวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นและค่าซีโอดีของน้ำชะขยะที่เหลือจากการดุดูดผิวด้วยถ่านกัมมันต์

พารามิเตอร์	น้ำชะขยะ		ประสิทธิภาพ การกำจัด (ร้อยละ)	มาตรฐาน น้ำทิ้งของ (กนอ.)
	ค่าเฉลี่ยก่อนการ ดุดูดผิว	ค่าเฉลี่ยหลังการ ดุดูดผิว		
ค่าซีโอดี (มก./ลิตร)	55,378	5,739	89.64	750
ค่าความเข้มข้น (Pt.Co)	4,714	120	97.45	ไม่เป็นที่พึง รังเกียจ
ค่าพีเอช	7.26	5.57	-	5.5-9.0
Cr (ppm)	0.357	0.162		2.0
Cd (ppm)	<0.05	<0.05		0.03
Pb (ppm)	<0.3	<0.3		0.2

พบว่าจากการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นและค่าซีโอดีของน้ำชะขยะที่ผ่านการดุดูดผิว ด้วยถ่านกัมมันต์ 82 กรัมต่อลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 5 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและ ประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นร้อยละ 89.64 และ 97.45 ตามลำดับ

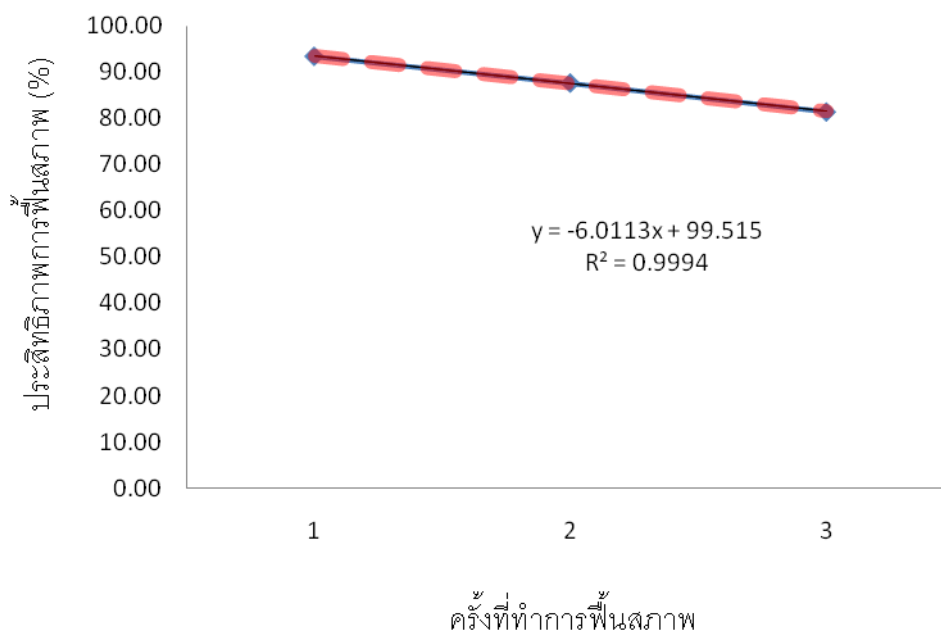
4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกำจัดสีน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตรายด้วยวิธีการผ่านสารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH)

ทำการทดลองโดยนำน้ำชะขยะปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 5 ใสลงในขวดทดลองรูปชมพู่ แล้วเติมถ่านกัมมันต์ ปริมาณ 1, 2.5 และ 5 กรัม ลงในขวดทดลองแต่ละใบ นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ได้จากขั้นตอนการหาเวลาสัมผัสที่มีร้อยละการกำจัดสีที่ดีที่สุด จากนั้นกรองถ่านกัมมันต์ออก วัดค่าพีเอชและความเข้มข้นที่เหลือ แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกำจัดสีมาล้างด้วยสารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH) เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักตามด้วยน้ำกลั่น นำไปอบแห้ง ซึ่งน้ำหนักที่เหลือและนำมาดูดติดสีน้ำชะขยะอีกครั้ง และทำการฟื้นฟูสภาพซ้ำอีก 2 รอบ เพื่อหาประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.21 และภาพที่ 4.9

ตารางที่ 4.2 1 ประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำชะขยะหลังการฟื้นฟูสภาพและประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์

ครั้งที่	น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ค่าพีเอช หลังเขย่า	ร้อยละ การกำจัดสี	ประสิทธิภาพการฟื้นฟูสภาพ (ร้อยละ)
ก่อนฟื้นฟูสภาพ	1	5.19	95.55	-
1	1	5.20	87.79	91.88
2	1	5.17	83.37	87.25
3	1	5.15	76.11	79.65

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.21 ผลที่ได้หลังจากการนำถ่านกัมมันต์มากำจัดสีอีกครั้ง พบว่ามีประสิทธิภาพลดลงตามลำดับครั้งที่ฟื้นฟูสภาพ โดยถ่านกัมมันต์มี ประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพเฉลี่ยครั้งแรก เท่ากับ ร้อยละ 93.42 ครั้งที่สองเท่ากับร้อยละ 87.66 และครั้งที่สามเท่ากับร้อยละ 81.39 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.9 แนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัดสีน้ำชะขยะหลังการพ่นสภาพถ่านกัมมันต์

เมื่อนำประสิทธิภาพในการพ่นสภาพถ่านกัมมันต์เฉลี่ยมาพิจารณาถึงจำนวนครั้งที่จะสามารถทำการพ่นสภาพได้ โดยเขียนเส้นแนวโน้มของประสิทธิภาพการพ่นสภาพของถ่านกัมมันต์ดังภาพที่ 4.13 พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถคำนวณสมการเส้นตรงได้เท่ากับ $y = -6.011x + 99.51$ ค่า $R^2 = 0.999$ โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพในการใช้งานนั้นประมาณร้อยละ 60 นั้นถือว่าเป็นการยอมรับได้ ดังนั้นเมื่อแทนค่า y เท่ากับ 60 ก็จะได้จำนวนครั้งที่สามารถทำการพ่นสภาพได้เท่ากับ 6.57 หรือเท่ากับ 6 ครั้ง แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการกำจัดสีจะลดลงตามลำดับครั้งที่พ่นสภาพ และปริมาณถ่านกัมมันต์หลังการพ่นสภาพก็จะลดลงอย่างไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับวิธีการล้างและเครื่องมือที่ใช้ในการล้างถ่านกัมมันต์ด้วย

4.5 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ขั้นตอนการตกตะกอน

ในการทดลองนั้นใช้สารส้ม 75 กรัมต่อน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร และใช้ปริมาณสารโพลีเมอร์ 0.5 กรัม และใช้กรดซัลฟิวริกในการปรับพีเอช 4 มิลลิลิตร เมื่อเทียบเป็นปริมาณ 1 ลบ.ม. จะได้ว่า

- 1). ในการปรับพีเอชน้ำเสียปริมาณ 500 มิลลิลิตร ใช้ปริมาณกรด 4 มิลลิลิตร
ถ้า 1 ลบ.ม. จะต้องใช้สารกรด $\frac{1 \text{ ลบ.ม.} \times 1000 \text{ ลิตร} \times 1000 \text{ มิลลิลิตร} \times 4 \text{ มล.}}{500 \text{ มิลลิลิตร}}$

เท่ากับ 8,000 มล หรือ 8 ลิตร

โดยทั่วไปตามท้องตลาดกรดซัลฟิวริก 2,500 มิลลิลิตรประมาณ 250 บาทต่อขวด
ใช้ประมาณ $4 \times 250 = 1000$ บาท/ลูกบาศก์เมตร

- 2) ปริมาณน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร ใช้สารส้ม 75 กรัม
ถ้า 1 ลบ.ม.จะต้องใช้สารส้ม $\frac{1 \text{ ลบ.ม.} \times 1000 \text{ ลิตร} \times 1000 \text{ มิลลิลิตร} \times 75 \text{ กรัม}}{500 \text{ มิลลิลิตร}}$

เท่ากับ 150,000 กรัม หรือ 150 กิโลกรัม

โดยทั่วไปตามท้องตลาดสารส้มราคาประมาณ 4.5 บาทต่อกิโลกรัม
ถ้าใช้ 150 กิโลกรัม จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ $150 \times 4.5 = 675$ บาทต่อลูกบาศก์เมตร

- 3). ปริมาณน้ำเสีย 500 มิลลิลิตร ปริมาณสารโพลีเมอร์ 0.5 กรัม
ถ้า 1 ลบ.ม. จะต้องใช้สารโพลีเมอร์ $\frac{1 \text{ ลบ.ม.} \times 1000 \text{ ลิตร} \times 1000 \text{ มิลลิลิตร} \times 0.5 \text{ กรัม}}{500 \text{ มิลลิลิตร}}$

เท่ากับ 1,000 กรัม หรือ 1 กิโลกรัม

โดยทั่วไปตามท้องตลาดสารโพลีเมอร์ราคาประมาณ 100 บาทต่อกิโลกรัม
ถ้าใช้ 1 กิโลกรัม จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ $100 \times 1 = 100$ บาทต่อลูกบาศก์เมตร

- 4) ในขั้นตอนการดูดติดผิวนั้นจะมีการปรับพีเอช
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 นอร์มอล ประมาณ 10 มิลลิลิตร
ถ้า 1 ลบ.ม. จะต้องใช้สารปรับพีเอช $\frac{1 \text{ ลบ.ม.} \times 1000 \text{ ลิตร} \times 1000 \text{ มิลลิลิตร} \times 10 \text{ มิลลิลิตร}}$

500 มิลลิลิตร

เท่ากับ 20,000 ,มิลลิลิตร หรือ 20 ลิตร

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 นอร์มอล

จะต้องใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 200 กรัม/ลิตร

โดยทั่วไปตามท้องตลาดโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1000 กรัม/ขวดละ 140 บาท

ถ้าใช้ 20 ลิตรจะต้องใช้ประมาณ $200 \text{ กรัม} \times 20 \text{ ลิตร} \times 140 \text{ บาท}$ $1 \text{ ลิตร} \times 1000 \text{ กรัม}$

จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 660 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

5) ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดติดผิวปริมาณ 4 กรัมต่อน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร

ถ้า 1 ลบ.ม. จะต้องใช้ถ่านกัมมันต์ $1 \text{ ลบ.ม.} \times 1000 \text{ ลิตร} \times 1000 \text{ มิลลิลิตร} \times 4 \text{ กรัม}$

50 มิลลิลิตร

เท่ากับ

80,000 ,กรัม หรือ 80- กิโลกรัม

โดยทั่วไปตามท้องตลาดถ่านกัมมันต์ กิโลกรัมละ 12 บาท

ถ้าใช้ 80 กิโลกรัมโดยการใช้งานจะสามารถนำมาฟื้นฟูสภาพได้ 3 ครั้ง

เท่ากับใช้ถ่านกัมมันต์ $12 \times 80 = 320$ บาทต่อลูกบาศก์เมตร

3

รวมค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตรายโดยใช้กระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้มและใช้สารโพลีเมอร์ชนิดประจุลบเป็นตัวช่วยตกตะกอนและทำการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์นั้นมีค่าใช้จ่ายต่อปริมาณน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรเท่ากับ 2,755 บาท

โดยค่าใช้จ่ายนี้ไม่ได้รวมค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณค่าแรงในการทำงานและค่าไฟฟ้าของเครื่องต่างๆในการทดลอง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าการศึกษาการตกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์ ด้วยสารส้มและสารโพลิเมอร์ เป็นสารสร้างตะกอนและสารช่วยสร้างตะกอนตามลำดับนั้น ผลการศึกษาพบว่า การตกตะกอน นั้นต้องใช้ปริมาณสารส้มในปริมาณที่มากจึงจะทำให้ น้ำเสียเกิดการตกตะกอนให้ไม่เหมาะสมกับการลงทุน อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและสีไม่ดีเท่าที่ควร จึงควรมีการศึกษาลักษณะ น้ำเสียให้ละเอียดเพื่อที่จะหาวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ถูกต้องและเหมาะสมต่อไป

ในการทดสอบการดูดติดผิว น้ำชะขยะด้วยถ่านกัมมันต์นั้นมีการดูดติดผิวโดยการคำนวณ ไอโซเทอมในรูปแบบของฟรุนดลิช แต่หากจะต้องการออกแบบระบบการดูดซับควรจะมีการศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการดูดติดผิวร่วมด้วยเพื่อนำเอาค่าต่างนั้นไปคำนวณในการออกแบบ ระบบ ซึ่งรายละเอียดของผลการศึกษาทั้งหมดจะได้นำเสนอในหัวข้อดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลการศึกษาการตกตะกอนโดยใช้การทำจาร์เทสต์ โดยใช้สารส้ม เป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลิเมอร์เป็นสารช่วยตกตะกอน

ประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอดีและสีของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสีย อันตรายเมื่อเปรียบเทียบด้วยกันแล้วจะมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 41.87 และ 49.10 ตามลำดับ และปริมาณสารส้มที่ใช้และปริมาณโพลิเมอร์ประจุลบที่ใช้เท่ากับ 50 กรัมต่อลิตรที่พีเอชเท่ากับ 6 ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีโอดีและสีของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตรายจะมีค่าสูงแต่หากเปรียบเทียบกับปริมาณสารส้มที่ใช้แล้วนั้นถือว่าเป็นปริมาณที่สูง โดยการลงทุนทั่วไปไม่สามารถทำการดำเนินการได้เนื่องจากต้องเตรียมสารในปริมาณสูง อีกทั้งตะกอนที่ได้ออกมานั้นส่วนมากจะเป็นตะกอนของอะลูมิเนียมซัลเฟต ซึ่งต้องมีการกำจัดตามวิธี ที่ถูกต้องทำให้เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการกำจัดต่อหน่วยเพิ่มขึ้น และลักษณะน้ำเสียที่นำมาทดลองครั้งนี้ยังมีลักษณะตะกอนที่ไม่ละลายน้ำจำนวนมากจึงไม่เหมาะแก่การบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยสารส้ม และการเติมสารส้มลงไปนั้นเป็นการเพิ่มปริมาณของเสียในรูปตะกอนที่ไม่ละลายน้ำด้วยเช่นกัน

5.1.2 ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์

1) ค่าพีเอชที่เหมาะสม

ทำการทดลองที่พีเอช 2 – 9 พบว่าค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิวน้ำชะขยะ โดยมีการดูดติดผิวสูงสุดที่พีเอช 5 เท่ากับร้อยละ 70.06 และ 35.22 สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีไอดีตามลำดับเมื่อเทียบกับค่าที่ได้หลังจากขั้นตอนการตกตะกอน

2) เวลาสัมผัสที่เหมาะสม

ทำการทดลองที่ระยะเวลาสัมผัส 0 ถึง 240 นาที พบว่าถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพลดสีโดยการดูดติดผิวอยู่ในช่วงร้อยละ 13.12 ถึง 79.73 และมีประสิทธิภาพในการลดซีไอดีโดยการดูดติดผิวอยู่ในช่วงร้อยละ 4.41 ถึง 49.18 เมื่อเทียบระยะเวลาและร้อยละการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์จึงได้ช่วงเวลาที่เหมาะสมคือ 120 นาที

3) ไอโซเทอมการดูดติดผิว

จากผลการศึกษาไอโซเทอมทั้งสองแบบ พบว่าสมการไอโซเทอมทั้งแบบแลงมัวร์และแบบฟรุนดลิชมีความเหมาะสมที่จะนำมาทำนายกลไกการกำจัดสีของน้ำชะขยะใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่า R^2 ของทั้งสองนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่จากผลการทดลองค่า $1/X_m$ ของสมการไอโซเทอมทั้งแบบแลงมัวร์เท่ากับ -0.0001 แพลทตินัม-โคบอลต์ต่อกรัมถ่านกัมมันต์โดยในทางทฤษฎีนั้นไม่สามารถเป็นไปได้ จึงทำให้กลไกที่ใช้ทำนายการดูดติดผิวจะมีแนวโน้มไปในรูปแบบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

ประสิทธิภาพในการลดปริมาณซีไอดีและสีของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตรายจากการดูดติดผิวน้ำชะขยะที่ผ่านการตกตะกอนโดยสารสัมพันธ์กับโพลีเมอร์พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีไอดีและสีของน้ำชะขยะทั้งหมดมีค่าเท่ากับร้อยละ 89.64 และ 97.45 ตามลำดับ โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 82 กรัมต่อลิตรที่พีเอชเท่ากับ 5

5.1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกำจัดสีน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตรายด้วยวิธีการผ่านสารละลายกรดอะซิติก(CH_3COOH)

การฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการผ่านสารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH) ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง พบว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการฟื้นฟูสภาพเฉลี่ยในครั้งแรกเท่ากับ ร้อยละ 93.42 ครั้งที่สอง 87.66 และครั้งที่สามเท่ากับร้อยละ 81.39 ตามลำดับ และเมื่อคำนวณแนวโน้มของจำนวนครั้งที่สามารถทำการฟื้นฟูสภาพได้ พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถนำกลับมาฟื้นฟูสภาพได้ถึง 6 ครั้ง ที่ประสิทธิภาพร้อยละ 60

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

1. การใช้วิธีการตกตะกอนด้วยสารส้มในการลดปริมาณซีโอดีและสีน้ำชะขยะที่มีลักษณะของตะกอนแขวนลอยสูงนั้น ไม่เหมาะสมเนื่องจากต้องใช้ปริมาณสารส้มที่มากเกินไปในการช่วยให้สารเหล่านั้นตกตะกอนลงมาเพื่อลดปริมาณซีโอดีและสีน้ำชะขยะมาก ซึ่งไม่เหมาะต่อการลงทุนทางอุตสาหกรรม ดังนั้นควรมีการหาวิธีการอื่นที่มีประสิทธิภาพมากกว่านี้เช่น การบำบัดแบบ MBR

2. การศึกษาวิธีการกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตราย โดยกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์ โดยเฉพาะกลุ่มโลหะหนักเช่น Hg ,Cr และ Cd เป็นต้น

3. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นจากน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบของเสียอันตราย โดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ซึ่งคาดว่าจะมีค่า VOC ปนเปื้อนอยู่เป็นจำนวนมาก

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จักริน นักร้อง. การกำจัดสีจากน้ำชะขยะมูลฝอยโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด, 2545. รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม
โครงการพื้นที่ฝังกลบกากของเสียอุตสาหกรรม(ส่วนขยาย)นิคมอุตสาหกรรม
มาบตาพุด จังหวัดระยอง. กรุงเทพมหานคร.
- มันดิน ตันฑุลเวศม์. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 2, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม. หลักเกณฑ์หลุมฝังกลบอย่าง
ปลอดภัย (Secure Landfilling) สำหรับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสีย
อันตราย (Industrial Hazardous Waste) ซึ่งผ่านการทำลายฤทธิ์หรือปรับเสถียร
และทำก่อนแข็งมาแล้ว. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: [http://www2.diw.go.th/
iwmb/form/waste_doc_cd/หลุมอันตรายnew.pdf](http://www2.diw.go.th/iwmb/form/waste_doc_cd/หลุมอันตรายnew.pdf) [2552, มีนาคม 10]
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม . คู่มือหลักปฏิบัติที่ดีสำหรับการ
ให้บริการบำบัดกำจัดกากอุตสาหกรรม. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: [http://www2.
diw .go.th /iwmb/form /factory1.pdf](http://www2.diw.go.th/iwmb/form/factory1.pdf) [2554, มีนาคม 10]
- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. ของเสียอันตราย. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: [http://teenet.tei.or.th/
Database GIS/hazard.html](http://teenet.tei.or.th/Database GIS/hazard.html) [2552, เมษายน 1]
- สัญญาวัล อิงคภาคย์. ประสิทธิภาพการลดซีไอดี และสีออกจากน้ำชะขยะมูลฝอยด้วยกระบวนการ
ดูดติดผิวโดยถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ . , สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,
2539.
- อุตสาหกรรม , กระทรวง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มอก. 900 - 2547. กรุงเทพมหานคร, 2547.

ภาษาอังกฤษ

- American Public Health Association. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water 21th Edition. Washington DC.
- American Society for Testing and Materials. 2000. Standard Test Method for Color of Clear Liquids, ASTM D109. Annual Book of ASTM standards 06,04. Philadelphia: ASTM.
- Amirtharajah, A., and Mills, P. 1982. Rapid mix design for mechanism of alum coagulation. JAWWA, 74,4 : 210–216
- Cheasavathi, T. Removal of colour , COD and manganese from wastewater of jean bleaching factory by chemical coagulation with aluminium sulphate. Master' Thesis Department of Environmental Science Faculty of Science Kasetsart University, 1992.
- Cheresmisinoff, P.N ,and Ellerbusch, F. 1978. Carbon Adsorption Handbook. Michigan: Ann Arbor Science.
- 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.
- Frederick, W.P. 1990. Water Quality and Treatment. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Hassler, J.W. 1974. Purification with activated carbon. 3rd ed. New York: Chemical Publishing.
- Kawamura, K. ,and Jenkins, G. M. 1976. Polymeric carbons carbon fibre glass and char. New York: Cambridge University Press.
- Kurniawan, T. A., Lo, W.H., ,and Chan, G.Y. 2006. Degradation of recalcitrant compounds from stabilization landfill leachate using a combination of ozone-GAC adsorption treatment. Journal of Hazardous Materials 137 : 443 – 455
- Lee, M.C., Snoeyink, V.L. ,and Crittenden , J.C. 1981. Activated carbon adsorption of humic substrates. JAWWA 73,8 :440-454

- Lee, M.C., Snoeyink, V.L. ,and Crittenden , J.C. 1983. Activated carbon beds to remove humic substrates. ASCE ,Journal of environmental engineering division,109,3 : 631 -645.
- Luhadai, 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.
- Lyman, W.J. 1987. Applicability of Carbon adsorption to the treatment of hazardous industrial waste water., in Cheresmisinoff, P.N and Ellerbusch, F. Carbon adsorption handbook. Michigan: Ann Arbor Science.
- Marco Guidaa, Marialuisa Matteia, Claudio Della Roccab, Giovanni Mellusoc ,and Süreyya Meriç. 2007. Optimization of alum-coagulation/flocculation for COD and TSS removal from five municipal wastewater. Desalination 211 : 113 – 127.
- Metcalf and Eddy, Inc. 1991. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. 3rd edition. New York : McGraw-Hill.
- Mihelcic, J.R. 1999 Fundamentals of environmental engineering. New York: John Wiley and Sons.
- Morrow, J.J. ,and Rausch, E.G .1974. Colloid destabilization with cationic polyelectrolytes as affected by velocity gradients. JAWWA. 66,11 : 646–652.
- Randtke, S.J. ,and Snoeyink, V.L. 1993. Evaluating GAC adsorptive capacity. JAWWA 75: 406- 413.
- Samuel, D.F. ,and Osman, M.A. 1983. Chemistry of Water Treatment. Michigan: An Ann Arbor Science Book.
- Satyawali Y. ,and Balakrishnan M. 2007. Removal of color from biomethanated distillery spentwash by treatment with activated carbons. New Delhi: TERI University.
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 1979. Federal Register 44:69464 ed.
- Valencia, G. ,and Gloyna, E.F. 1972. On the synthesis of activated column design data. Texas: Bureau of Engineering Research. p.235.

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

Yehaskel, A. 1978. Activated carbon : Manufacture and regeneration. New Jersey: Noyes data Corporation.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
ภายในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมภายในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้ระบายได้	
		ระบบรวมน้ำเสีย ส่วนกลาง	แหล่งน้ำสาธารณะ
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	-	5.5-9.0	5.5-9.0
2. ค่าที่ดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	มิลลิกรัม/ลิตร	3,000	3,000
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	มิลลิกรัม/ลิตร	200	50
4. อุณหภูมิ (Temperature)	°C	45	40
5. สี	-	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
6. กลิ่น			
7. ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.0	1.0
8. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.2	0.2
9. น้ำมันและไขมัน Fat, Oil and Grease)	มิลลิกรัม/ลิตร	10.0	5.0
10. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.0	1.0
11. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.0	1.0
12. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.0	1.0
13. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัด ศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	มิลลิกรัม/ลิตร	ต้องตรวจไม่พบตาม วิธีตรวจสอบที่ กำหนด	ต้องตรวจไม่พบ ตามวิธีตรวจสอบที่ กำหนด

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมภายในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้ระบายได้	
		ระบบรวมน้ำเสีย ส่วนกลาง	แหล่งน้ำสาธารณะ
14. ค่าบีโอดี (5 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	มิลลิกรัม/ลิตร	500	20
15. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	มิลลิกรัม/ลิตร	100	100
16. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	มิลลิกรัม/ลิตร	750	120
17. โลหะหนัก (Heavy Metal)			
17.1. สังกะสี (Zn)		5.0	5.0
17.2. โครเมียมชนิดเฮกซะวา เลนต์ (Hexavalent Chromium)		0.25	0.25
17.3. โครเมียมชนิดไตรวา เลนต์ (Trivalent Chromium)		0.75	0.75
17.4. ทองแดง (Cu)		2.0	2.0
17.5. แคดเมียม (Cd)		0.03	0.03
17.6. แบเรียม (Ba)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.0	1.0
17.7. ตะกั่ว (Pb)		0.2	0.2
17.8. นิกเกิล (Ni)		1.0	1.0
17.9. แมงกานีส (Mn)		0.5	0.5
17.10. อาร์เซนิก (As)		0.25	0.25
17.11. เซเลเนียม (Se)		0.02	0.02
17.12. ปรอท (Hg)		0.005	0.005
17.13. เหล็ก (Fe)		1.0	-

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมภายในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้ระบายได้	
		ระบบรวมน้ำเสีย ส่วนกลาง	แหล่งน้ำสาธารณะ
17.14. เงิน (Ag)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.0	-
18. ฟลูออไรด์ (F)	มิลลิกรัม/ลิตร	5.0	5.0
19. สารกัมมันตภาพรังสี (Radioactive)	มิลลิกรัม/ลิตร	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ
20. ผงซักฟอก (Surfacetants)	มิลลิกรัม/ลิตร	30.0	ตรวจไม่พบ

ที่มา : ประกาศการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ 45/2541 ลงวันที่ 11 พฤศจิกายน 2541

ภาคผนวก ข.

