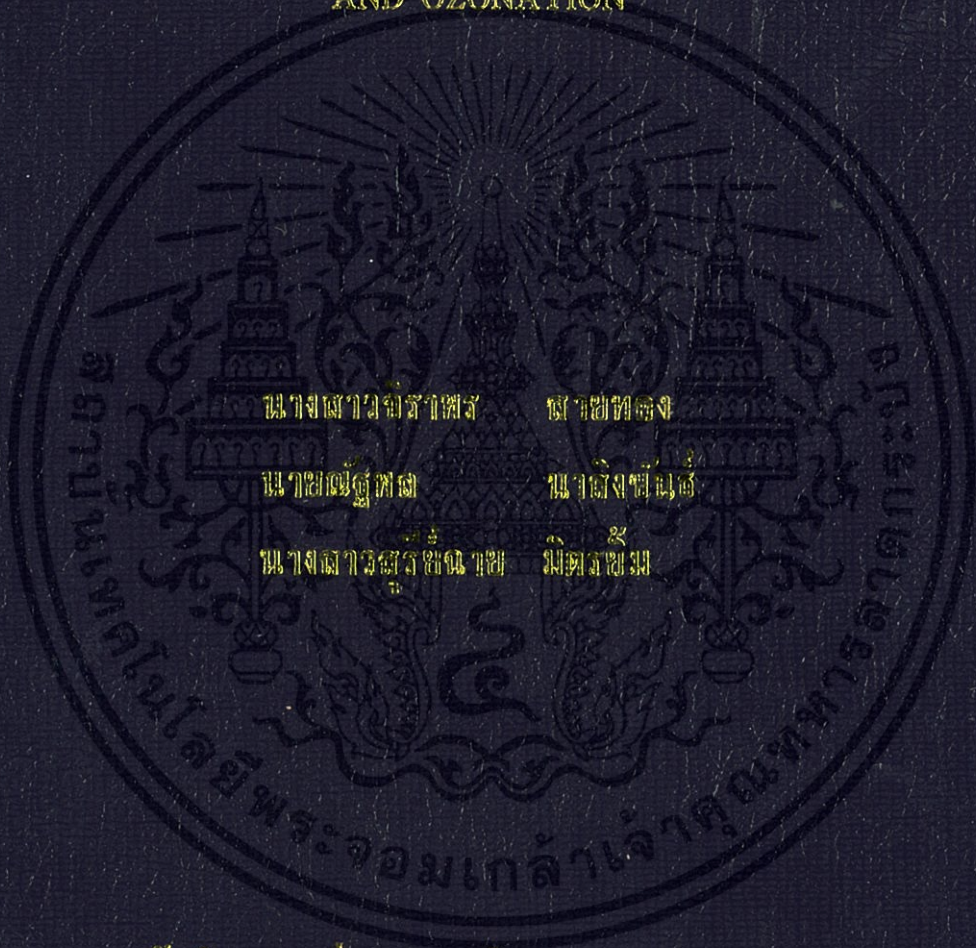


การบำบัดน้ำประปาร่วมกับการเร่งและรวมตะกอนพร้อมกัน

กระบวนการโอโซนนาน

LEACHATE TREATMENT BY COAGULATION-FLOCCULATION
AND OZONATION



นางสาวฉัตรพร

ชาชัยสิทธิ์

นางสาวศุภมาส

นางอภิญญา

นางสาวสุวิมล

นิพนธ์ชัย

ปริญญานิพนธ์ที่เสนอขึ้นเพื่อขอรับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับ

กระบวนการโอโซนเนชัน

LEACHATE TREATMENT BY COAGULATION-FLOCCULATION
AND OZONATION



นางสาวจิราพร

สายทอง

นายณัฐพล

นาสิงห์

นางสาวสุรียฉาย

มิตรยิม

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อปีการศึกษา 2555

**LEACHATE TREATMENT BY COAGULATION-FLOCCULATION
AND OZONATION**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2012

หัวข้อโครงการพิเศษ การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับกระบวนการ
โอโซนชั้น
Leachate Treatment by Coagulation-Flocculation and Ozonation

ชื่อนักศึกษา นางสาวจิราพร สายทอง
นายณัฐพล นาสิงข์
นางสาวสุรีย์ฉาย มิตรขี้ม

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชดอ จารุสุทธิรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	
ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน	
ผศ.ดร.ชดอ จารุสุทธิรักษ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับกระบวนการโอโซนชั้น	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิราพร	สายทอง
	นายณัฐพล	นาสิงขันธ์
	นางสาวสุรีย์ฉาย	มิตรยัม
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
ปีการศึกษา	2555	
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับกระบวนการโอโซนชั้น จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอนพบว่า ความเข้มข้นของพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 และความเข้มข้นของแอนไอออน พอลิเมอร์ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) จาก 164 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 54 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดค่าซีโอดีจาก 2417 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 972 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัด 67.07 และ 59.78 ตามลำดับ การศึกษากระบวนการโอโซนชั้นในการกำจัดสารอินทรีย์และสีในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการสร้างและรวมตะกอน โดยใช้เครื่องกำเนิดโอโซนที่มีอัตราการผลิตเท่ากับ 1.56 กรัมต่อชั่วโมง พบว่า สถานะที่เหมาะสมของกระบวนการโอโซนชั้นแบบครั้ง คือ พีเอช 7 และระยะเวลาสัมผัส 60 นาที สามารถลดค่าปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี, ดีโอดีและความเข้มสีในหน่วย ADMI ได้ 81.99%, 66.44% และ 97.54% ตามลำดับ และอัตราส่วนระหว่างค่าบีโอดีต่อค่าซีโอดี (BOD_5/COD) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้นจาก 0.099 เป็น 0.166 ผลของการศึกษากระบวนการโอโซนชั้นแบบต่อเนื่องที่ระยะเวลา 120 นาที พบว่า สามารถลดค่าปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี, ดีโอดีและความเข้มสีในหน่วย ADMI ได้ 81.17%, 70.20% และ 96.44% ตามลำดับ และอัตราส่วนระหว่างค่าบีโอดีต่อค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นเป็น 0.178

คำสำคัญ: การย่อยสลายทางชีวภาพ, การสร้างและรวมตะกอน, น้ำชะมูลฝอย, โอโซนชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Leachate Treatment by Coagulation-Flocculation and Ozonation	
Student	Miss Jiraphon	Saithong
	Mr. Nattapon	Nasingkhan
	Miss Sureechay	Mityem
Degree	Bachelor of Science	
Major Program	Environmental Chemistry	
Academic Year	2012	
Advisor	Asst. Prof. Dr.Chalor Jarusutthirak	

ABSTRACT

This special project studied leachate treatment by using coagulation-flocculation combined with ozonation. Optimum conditions in coagulation-flocculation were investigated. The results showed that polyaluminium chloride (PACl) at a concentration of 500 mg/L, pH of 5, and anion polymer at a concentration of 4 mg/L reduced total suspended solid (TSS) from 164 mg/L to 54 mg/L and chemical oxygen demand (COD) from 2417 mg/L to 972 mg/L, equivalent to removal efficiency of 67.07% and 59.78%, respectively. Ozonation of leachate after coagulation-flocculation used an ozone generator with a production rate of 1.56 g/hr for removal of organic compounds and color in leachate. Batch mode ozonation provided the optimum condition, i.e. pH of 7 and contact time of 60 minutes. At this condition, organic compounds in forms of COD and DOC, as well as color intensity in a unit of ADMI were removed at the efficiencies of 81.99%, 66.44% and 97.54%, respectively. The ratio of BOD₅/COD, indicating the biodegradability of organic compounds in leachate, increased from 0.099 to 0.166. The result from continuous mode of ozonation at a contact time of 120 minutes showed that organic compounds in forms of COD and DOC, as well as color intensity in a unit of ADMI reduced 81.17%, 70.20% and 96.44%, respectively. The ratio of BOD₅/COD increased to 0.178.