วิธีการวัดสีของน้ำในหน่วยแพลทตินัมโคบอลต์ (Pt-Co)

วิธีการวัดสีโดยวิธีเปรียบเทียบแพลทตินัมโคบอลต์มาตรฐาน (Platinum Cobalt standard)

1) เครื่องมือ

1.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

1.2 ระบบกรอง

- Filtration Flasks ขนาด 500 มิลลิลิตร
- Bushner Funnel No 180/70
- ภาชนะกรอง Glass Fiber Filter GF/C (ขนาดรูพรุน 1.2 ไมครอน)

2) สารเคมี

2.1 สารละลายมาตรฐานคลอโรแพลทตินัม

สารละลายโพแทสเซียมคลอโรแพลทตินัม (Potassium Chloroplatinate, K_2PtCl_6) 0.1246 กรัม และผลึกโคบอลต์คลอไรด์ (Cobalt Chloride, $CoCl_2 \cdot H_2O$) 0.1 กรัม ในน้ำกลั่นที่มีกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) อยู่ 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 1 ลิตร จะได้ละลายที่มีความเข้มข้นสี 500 หน่วย

ตาราง การเตรียมสารละลายมาตรฐานความเข้มสี 0 – 500 หน่วยสี

สีในหน่วยแพลทตินัม-โคบอลต์ (Pt-Co)	จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายที่มีความเข้มสี 500 หน่วย (มล)
0	-
25	2.5
50	5.
100	10
150	15
200	20
300	30
350	35
400	40
450	45
500	50

2.2 นำสารละลายมาตรฐานแพลตตินัมโคบอลต์ ซึ่งมีความเข้มข้นแตกต่างกัน จาก 0 ถึง 500 ไปอ่านค่าแอมซอบแนนซ์ (Absorbance) จากเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 455 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่โดมิแนนท์สูงสุดสำหรับสีของน้ำชะขยะ สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าแอมซอบแนนซ์กับค่าความเข้มข้นในหน่วยแพลตตินัมโคบอลต์ เพื่อใช้เทียบความเข้มข้นของน้ำตัวอย่าง ได้ดังภาพ

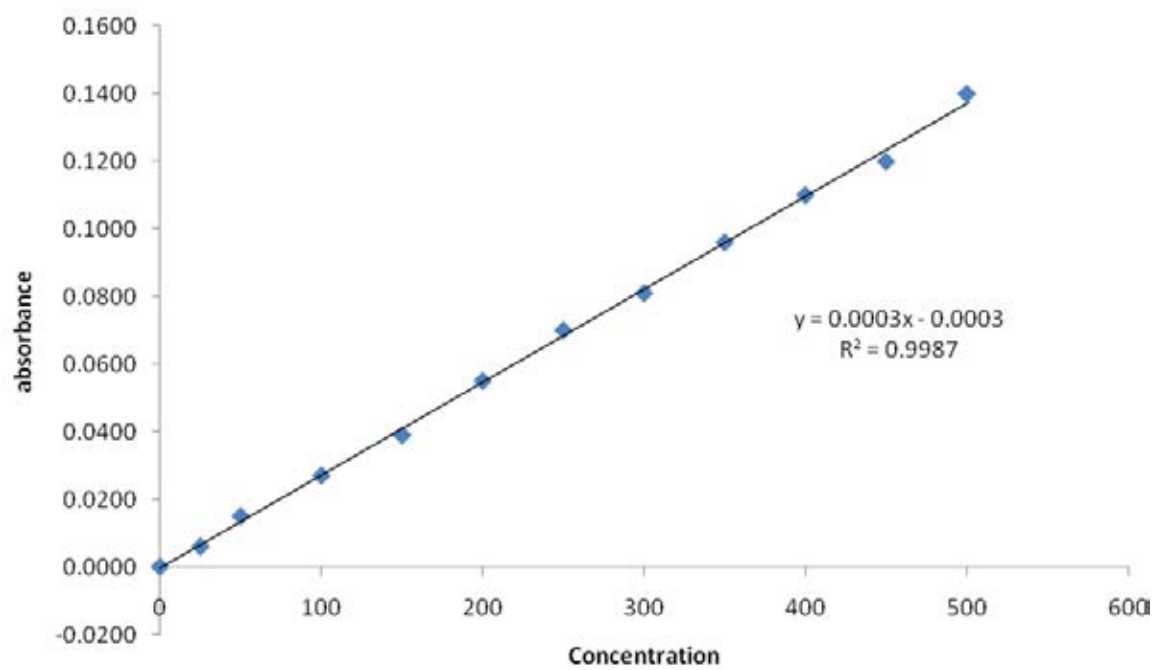
$$A = 0.0003 \times \text{Conc}$$

Selected Fit : Linear to Zero

Coefficient : 0.9987

Standard	Conc.	Absorbance
Standard01	0	0
Standard02	25	0.006
Standard03	50	0.015
Standard04	100	0.027
Standard05	150	0.039
Standard06	200	0.055
Standard07	250	0.07
Standard08	300	0.081
Standard09	350	0.096
Standard10	400	0.11
Standard11	450	0.12
Standard12	500	0.14

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นหน่วยแพลตตินัมโคบอลต์ (Pt-Co) กับค่าแอมซอบแนนซ์ (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 455

Standard curve. fqc Calibration Graph

ภาคผนวก ค.

วิธีการวิเคราะห์ซีไอตีวิธี Closed reflux titrimetric

การวิเคราะห์ซีโอดีวิธี Closed reflux titrimetric

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.1 หลอดทดลองทนความร้อน
- 1.2 เตาอบให้ความร้อน
- 1.3 บิวเรต
- 1.4 ขวดรูปชมพู่

2) สารเคมี

2.1 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.01667 นอร์มอล เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 4.903 กรัมในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และ เมอร์คิวรีซัลเฟต ($HgSO_4$) ชนิดผลิตภัณฑ์หรือเป็นผง 33.3 กรัม ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นก่อนปรับปริมาตร 1 ลิตร

2.2 Sulfuric acid reagent เตรียมโดยละลายซิลเวอร์ซัลเฟต ($AgSO_4$) 8.8 กรัม ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมด ก่อนนำไปใช้ต่อไป

2.3 สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยละลาย 1-10 พีแวนโทรลีนโมโนไฮเดรต ($C_{12}H_6N_2 \cdot H_2O$) จำนวน 1.485 กรัม และเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) จำนวน 0.695 กรัมปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2.4 สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (ferrous ammonium sulfate : FAS) เตรียมที่ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล เตรียมสารละลายโดยละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$) จำนวน 39 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตร 1 ลิตร

3) การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต (0.01667 นอร์มอล) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และเติม sulfuric acid reagent 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมเฟอร์โรอิน 2-3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

การคำนวณความเข้มข้นสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

$$\text{ความเข้มข้น FAS (นอร์มอล)} = \frac{\text{ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (มล.)} \times 0.1}{\text{ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (มล.)}}$$

4) วิธีการวิเคราะห์

4.1 เติมตัวอย่างที่เจือจางเหมาะสม (ซีไอดีระหว่าง 500 – 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) 5 มิลลิลิตรในหลอดทดลองสำหรับย่อยตัวอย่าง

4.2 เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 3 มิลลิลิตร ค่อยๆเติม Sulfuric acid reagent 7 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเพื่อป้องกันการระเบิดเนื่องจากความร้อนสะสมจาก Sulfuric acid reagent ที่ก้นหลอด

4.3 อบทิ้งไว้ในเตาอบที่อุณหภูมิ 150 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำออกจากตู้อบแล้วปล่อยให้เย็น

4.4 เทสารละลายในหลอดใส่ขวดรูปชมพู่ ชะสารละลายที่ตกค้างในหลอดด้วยน้ำกลั่น

4.5 เติมเฟอร์โรอิน 2-3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตโพแทสเซียมไดโครเมตที่เกินพอด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เมื่อถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากสีเขียวปนน้ำเงินเป็นสีน้ำตาลปนแดง ทำ blank เช่นเดียวกับตัวอย่างโดยใช้น้ำกลั่น 5 มิลลิลิตรแทนตัวอย่าง

หลอดทดลองต้องกำจัดสารอินทรีย์ตกค้างโดยล้างด้วยกรดซัลฟูริกร้อยละ 20 ตามด้วยการล้างน้ำกลั่น 2 ครั้ง และอบแห้งก่อนใช้

5) การคำนวณค่าซีไอดี

$$\text{ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A-B) \times N \times 8.000}{\text{มิลลิลิตรของน้ำตัวอย่าง}}$$

- เมื่อ
- A = ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไตเตรท blank
 - B = ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไตเตรทตัวอย่างน้ำ
 - N = ความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) , นอร์มอล

ภาคผนวก ง.
ผลการศึกษาดกตะกอนโดยวิธีจาร์เทสต์ ด้วยสารส้มและโพลิเมอร์
เป็นสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน

1) วิธีการคำนวณปริมาณสารส้มที่เติมลงไปใต้น้ำเสีย

การคำนวณสารละลายเข้มข้นให้เจือจางลงจำนวนโมลตัวละลายก่อนและหลังการทำให้เจือจางจะมีค่าเท่าเดิม

$$\text{ดังนั้น} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 = ความเข้มข้นของสารส้มที่เตรียมก่อนเติมลงในน้ำเสีย (กรัมต่อลิตร)

C_2 = ความเข้มข้นของสารส้มที่ต้องการใต้น้ำเสีย (กรัมต่อลิตร)

V_1 = ปริมาตรสารส้มในความเข้มข้นที่เตรียมไว้ (มิลลิลิตร)

V_2 = ปริมาตรน้ำเสียตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

ตัวอย่าง เตรียมสารละลายสารส้มเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก(500 กรัมต่อลิตร) ต้องการเติมลงในน้ำชะขยะปริมาตร 500 มิลลิลิตร ให้ได้ความเข้มข้นสารส้มเท่ากับ 5 กรัมต่อลิตร

วิธีทำ

$$\text{จากสูตร} \quad C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นของสารส้มที่เตรียมก่อนเติมลงในน้ำเสีย (กรัมต่อลิตร)

C_2 = ความเข้มข้นของสารส้มที่ต้องการใต้น้ำเสีย (กรัมต่อลิตร)

V_1 = ปริมาตรสารส้มในความเข้มข้นที่เตรียมไว้ (มิลลิลิตร)

V_2 = ปริมาตรน้ำเสียตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

แทนค่าในสูตร

$$500 \times V_1 = 5 \times (500 + V_1)$$

$$\therefore V_1 = \frac{5 \times 500}{495} = 5.05 \text{ มิลลิลิตร}$$

495

นั่นคือเติมสารละลายสารส้ม 5.05 มิลลิลิตร ลงในน้ำชะขยะปริมาตร 500 มิลลิลิตร

จะได้สารละลายสารส้มความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย ตามต้องการ

ผลการตกตะกอนโดยการทำจาร์เทสต์ โดยใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนและใช้สารโพลีเมอร์เป็นสารช่วยสร้างตะกอน
 ตารางที่ ง 1 ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตกตะกอน

ค่าพีเอช เริ่มต้น	ความ เข้มข้น สารส้ม (กรัม/ลิตร)	ปริมาตร สารส้ม (มิลลิลิตร)	ค่าซีโอดี เริ่มต้น (มล.ก/ล)	ค่าซีโอดี เจือจาง (มล.ก/ล)	ค่า ซีโอดี หลังตกตะกอน (มล.ก/ล)			เฉลี่ย	ประสิทธิภาพในการลดซีโอดี (ร้อยละ)
					ครั้งที่				
					1	2	3		
7.26	5	5.05	55,378	54,824	49,392	47,164	48,444	48,000	12.45
7.26	10	10.20	55,378	54,270	44,322	42,257	43,021	43,200	20.40
7.26	15	15.46	55,378	53,717	40,583	39,424	38,193	39,400	26.65
7.26	25	26.32	55,378	52,609	38,197	36,603	37,759	37,400	28.91
7.26	50	55.56	55,378	49,840	27,838	24,857	27,360	26,685	46.46

ตารางที่ 2 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน

ค่าพีเอช ก่อน ตกตะกอน	ความ เข้มข้น สารส้ม (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ สารส้ม (มิลลิลิตร)	ค่าพีเอช หลัง ตกตะกอน			เฉลี่ย	ค่าซีโอดี เริ่มต้น (มล.ก/ล)	ค่าซีโอดี เจือจาง (มล.ก/ล)	ค่าซีโอดีหลังตกตะกอน(มล.ก/ล)			เฉลี่ย	ประสิทธิภาพ การลดซีโอดี (ร้อยละ)
			ครั้งที่						ครั้งที่				
			1	2	3				1	2	3		
4	50	55.56	3.44	7.42	3.34	3.40	55,378	46,931	25,074	24,207	24,912	24,731	47.30
5	50	55.56	4.42	4.39	4.24	4.35	55,378	46,931	24,835	23,960	24,054	24,283	48.26
6	50	55.56	5.05	4.95	5.03	5.01	55,378	46,931	24,136	22,745	23,973	23,618	49.67
Control (7.26)	50	55.56	5.37	5.50	5.45	5.44	55,378	46,931	27,089	26,223	26,743	26,685	43.14
9	50	55.56	7.39	7.38	7.34	8.81	55,378	46,931	25,841	24,062	25,319	25,074	46.57

ตารางที่ 3 ผลการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอน

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นสารส้ม (กรัม/ลิตร)	ปริมาณสารส้ม (มิลลิลิตร)	ค่าพีเอชหลังตกตะกอน			เฉลี่ย	ค่า ซีโอดี เริ่มต้น (มล.ก/ล)			เฉลี่ย	ค่า ซีโอดี เจือจาง	ค่า ซีโอดี หลังตกตะกอน (มล.ก/ล)			เฉลี่ย	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (ร้อยละ)
			ครั้งที่				ครั้งที่					ครั้งที่				
			1	2	3		1	2	3			1	2	3		
6	5	5.05	6.14	5.95	5.97	6.02	56,160	54,000	55,975	55,378	54,824	49,392	47,164	48,444	48,000	12.45
6	10	10.20	5.98	5.90	5.79	5.89	56,160	54,000	55,975	55,378	54,270	44,322	42,257	43,021	43,200	20.40
6	15	15.46	5.85	5.76	5.61	5.74	56,160	54,000	55,975	55,378	53,717	40,985	37,452	39,763	39,400	26.65
6	25	26.32	5.51	5.30	5.48	5.43	56,160	54,000	55,975	55,378	52,609	38,146	36,194	37,860	37,400	28.91
6	50	55.56	5.05	4.95	5.03	5.01	56,160	54,000	55,975	55,378	49,840	24,136	22,745	23,973	23,618	52.61
6	75	88.24	4.73	4.65	4.66	4.68	56,160	54,000	55,975	55,378	47,071	23,268	21,536	22,795	22,533	52.13
6	100	125.00	3.87	3.74	3.82	3.81	56,160	54,000	55,975	55,378	44,302	26,374	24,795	25,931	25,700	41.99
6	150	214.29	3.69	3.39	3.54	3.54	56,160	54,000	55,975	55,378	38,765	25,401	23,987	25,012	24,800	36.02

ตารางที่ 4 ผลการหาชนิดของสารช่วยตกตะกอน(โพลีเมอร์)ที่เหมาะสมในการช่วยตกตะกอน

พีเอช	ความเข้มข้นสารส้ม (กรัม/ลิตร)	ปริมาณสารส้ม (มิลลิลิตร)	ชนิดของโพลีเมอร์	ปริมาณโพลีเมอร์ (ml)	ชนิดของโพลีเมอร์	เฉลี่ย	ค่า ซีไอดี เริ่มต้นเฉลี่ย (มล.ก/ล)	ค่าซีไอดีเฉลี่ย (มล.ก/ล)	ค่า ซีไอดีหลังตกตะกอน (มล.ก/ล)			เฉลี่ย	ประสิทธิภาพการลดซีไอดี (%)
									ครั้งที่				
									1	2	3		
6	75	88.24	ไม่เติม	-	ไม่เติม	4.68	55,378	47,071	23,268	21,536	22,795	22,533	52.13
6	75	88.24	ประจุบวก	65	ประจุบวก	3.87	55,378	42,364	23,015	22,559	22,931	22,835	46.10
6	75	88.24	ประจุลบ	65	ประจุลบ	3.85	55,378	42,364	22,871	21,335	22,643	22,283	47.40
6	75	88.24	ไม่มีประจุ	65	ไม่มีประจุ	3.83	55,378	42,364	22,906	22,696	22,591	22,731	46.34

ภาคผนวก จ.

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ๑ 1 ผลการกำจัดสีน้ำชะขยะที่พีเอชต่าง ๆ

ค่าพีเอช เริ่มต้น	น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ค่าพีเอชหลังเขย่า			ความเข้มสีก่อนเขย่า (Pt-Co)			ความเข้มสีหลังเขย่า (Pt-Co)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
2	0.5	3.13	2.95	3.02	2,495	2,430	2,431	841	829	832
3	0.5	3.75	3.62	3.67	2,495	2,430	2,431	835	825	827
3.85	0.5	4.45	4.27	4.29	2,495	2,430	2,431	812	793	801
5	0.5	5.70	5.56	5.60	2,495	2,430	2,431	740	737	737
6	0.5	7.46	7.37	7.31	2,495	2,430	2,431	785	774	781
7	0.5	7.71	7.53	7.65	2,495	2,430	2,431	791	775	784
8	0.5	8.27	8.14	8.22	2,495	2,430	2,431	835	830	831
9	0.5	9.01	8.87	8.97	2,495	2,430	2,43	830	821	827

ตารางที่ ๑ 2 ผลการกำจัดซีโอดีน้ำชะขยะที่พีเอชต่าง ๆ

ค่าพีเอช เริ่มต้น	น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ค่าพีเอช หลังเขย่า			ค่าซีโอดีก่อนเขย่า (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าซีโอดีหลังเขย่า (มิลลิกรัม/ลิตร)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
2	0.5	3.13	2.95	3.02	22,871	21,335	22,643	18,824	18,716	18,752
3	0.5	3.75	3.62	3.67	22,871	21,335	22,643	17,795	17,701	17,721
3.85	0.5	4.45	4.27	4.29	22,871	21,335	22,643	17,357	17,243	17,312
5	0.5	5.70	5.56	5.60	22,871	21,335	22,643	14,508	14,342	14,452
6	0.5	7.46	7.37	7.31	22,871	21,335	22,643	15,210	15,010	15,170
7	0.5	7.71	7.53	7.65	22,871	21,335	22,643	15,894	15,719	15,745
8	0.5	8.27	8.14	8.22	22,871	21,335	22,643	17,185	17,075	17,136
9	0.5	9.01	8.87	8.97	22,871	21,335	22,643	19,105	18,941	19,032

ตารางที่ ๑ 3 ผลการกำจัดสีน้ำชะขยะที่เวลาสัมผัสต่าง ๆ

น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	เวลาสัมผัส (นาที)	ค่าพีเอช หลังเขย่า			ความเข้มข้นก่อนเขย่า (Pt-Co)			ความเข้มข้นหลังเขย่า (Pt-Co)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.5	0	4.97	4.88	4.91	2,495	2,430	2,431	2,150	2,095	2,145
0.5	5	4.90	4.82	4.86	2,495	2,430	2,431	1,905	1,856	1,885
0.5	10	4.77	4.72	4.73	2,495	2,430	2,431	1,595	1,577	1,580
0.5	30	4.85	4.80	4.81	2,495	2,430	2,431	890	865	885
0.5	60	5.70	5.58	5.60	2,495	2,430	2,431	750	711	741
0.5	90	6.04	5.95	5.97	2,495	2,430	2,431	661	639	641
0.5	120	6.31	6.19	6.22	2,495	2,430	2,431	545	525	532
0.5	180	6.62	6.55	6.57	2,495	2,430	2,431	520	510	512
0.5	240	7.11	6.99	7.02	2,495	2,430	2,431	502	494	495

ตารางที่ ๑ 4 ผลการกำจัดซีไอดีน้ำชะขยะที่เวลาสัมผัสต่าง ๆ

น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	เวลาสัมผัส (นาที)	ค่าพีเอช หลังเขย่า			ค่าซีไอดีก่อนเขย่า (มิลลิกรัม/ลิตร)			ค่าซีไอดีหลังเขย่า (มิลลิกรัม/ลิตร)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.5	0	4.97	4.88	4.91	22,871	21,335	22,643	21,534	21,116	21,250
0.5	5	4.90	4.82	4.86	22,871	21,335	22,643	21,080	19,255	20,745
0.5	10	4.77	4.72	4.73	22,871	21,335	22,643	18,020	17,536	17,904
0.5	30	4.85	4.80	4.81	22,871	21,335	22,643	15,984	15,219	15,237
0.5	60	5.70	5.58	5.60	22,871	21,335	22,643	14,762	14,220	14,320
0.5	90	6.04	5.95	5.97	22,871	21,335	22,643	12,548	11,954	12,410
0.5	120	6.31	6.19	6.22	22,871	21,335	22,643	11,965	11,529	11,723
0.5	180	6.62	6.55	6.57	22,871	21,335	22,643	11,740	11,317	11,485
0.5	240	7.11	6.99	7.02	22,871	21,335	22,643	11,480	11,132	11,360

ภาคผนวก จ.
ผลการทดสอบไอโซเทอม

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ในสภาวะที่เหมาะสม

น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ค่าพีเอช หลังเขย่า		ความเข้มข้น ก่อนเขย่า (Pt-Co)	ความเข้มข้นที่จุดสมดุล Ce(Pt-Co/l)			แปลง หน่วยเป็น Pt-Co	ความ เข้มข้นที่ กำจัด ได้	X/M (Pt-Co/g- Carbon)	1/(X/M)	1/Ce	Log X/m	Log Ce
	1	2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย							
0	5.02	5.04	2,452	2,425	2,413	2,419	121	-	-	-	-	-	-
0.01	5.00	4.98	2,452	2,155	2,147	2,151	108	13	1340.00	0.0007	0.0093	3.127105	2.03161
0.02	4.98	4.83	2,452	2,031	2,043	2,037	102	19	955.00	0.0010	0.0098	2.980003	2.007961
0.04	5.04	5.02	2,452	1,855	1,859	1,857	93	28	702.50	0.0014	0.0108	2.846646	1.967782
0.1	5.21	5.28	2,452	1,231	1,247	1,239	62	59	590.00	0.0017	0.0161	2.770852	1.792041
0.2	5.26	5.29	2,452	1,074	1,082	1,078	54	67	335.25	0.0030	0.0186	2.525369	1.731589
0.4	5.41	5.36	2,452	625	665	645	32	89	221.75	0.0045	0.0310	2.345864	1.50853
1	5.70	5.67	2,452	320	240	280	14	107	106.95	0.0094	0.0714	2.029181	1.146128
2	6.05	6.09	2,452	205	155	180	9	112	55.98	0.0179	0.1111	1.747994	0.954243
4	6.89	6.96	2,452	128	112	120	6	115	28.74	0.0348	0.1667	1.458449	0.778151

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 4

น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ค่าพีเอช หลังเขย่า		ความเข้มข้น ก่อนเขย่า (Pt-Co)	ความเข้มข้นที่จุดสมดุล Ce(Pt-Co/l)			แปลง หน่วยเป็น Pt-Co	ความเข้มข้น ที่กำจัดได้	X/M (Pt-Co/g- Carbon)	1/(X/M)	1/Ce	Log X/m	Log Ce
	1	2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย							
	0	4.0		4.0	2,452	2,405							
0.01	4.0	4.0	2,452	2,318	2,376	2,347	117	4	361.10	0.003	0.0085	2.558	2.069483
0.02	4.0	4.0	2,452	2,170	2,122	2,146	107	14	683.05	0.001	0.0093	2.834	2.0306
0.04	4.0	4.0	2,452	2,054	2,010	2,032	102	19	484.03	0.002	0.0098	2.685	2.006894
0.1	4.0	4.0	2,452	1,492	1,332	1,412	71	50	503.61	0.002	0.0142	2.702	1.848805
0.2	4.0	4.0	2,452	1,310	1,176	1,243	62	59	294.06	0.003	0.0161	2.468	1.793441
0.4	4.0	4.0	2,452	1,076	974	1,025	51	70	174.28	0.006	0.0195	2.241	1.709694
1	4.0	4.0	2,452	895	997	946	47	74	73.66	0.014	0.0211	1.867	1.674861
2	4.0	4.0	2,452	720	744	732	37	84	42.18	0.024	0.0273	1.625	1.563481
4	4.0	4.0	2,452	395	429	412	21	100	25.09	0.040	0.0485	1.400	1.313867