Keywords: Biodegradability, Coagulation-Flocculation, Leachate, Ozonation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ อาจารย์คณะกรรมการคุมสอบโครงการพิเศษ และอาจารย์ที่เคยประสิทธิ์ประสาทวิชามาตลอดทั้ง 4 ปี ทั้งให้คำแนะนำ คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหา

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำ และช่วยตรวจสอบเพิ่มความสมบูรณ์ให้งานวิจัยเล่มนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท พี.เอส.ซี.เทรคคิงแอนด์ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด โดยคุณพงษ์เทพ เกิดคอนแฝก ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องผลิตโอโซน สารรวมตะกอนพอลิอูมิเนียมคลอไรด์ และสารช่วยรวมตะกอนแอนไอออน พอลิเมอร์ และศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล เมืองพัทยา ที่อนุเคราะห์น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และสำนักหอสมุดกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกในการสืบค้นข้อมูล

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เป็นส่วนหนึ่งของสถาบันการศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิคา มารดา ผู้ที่คอยเป็นกำลังใจและเป็นแรงผลักดันในการสร้างแรงบันดาลใจในการดำเนินโครงการพิเศษนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี รวมถึงบุคคลท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมาที่คอยช่วยเหลือในการดำเนินงานครั้งนี้ ทางผู้จัดทำโครงการจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวจิราพร สายทอง