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 5

น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ค่าพีเอช หลังเขย่า		ความเข้มข้น ก่อนเขย่า (Pt-Co)	ความเข้มข้นที่จุดสมดุล Ce(Pt-Co/l)			แปลง หน่วย เป็น Pt-Co	ความเข้มข้น ที่กำจัด ได้	X/M (Pt-Co/g- Carbon)	1/(X/M)	1/Ce	Log X/m	Log Ce
	1	2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย							
	0	5.0		5.0	2,452	2,340							
0.01	5.0	5.0	2,452	2,235	2,207	2,221	111	8	791.10	0.001	0.0090	2.898231	2.045519
0.02	5.0	5.0	2,452	2,295	2,057	2,176	109	10	508.05	0.002	0.0092	2.705906	2.036629
0.04	5.0	5.0	2,452	1,507	1,557	1,532	77	42	1059.03	0.001	0.0131	3.024906	1.884229
0.1	5.0	5.0	2,452	1,482	1,262	1,372	69	50	503.61	0.002	0.0146	2.702094	1.836324
0.2	5.0	5.0	2,452	1,186	1,240	1,213	61	58	291.56	0.003	0.0165	2.46472	1.782831
0.4	5.0	5.0	2,452	985	1,115	1,050	53	66	166.15	0.006	0.0190	2.220507	1.720159
1	5.0	5.0	2,452	852	900	876	44	75	75.16	0.013	0.0228	1.875993	1.641474
2	5.0	5.0	2,452	587	557	572	29	90	45.18	0.022	0.0350	1.654951	1.456366
4	5.0	5.0	2,452	420	340	380	19	100	24.99	0.040	0.0526	1.397771	1.278754

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 6

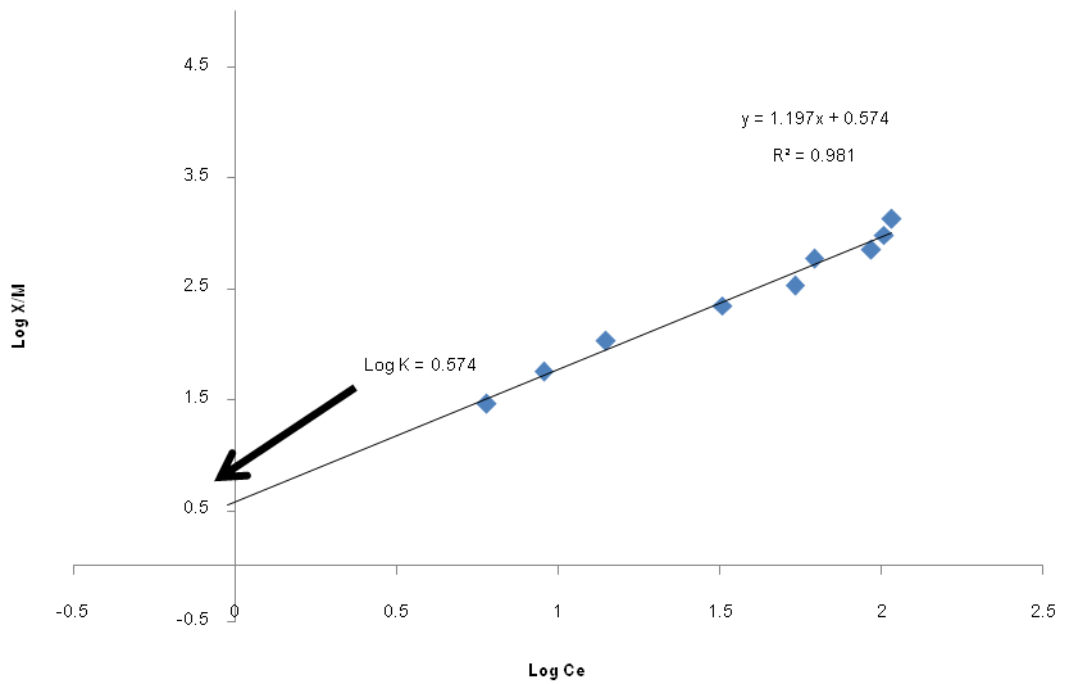
น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ค่าพีเอช หลังเขย่า		ความเข้มข้น ก่อนเขย่า (Pt-Co)	ความเข้มข้นที่จุดสมดุล Ce(Pt-Co/l)			แปลง หน่วยเป็น Pt-Co	ความเข้มข้น ที่กำจัด ได้	X/M (Pt-Co/g- Carbon)	1/(X/M)	1/Ce	Log X/m	Log Ce
	1	2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย							
	0	6.0		6.0	2,452	2,310							
0.01	6.0	6.0	2,452	2,310	2,240	2,275	114	2	171.10	0.006	0.0088	2.23325	2.055951
0.02	6.0	6.0	2,452	2,180	2,232	2,206	110	5	258.05	0.004	0.0091	2.411704	2.042576
0.04	6.0	6.0	2,452	2,054	2,210	2,132	107	9	221.53	0.005	0.0094	2.345423	2.027757
0.1	6.0	6.0	2,452	1,985	2,041	2,013	101	15	148.11	0.007	0.0099	2.170584	2.002814
0.2	6.0	6.0	2,452	1,904	1,800	1,852	93	23	114.38	0.009	0.0108	2.058341	1.966543
0.4	6.0	6.0	2,452	1,478	1,564	1,521	76	39	98.53	0.010	0.0131	1.993557	1.881099
1	6.0	6.0	2,452	786	826	806	40	75	75.16	0.013	0.0248	1.875993	1.605305
2	6.0	6.0	2,452	473	441	457	23	93	46.31	0.022	0.0438	1.665633	1.358886
4	6.0	6.0	2,452	314	386	350	18	98	24.49	0.041	0.0571	1.388993	1.243038

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 7

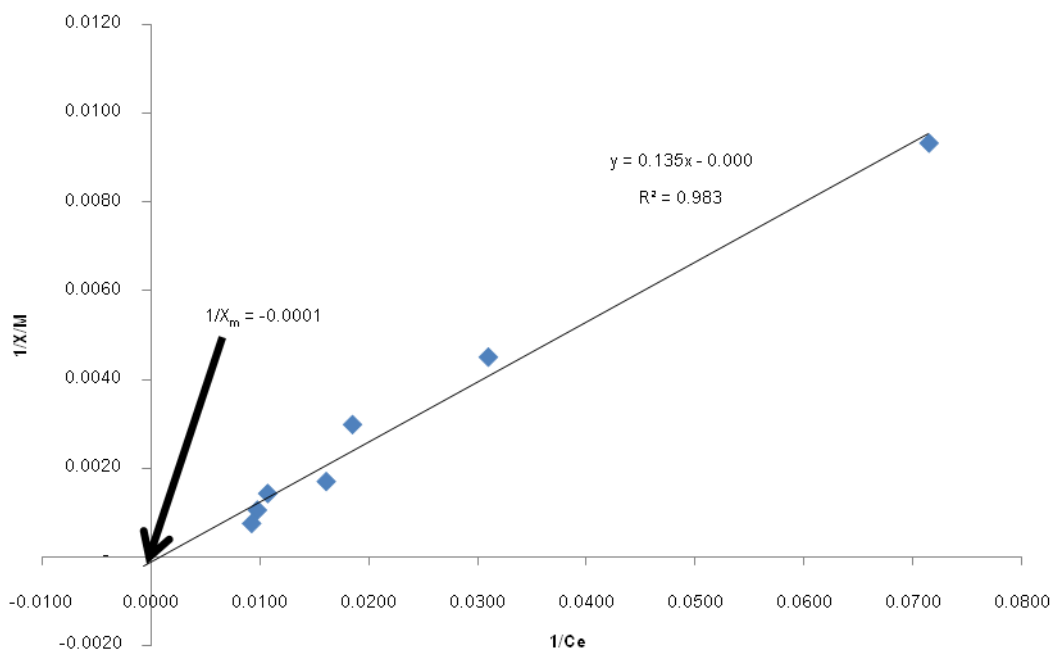
น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	ค่าพีเอช หลังเขย่า		ความเข้มข้น สี ก่อนเขย่า (Pt-Co)	ความเข้มข้นสีที่จุดสมดุล Ce(Pt-Co/l)			แปลง หน่วยเป็น Pt-Co	ความเข้มข้น สีที่กำจัด ได้	X/M (Pt-Co/g- Carbon)	1/(X/M)	1/Ce	Log X/m	Log Ce
	1	2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย							
0	7.0	7.0	2,452	2,280	2,438	2,359	118	-	-	-	-	-	-
0.01	7.0	7.0	2,452	2,250	2,344	2,297	115	3	311.10	0.003	0.0087	2.4929	2.060131
0.02	7.0	7.0	2,452	2,205	2,229	2,217	111	7	355.55	0.003	0.0090	2.550901	2.044736
0.04	7.0	7.0	2,452	2,148	2,116	2,132	107	11	284.03	0.004	0.0094	2.453357	2.027757
0.1	7.0	7.0	2,452	2,107	2,037	2,072	104	14	143.61	0.007	0.0097	2.157185	2.01536
0.2	7.0	7.0	2,452	1,854	2,098	1,976	99	19	95.80	0.010	0.0101	1.981388	1.994757
0.4	7.0	7.0	2,452	1,592	1,768	1,680	84	34	84.90	0.012	0.0119	1.92892	1.924279
1	7.0	7.0	2,452	846	968	907	45	73	72.61	0.014	0.0221	1.861002	1.656577
2	7.0	7.0	2,452	518	546	532	27	91	45.68	0.022	0.0376	1.659731	1.424882
4	7.0	7.0	2,452	429	375	402	20	98	24.47	0.041	0.0498	1.38855	1.303196

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 8

น้ำหนักถ่าน (กรัม)	ค่าพีเอช หลังเขย่า		ความเข้มข้น ก่อนเขย่า (Pt-Co)	ความเข้มข้นที่จุดสมดุล Ce(Pt-Co/l)			แปลง หน่วยเป็น Pt-Co	ความ เข้มข้นที่ กำจัดได้	X/M (Pt-Co/g- Carbon)	1/(X/M)	1/Ce	Log X/m	Log Ce
	1	2		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย							
0	8.0	8.0	2,452	2,146	2,292	2,219	111	-	-	-	-	-	-
0.01	8.0	8.0	2,452	2,076	2,230	2,153	108	3	331.10	0.003	0.0093	2.519959	2.032014
0.02	8.0	8.0	2,452	1,856	2,028	1,942	97	14	693.05	0.001	0.0103	2.840765	1.987219
0.04	8.0	8.0	2,452	1,746	1,568	1,657	83	28	702.78	0.001	0.0121	2.846816	1.918293
0.1	8.0	8.0	2,452	1,378	1,448	1,413	71	40	403.11	0.002	0.0142	2.605424	1.849112
0.2	8.0	8.0	2,452	1,312	1,254	1,283	64	47	234.06	0.004	0.0156	2.369318	1.807197
0.4	8.0	8.0	2,452	1,104	1,202	1,153	58	53	133.28	0.008	0.0173	2.124757	1.760799
1	8.0	8.0	2,452	708	776	742	37	74	73.86	0.014	0.0270	1.868415	1.569374
2	8.0	8.0	2,452	342	372	357	18	93	46.56	0.021	0.0560	1.667971	1.251638
4	8.0	8.0	2,452	395	431	413	21	90	22.58	0.044	0.0484	1.353681	1.31492