นายณัฐพล นาสิงขันธ

นางสาวสุรีย์ฉาย มิตรยิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้อมูลการจัดการมูลฝอย เมืองพัทยา	4
2.1.1 ปริมาณมูลฝอย เมืองพัทยา	4
2.1.2 สถานที่กำจัดมูลฝอย เมืองพัทยา	5
2.1.3 การจัดการมูลฝอย เมืองพัทยา	5
2.1.3.1 การจัดการมูลฝอยชุมชน	5
2.1.3.2 การจัดการมูลฝอยติดเชื้อ	6
2.2 น้ำชะมูลฝอย	7
2.2.1 การเกิดน้ำชะมูลฝอย	7
2.2.2 ลักษณะและสมบัติของน้ำชะมูลฝอย	8
2.2.3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำชะมูลฝอย	11
2.2.4 กระบวนการเกิดน้ำชะมูลฝอย	12
2.2.5 ผลกระทบของน้ำชะมูลฝอยต่อสิ่งแวดล้อม	16
2.2.6 การควบคุมน้ำชะมูลฝอย	18
2.2.7 การจัดการน้ำชะมูลฝอย	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8	กระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอย	19
2.2.8.1	การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment)	19
2.2.8.2	การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment)	20
2.2.8.3	การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment)	21
2.3	การสร้างและรวมตะกอน (Coagulation and Flocculation)	22
2.3.1	โคแอกกูเลชัน (Coagulation)	22
	- สารเคมีที่นิยมใช้เป็นสารสร้างตะกอน	23
	- สารช่วยรวมตะกอน	25
2.3.2	ฟล็อกคูเลชัน (Flocculation)	26
2.3.3	ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและรวมตะกอน	26
2.4	โอโซน (Ozone)	28
2.4.1	สมบัติของโอโซน	28
2.4.2	การผลิตโอโซน	29
2.4.3	ปฏิกิริยาของโอโซนชั้น	30
	1. การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรง	31
	2. การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเกิดผ่านแรดิคอลล	33
2.4.4	ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโอโซนชั้น	36
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1	อุปกรณ์และสารเคมี	39
3.1.1	อุปกรณ์	39
3.1.2	สารเคมี	40
3.2	วิธีการดำเนินการวิจัย	41
3.2.1	ตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง	43
3.2.2	การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอน	43
3.2.2.1	ศึกษาความเข้มข้นของสารรวมตะกอนที่เหมาะสม	43
3.2.2.2	ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสม	44
3.2.2.3	ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารช่วยรวมตะกอน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การศึกษาการผลิตก๊าซโอโซน	46
3.2.4 ศึกษาอัตราการละลายน้ำของก๊าซโอโซน	47
3.2.5 การติดตั้งและเดินระบบโอโซนชั้น	48
3.2.6 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วย โอโซนชั้นแบบครึ่ง	50
3.2.7 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการ โอโซนชั้นแบบต่อเนื่อง	51
3.3 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	52
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยก่อนเข้าระบบ	53
4.2 ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอน	54
4.3 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการสร้างและรวมตะกอน	57
4.4 อัตราการผลิตก๊าซโอโซน	58
4.5 อัตราการละลายน้ำของโอโซน	59
4.6 ผลการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการ โอโซนชั้นแบบครึ่ง	60
4.7 ผลการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการ โอโซนชั้นแบบต่อเนื่อง	62
4.8 การศึกษาความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำชะมูลฝอย	64
4.9 ผลการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับ โอโซนชั้น	66
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลวิจัย	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์	73
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	86
ภาคผนวก ค รูปภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับ กระบวนการ โอโซนชั้น	93
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณ	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเก่าและใหม่	8
2.2	ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอย	10
2.3	การปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยต่อน้ำบาดาล	16
2.4	Oxidant และ Reductant ที่ใช้ในกระบวนการ Oxidation –Reduction	21
2.5	สมบัติทางกายภาพของโอโซน	28
2.6	ความสามารถในการละลายน้ำของโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ	29
2.7	การเปรียบเทียบความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารออกซิไดซ์ชนิดต่างๆ	36
3.1	ปริมาณพอลิลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลอง	43
3.2	ปริมาณแอนไอออน พอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง	45
3.3	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์	52
4.1	ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ	53
4.2	ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการสร้างและรวมตะกอน	58
4.3	เปอร์เซ็นต์การกำจัดรวมของน้ำชะมูลฝอยเมื่อผ่านการบำบัดเบื้องต้น	66
ก-1	การวัดค่า %T ที่ความยาวคลื่นต่างๆ	77
ข-1	ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอน โดยพอลิลูมิเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	87
ข-2	ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอน เมื่อใช้พอลิลูมิเนียมคลอไรด์ที่แปรค่าพีเอชต่างๆ	87
ข-3	ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอน เมื่อใช้สารช่วยรวมตะกอน คือ แอนไอออนพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	88
ข-4	ผลการศึกษาสภาพต่างและบีโอดีก่อนและหลังการสร้างและรวมตะกอน	88
ข-5	ปริมาณโอโซนและอัตราการผลิตของโอโซน	89
ข-6	ปริมาณโอโซนที่ละลายน้ำและอัตราการละลายน้ำของโอโซน	89
ข-7	ผลการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการ โอโซนชั้นแบบครึ่ง	90
ข-8	ผลการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการ โอโซนชั้นแบบต่อเนื่อง	91
ข-9	ค่าการนำไฟฟ้าของการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการ โอโซนชั้นแบบครึ่งและ	92
ข-10	ผลการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ (BOD ₅ /COD) ของการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการ โอโซนชั้นแบบครึ่งและแบบต่อเนื่อง	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	ปริมาณมูลฝอย เมืองพัทยา	4
2.2	การเกิดน้ำชะมูลฝอย	7
2.3	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ BOD ₅ /COD, COD/DOC, VF/FS และ pH ของน้ำชะมูลฝอยตามอายุของหลุมฝังกลบ	11
2.4	ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระยะต่างๆจากการย่อยสลายในชั้นมูลฝอย	14
2.5	กระบวนการเกิดน้ำชะมูลฝอย	15
2.6	การผลิตโอโซนด้วยวิธีอัลตราไวโอเล็ต	30
2.7	การผลิตโอโซนด้วยวิธีโคโรนาดีสชาร์จ	30
2.8	กลไกการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการ โอโซนชั้นทั้งทางตรงและทางอ้อม	31
2.9	การเกิดเรโซแนนซ์ของโมเลกุลของโอโซน	31
2.10	การทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์แบบ Dipole-Mediate Attack	32
2.11	การสลายตัวของอัลดีไฮด์และคีโตนด้วยก๊าซโอโซน	32
2.12	การทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์แบบ Electrophilic Attack	32
2.13	ตัวอย่างการทำปฏิกิริยาของโอโซนกับฟินอลแบบ Electrophilic Attack	33
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอน	41
3.2	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยการศึกษากระบวนการ โอโซนชั้น	42
3.3	รูปภาพแสดงการดำเนินการหาปริมาณก๊าซโอโซน	46
3.4	รูปภาพแสดงการดำเนินการหาอัตราการละลายน้ำของก๊าซโอโซน	47
3.5	รายละเอียดแบบจำลองถึงปฏิกิริยา	48
3.6	การติดตั้งระบบโอโซนชั้นแบบครั้ง (Batch Mode)	49
3.7	การติดตั้งระบบโอโซนชั้นแบบต่อเนื่อง (Continuous Mode)	50
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TSS กับ ความเข้มข้นของพอลิออลูมิเนียมคลอไรด์	54
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีกับความเข้มข้นของพอลิออลูมิเนียมคลอไรด์	55
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TSS กับพีเอช	55
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีกับค่าพีเอช	56
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TSS กับความเข้มข้นของแอนไอออน ฟอสเฟต	56
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีกับความเข้มข้นของแอนไอออน ฟอสเฟต	57
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ โอโซนที่เวลาต่างๆ	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซโอโซนที่ละลายน้ำกับเวลาต่างๆ	59
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดี, ดีไอซี กับระยะเวลาสัมผัสโอโซนชั้นที่ค่าพีเอชต่างๆ	61
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสี (ADMI) กับระยะเวลาสัมผัสโอโซนชั้นที่ค่าพีเอชต่างๆ	62
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดี, ดีไอซีกับระยะเวลาสัมผัสโอโซนชั้นที่ถึงปฏิกิริยา 1 และ 2	63
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสี (ADMI) กับระยะเวลาสัมผัสโอโซนชั้นถึงปฏิกิริยา ที่ 1 และ 2	64
4.13	อัตราส่วน BOD ₅ /COD ของน้ำชะมูลฝอย ก่อนและหลังกระบวนการโอโซนชั้น	65
ก-1	กราฟมาตรฐานของตัวอย่างสีมาตรฐาน	79
ก-2	แสดงวิธีการทำงานของโปรแกรมคำนวณความเข้มสีในหน่วยเอดีเอ็มไอ	82
ค-1	กระบวนการโอโซนชั้น	94
ค-2	กระบวนการโอโซนชั้นน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น	95
ค-3	การเปรียบเทียบสีของน้ำชะมูลฝอยที่ไม่ผ่านและผ่านการบำบัดด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับ โอโซนชั้น	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