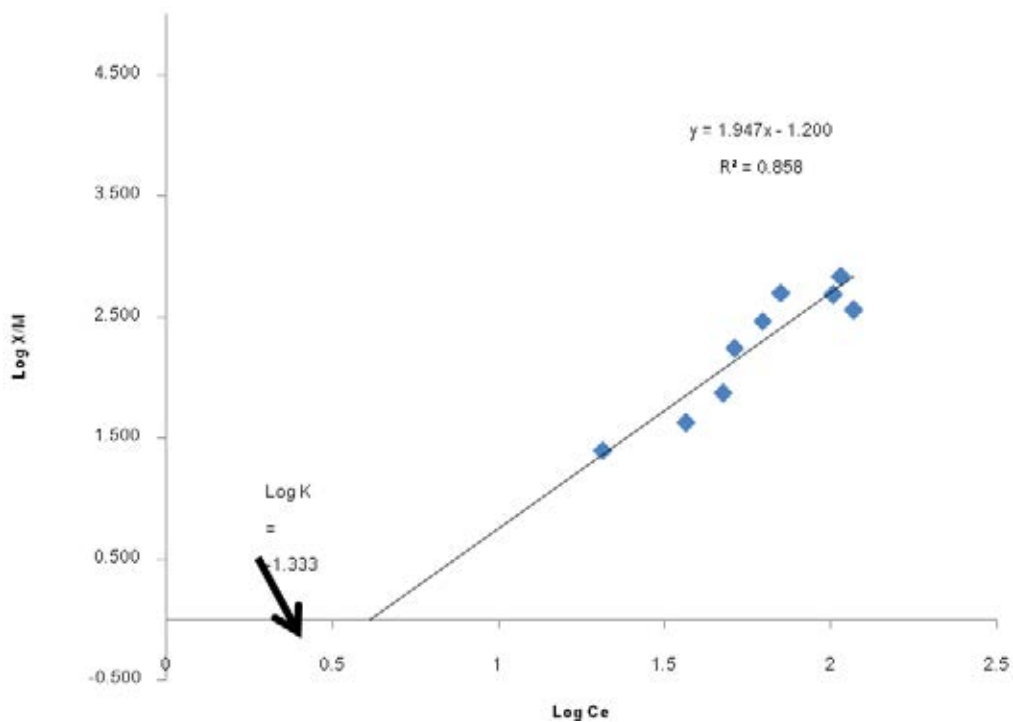


(ก) ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

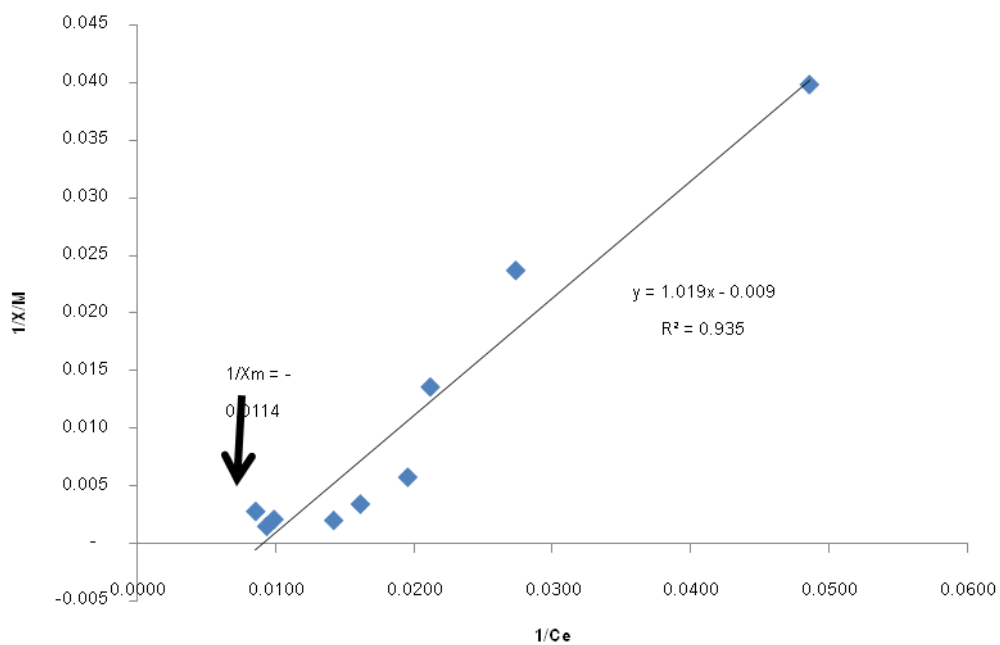


(ข) ไอโซเทอมแลงมั้วรี

ภาพที่ ๑ การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชและแลงมั้วรีของถ่านกัมมันต์

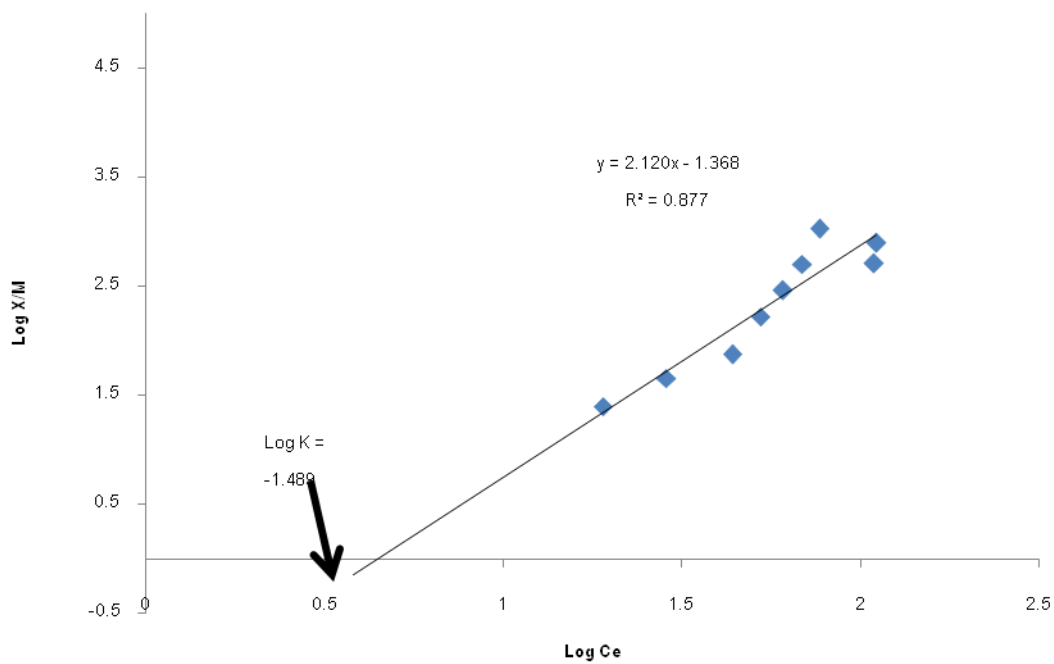


(ก) ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

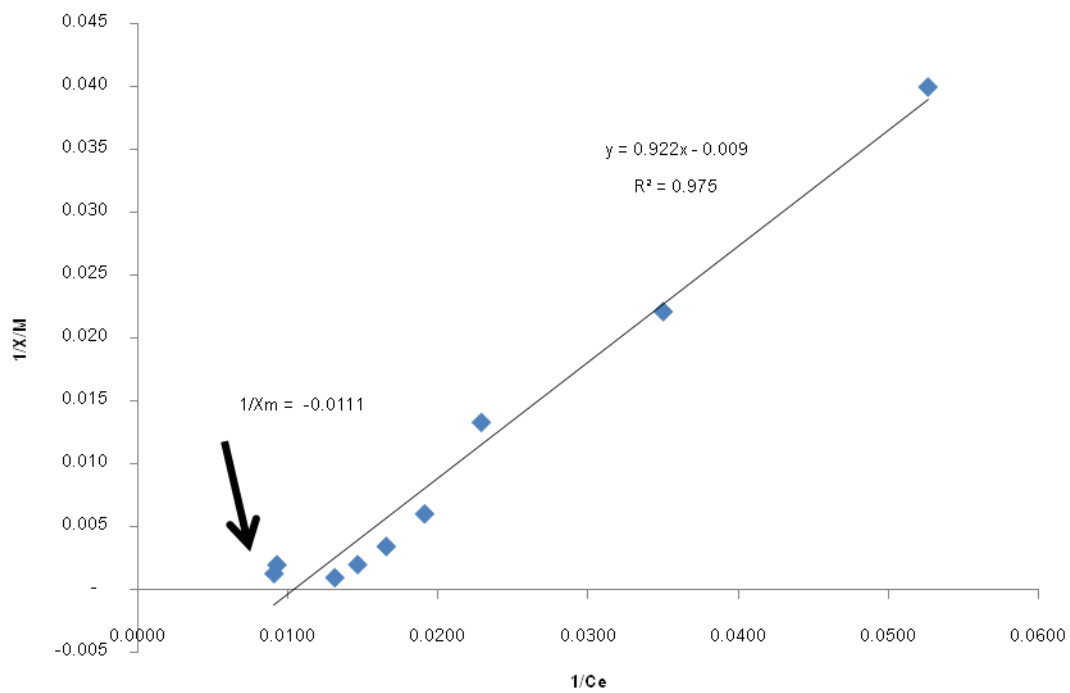


(ข) ไอโซเทอมแบบแลงมัวร์

ภาพที่ 2 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชและแลงมัวร์ของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 4

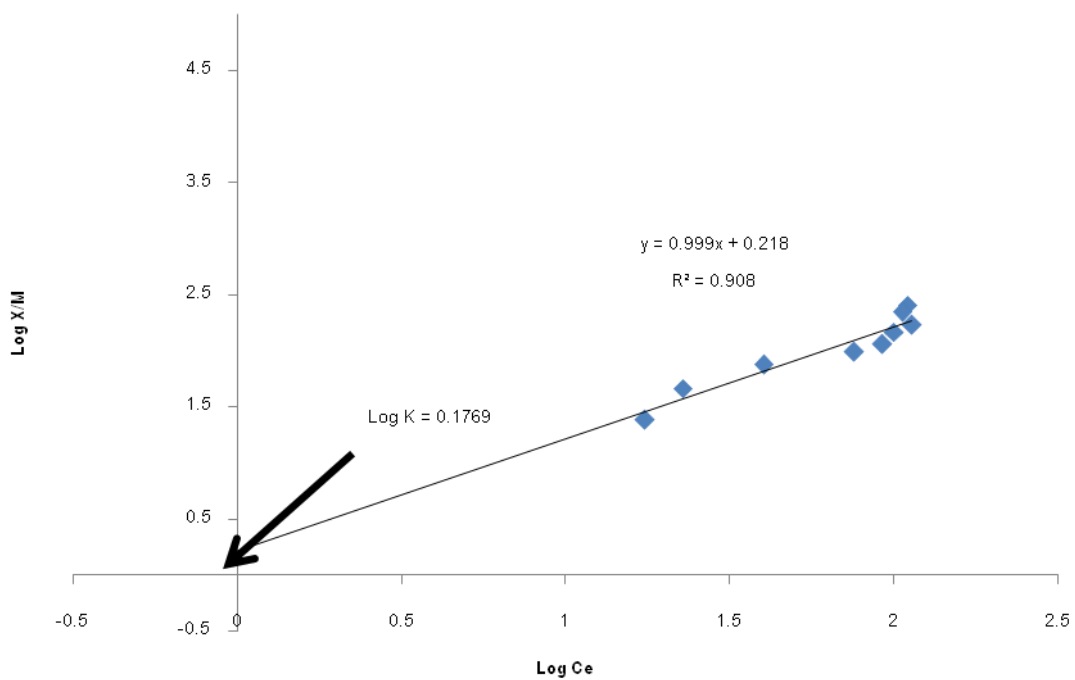


(ก) ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

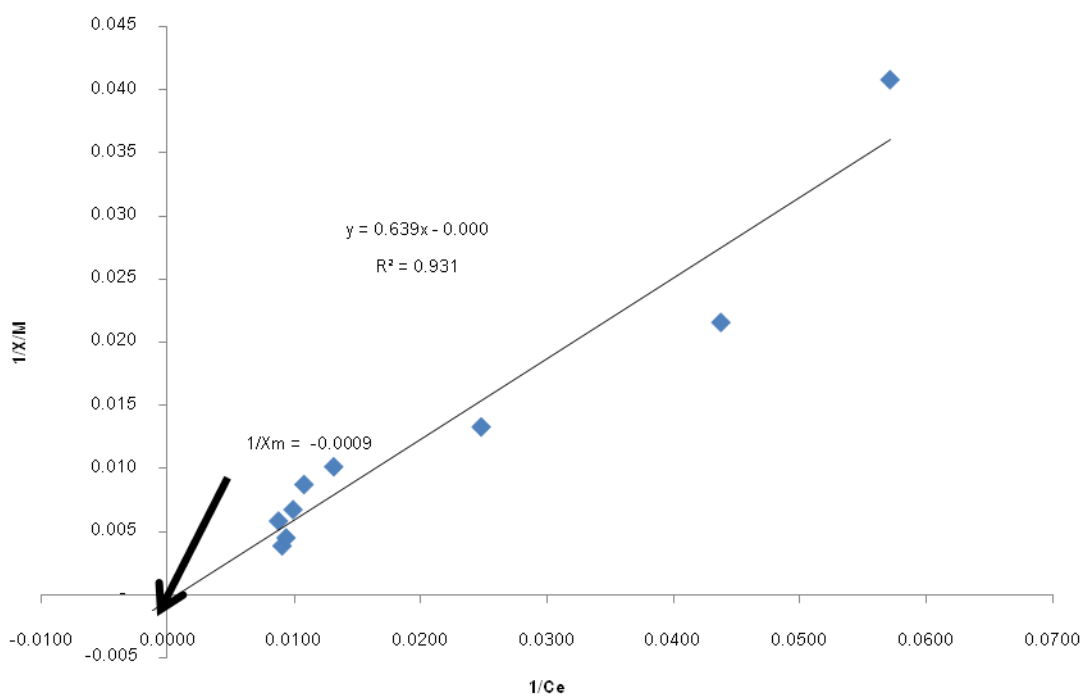


(ข) ไอโซเทอมแบบแลงมัวร์

ภาพที่ 3 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชและแลงมัวร์ของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 5

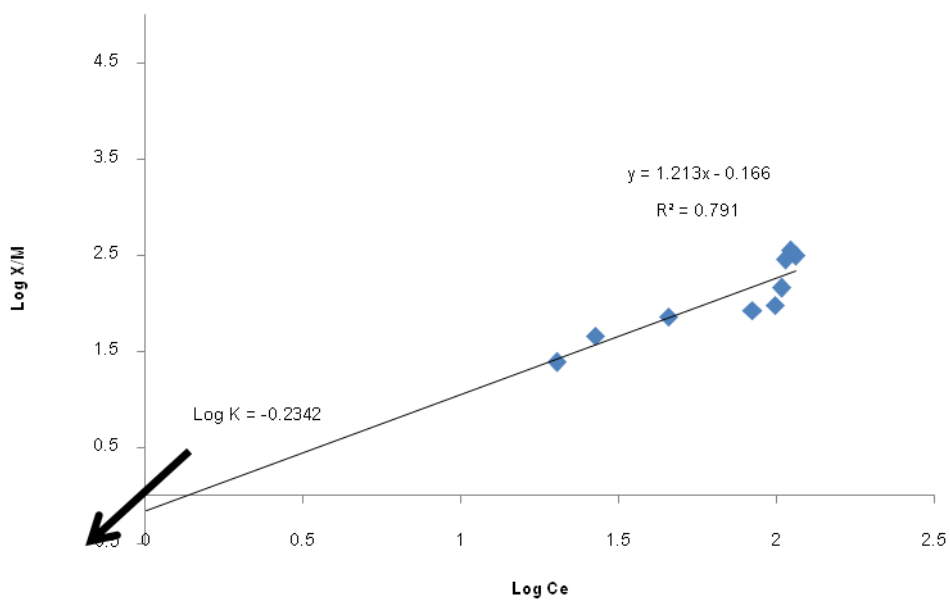


(ก) ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

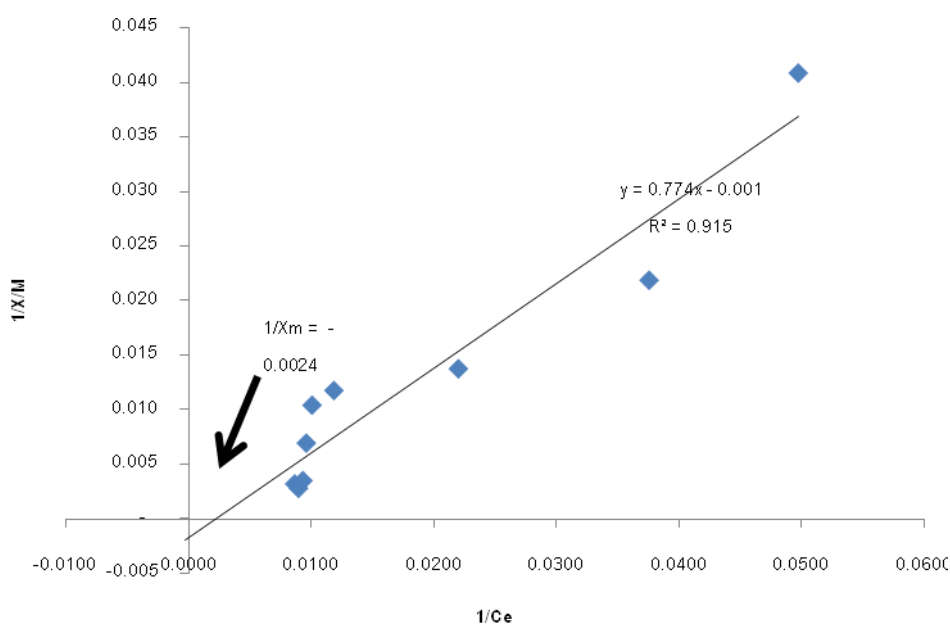


(ข) ไอโซเทอมแบบแลงมัวร์

ภาพที่ 4 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชและแลงมัวร์ของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 6

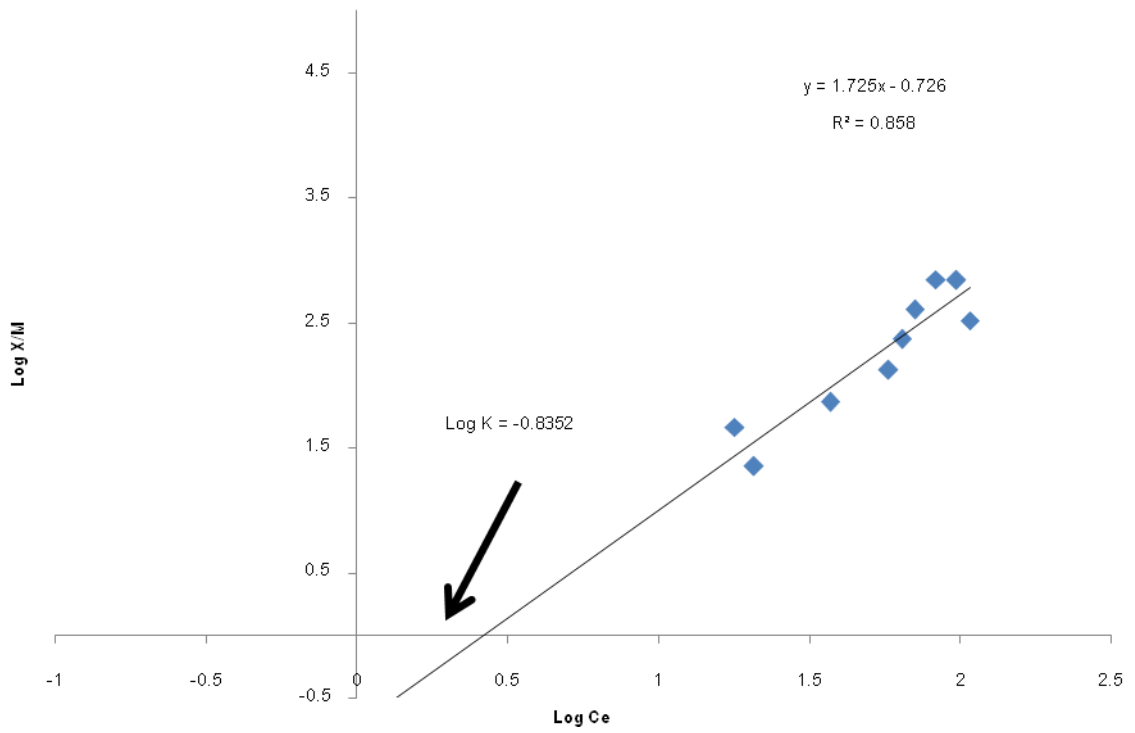


(ก) ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

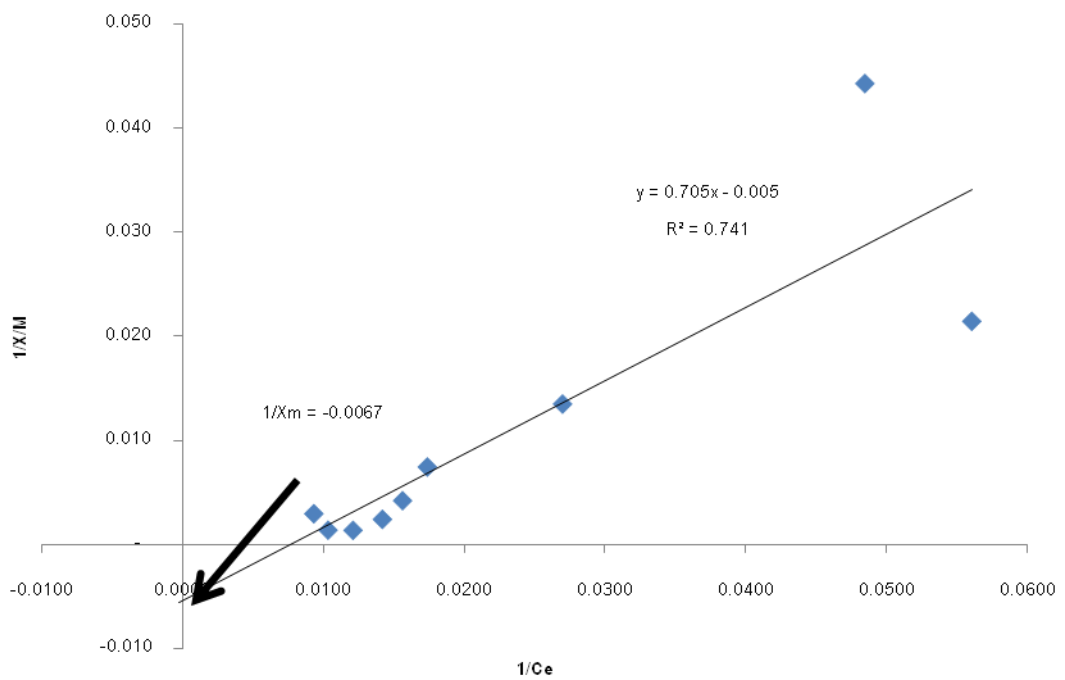


(ข) ไอโซเทอมแบบแลงมั้วร์

ภาพที่ 5 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชและแลงมั้วร์ของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 7



(ก) ไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช



(ข) ไอโซเทอมแบบแลงมัวร์

ภาพที่ 6 การทดสอบไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชและแลงมัวร์ของถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 8

ภาคผนวก ช.

ผลการศึกษาระดับปริญญาโทที่ผ่านการดูแลโดยคณาจารย์

ตารางที่ ช1 ผลการฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์

การฟื้นฟูสภาพ	น้ำหนักถ่าน (กรัม)			ค่าพีเอช หลังเขย่า			สีก่อนเขย่า (Pt-Co)			สีหลังเขย่า (Pt-Co)			ประสิทธิภาพเฉลี่ย (%)	
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	การกำจัดสี	การฟื้นฟูสภาพ
ก่อนฟื้นฟูสภาพ	1.0347	1.0265	1.0198	5.69	5.71	5.76	2,450	2,435	2,420	112	105	108	95.55	-
	2.5024	2.5173	2.5142	6.12	5.98	6.35	2,450	2,435	2,420	98	94	89	96.15	-
	5.0253	5.0248	5.0274	7.01	6.98	6.92	2,450	2,435	2,420	89	80	85	96.52	-
1	0.9876	0.9783	0.9681	5.65	5.59	5.8	2,410	2,453	2,390	283	305	295	87.79	91.88
	2.4910	2.4753	2.4704	6.05	6.03	6.19	2,410	2,453	2,390	188	225	215	91.31	94.97
	4.8476	4.8012	4.7641	6.91	6.94	7.00	2,410	2,453	2,390	223	249	239	90.16	93.41
2	0.9384	0.9014	0.8943	5.57	5.61	5.71	2,380	2,485	2,357	373	412	403	83.37	87.25
	2.4583	2.4405	2.4352	5.98	5.95	6.1	2,380	2,485	2,357	326	365	350	85.42	88.84
	4.7593	4.6982	4.6531	6.93	6.87	6.87	2,380	2,485	2,357	353	397	402	83.87	86.89
3	0.8932	0.8857	0.8815	5.53	5.59	5.65	2,310	2,340	2,285	470	589	597	76.11	79.65
	2.3498	2.3582	2.3284	5.89	5.93	6.03	2,310	2,340	2,285	442	515	510	78.83	81.99
	4.6952	4.6724	4.6571	6.75	6.73	6.86	2,310	2,340	2,285	427	489	492	79.69	82.56

ภาคผนวก ซ.
ผลการศึกษาวิเคราะห์โลหะหนัก

ตารางที่ ๑๑ ผลการ วิเคราะห์แคดเมียม

SpectrAA Report. 9:49 8/3/2011 Page 1 of 2

Analyst
Date Started 9:09 8/3/2011
Worksheet Cd Pawan 540789
Comment
Methods Cd
Computer name HOME-CD18C21D81

Method: Cd (Flame)

Element - Matrix: Cd -
Instrument Type: Flame
Conc. Units: ppm
Instrument Mode: Absorbance
Sampling Mode: Manual
Calibration Mode: Concentration
Measurement Mode: Integrate
Replicates Standard: 3
Replicates Sample: 3

Expansion Factor: 1.0
Minimum Reading: Disabled
Smoothing: 7 point
Conc. Dec. Places: 4

Wavelength: 228.8 nm
Slit Width: 0.5 nm
Gain: 51 %
Lamp Current: 4.0 mA
Lamp Position: 2
Background Correction: BC On

STANDARD 1: 0.1000 ppm
STANDARD 2: 0.2000 ppm
STANDARD 3: 0.3000 ppm
Reslope Rate: 100
Reslope Standard No.: 2
Reslope Lower Limit: 75.0 %
Reslope Upper Limit: 125.0 %
Recalibration Rate: 100
Calibration Algorithm: Linear Origin
Cal. Lower Limit: 20.0 %
Cal. Upper Limit: 150.0 %
SIPS: Off

Measurement Time: 5.0 s
Pre-Read Delay: 5 s
Flame Type: Air/Acetylene
Air Flow: 13.50 L/min
Acetylene Flow: 2.00 L/min
Burner Height: 13.5 mm

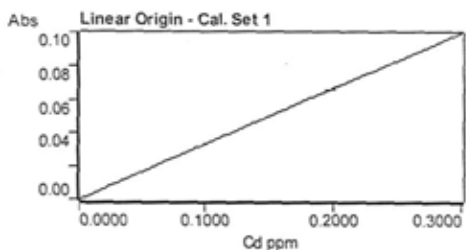
RSD Limit: 5.0 %
RSD Test Min. Abs: 0.1000 Abs
Cor. Coeff. Limit: 0.9950

Sample ID	Conc ppm	%RSD	Mean Abs
CAL ZERO	0.0000	53.4	0.0001
	Readings		
	0.0001	0.0001	0.0000
STANDARD 1	0.1000	0.8	0.0334
	Readings		
	0.0334	0.0332	0.0337

ตารางที่ ๑1 ผลการ วิเคราะห์แคดเมียม (ต่อ)

SpectrAA Report. 9:49 8/3/2011 Page 2 of 2

STANDARD 2	0.2000	0.5	0.0653
	Readings		
	0.0652	0.0657	0.0651
STANDARD 3	0.3000	0.5	0.1000
	Readings		
	0.1005	0.0998	0.0996



QC Test: Correlation coefficient 0.9999 w ithin 0.9950 limit
 Curve Fit = Linear Origin
 Characteristic Conc = 0.0133 ppm
 r = 0.9999
 Calculated Conc = 0.0003 0.1008 0.1971 0.3017
 Residuals = -0.0003 -0.0008 0.0029 -0.0017

Abs = 0.33143 x C

check std	0.1968	0.3	0.0652
	Readings		
	0.0654	0.0652	0.0650
AC	-0.0012	33.5	-0.0004
	Readings		
	-0.0003	-0.0005	-0.0003
Sample	-0.0017	42.8	-0.0006
	Readings		
	-0.0007	-0.0007	-0.0003
An	-0.0024	14.3	-0.0008
	Readings		
	-0.0007	-0.0009	-0.0008

< 0.05 ppm.

ตารางที่ ๗2 ผลการ วิเคราะห์โครเมียม

SpectrAA Report.

14:24 7/3/2011

Page 1 of 2

Analyst
Date Started 14:13 7/3/2011
Worksheet Cr Paw an 540789
Comment
Methods Cr
Computer name HOME-CD18C21D81

Method: Cr (Flame)

Element - Matrix: Cr -
Instrument Type: Flame
Conc. Units: ppm
Instrument Mode: Absorbance
Sampling Mode: Manual
Calibration Mode: Concentration
Measurement Mode: Integrate
Replicates Standard: 3
Replicates Sample: 3

Expansion Factor: 1.0
Minimum Reading: Disabled
Smoothing: 10 point
Conc. Dec. Places: 3

Wavelength: 357.9 nm
Slit Width: 0.2 nm
Gain: 41 %
Lamp Current: 7.0 mA
Lamp Position: 4
Background Correction: BC Off

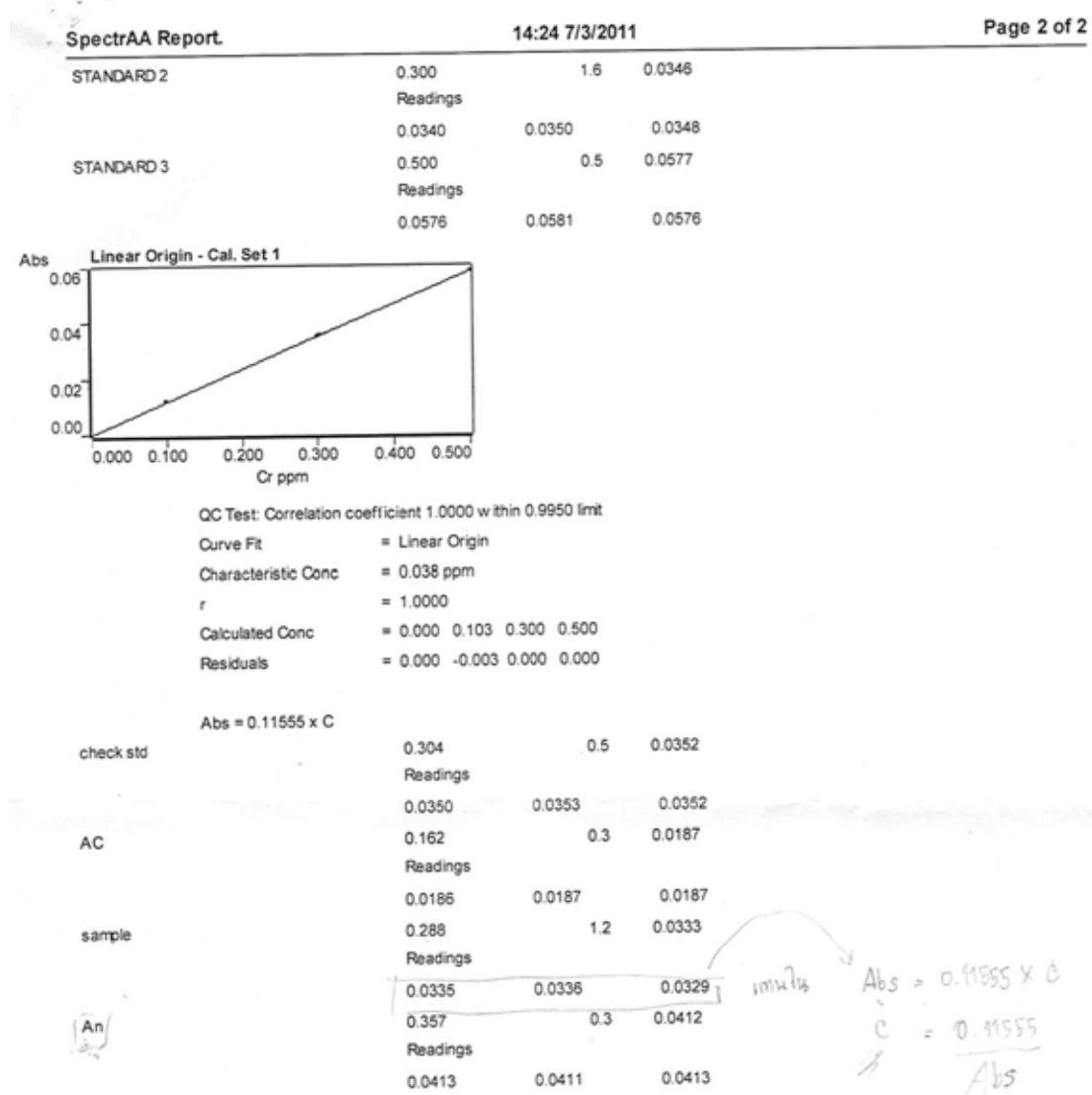
STANDARD 1: 0.100 ppm
STANDARD 2: 0.300 ppm
STANDARD 3: 0.500 ppm
Reslope Rate: 100
Reslope Standard No.: 2
Reslope Lower Limit: 75.0 %
Reslope Upper Limit: 125.0 %
Recalibration Rate: 100
Calibration Algorithm: Linear Origin
Cal. Lower Limit: 20.0 %
Cal. Upper Limit: 150.0 %
SIPS: Off

Measurement Time: 5.0 s
Pre-Read Delay: 4 s
Flame Type: Air/Acetylene
Air Flow: 13.50 L/min
Acetylene Flow: 3.00 L/min
Burner Height: 16.0 mm

RSD Limit: 5.0 %
RSD Test Min. Abs: 0.1000 Abs
Cor. Coeff. Limit: 0.9950

Sample ID	Conc ppm	%RSD	Mean Abs
CAL ZERO	0.000	>100	-0.0001
	Readings		
	0.0000	-0.0002	0.0000
STANDARD 1	0.100	1.1	0.0119
	Readings		
	0.0117	0.0119	0.0120

ตารางที่ ๗2 ผลการ วิเคราะห์โครเมียม (ต่อ)



ตารางที่ ๓3 ผลการ วิเคราะห์ตะกั่ว

SpectrAA Report 14:09 7/3/2011 Page 1 of 2

Analyst
Date Started 13:41 7/3/2011
Worksheet Pb Pawan 540789
Comment
Methods Pb
Computer name HOME-CD18C21D81

Method: Pb (Flame)

Element - Matrix: Pb -
Instrument Type: Flame
Conc. Units: ppm
Instrument Mode: Absorbance
Sampling Mode: Manual
Calibration Mode: Concentration
Measurement Mode: Integrate
Replicates Standard: 3
Replicates Sample: 3

Expansion Factor: 1.0
Minimum Reading: Disabled
Smoothing: 10 point
Conc. Dec. Places: 3

Wavelength: 217.0 nm
Slit Width: 1.0 nm
Gain: 50 %
Lamp Current: 10.0 mA
Lamp Position: 3
Background Correction: BC On

STANDARD 1: 0.300 ppm
STANDARD 2: 0.500 ppm
STANDARD 3: 1.000 ppm
Reslope Rate: 100
Reslope Standard No.: 2
Reslope Lower Limit: 75.0 %
Reslope Upper Limit: 125.0 %
Recalibration Rate: 100
Calibration Algorithm: Linear Origin
Cal. Lower Limit: 20.0 %
Cal. Upper Limit: 150.0 %
SIPS: Off

Measurement Time: 5.0 s
Pre-Read Delay: 5 s
Flame Type: Air/Acetylene
Air Flow: 13.50 L/min
Acetylene Flow: 2.00 L/min
Burner Height: 13.5 mm

RSD Limit: 5.0 %
RSD Test Min. Abs: 0.1000 Abs
Cor. Coeff. Limit: 0.9950

Sample ID	Conc ppm	%RSD	Mean Abs
CAL ZERO	0.000	40.9	0.0005
	Readings		
STANDARD 1	0.0002	0.0006	0.0006
	Readings		
STANDARD 1	0.300	0.8	0.0136
	Readings		
	0.0137	0.0135	0.0136

ตารางที่ ๑3 ผลการ วิเคราะห์ตะกั่ว (ต่อ)

SpectraAA Report		14:09 7/3/2011		Page 2 of 2
STANDARD 2	0.500	1.2	0.0225	
	Readings			
	0.0223	0.0224	0.0228	
STANDARD 3	1.000	0.2	0.0463	
	Readings			
	0.0462	0.0463	0.0465	

Abs

Pb ppm

QC Test: Correlation coefficient 0.9998 within 0.9950 limit

Curve Fit = Linear Origin

Characteristic Conc = 0.096 ppm

r = 0.9998

Calculated Conc = 0.010 0.296 0.489 1.007

Residuals = -0.010 0.004 0.011 -0.007

Abs = 0.04601 x C

check std	0.494	1.0	0.0227	
	Readings			
	0.0227	0.0230	0.0225	
AC	0.009	44.9	0.0004	
	Readings			
	0.0006	0.0004	0.0002	
sample	0.010	47.1	0.0005	
	Readings			
	0.0006	0.0002	0.0006	
An	-0.008	35.3	-0.0004	
	Readings			
	-0.0003	-0.0005	-0.0003	

ตัวอย่างที่ ๑๐.3 ppm.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปวพ ศรีชมภู เกิดเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2527 ที่อำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด สำเร็จการศึกษาจากระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2550 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2551