มูลฝอยเป็นปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นพร้อมกับความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคม การกำจัดมูลฝอยในปัจจุบันนิยมใช้ คือ การฝังกลบ ซึ่งการฝังกลบนั้นมีผลข้างเคียงที่สำคัญ ได้แก่ การเกิดน้ำชะมูลฝอย (Leachate) เนื่องมาจากน้ำฝนที่ตกบริเวณหลุมฝังกลบ น้ำใต้ดินที่ซึมผ่าน รวมทั้งความชื้นที่อยู่ในองค์ประกอบของมูลฝอยที่ไหลซึมออกมา น้ำชะมูลฝอยเป็นน้ำที่มีความสกปรกสูง มีลักษณะสีน้ำตาล-ดำ และมีกลิ่นเหม็นรุนแรง ประกอบด้วยสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคและโลหะหนักปนเปื้อน

เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยมีมลสารต่างๆ มากมาย องค์ประกอบส่วนใหญ่ในน้ำชะมูลฝอยเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์ส่วนใหญ่มาจากการย่อยสลายทางชีววิทยาของมูลฝอย น้ำชะมูลฝอยบางแห่งมีสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ได้แก่ Chlorinated Organics, AOX (Absorbable Organic Halogen) และ PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) สำหรับสารอินทรีย์ที่พบในน้ำชะมูลฝอย คือ โลหะหนัก ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซเลเนียม, เหล็ก, แมงกานีส, แคดเมียม, แคลเซียม, โครเมียม, ตะกั่ว, นิกเกิลและสังกะสี (Keenan *et al.*, 1993) ซึ่งมลสารต่างๆ เหล่านี้เป็นมลสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก จึงต้องมีการบำบัดน้ำชะมูลฝอยอย่างถูกต้อง หากไม่มีการควบคุมหรือบำบัดอย่างถูกวิธี จะทำให้เกิดปนเปื้อนสู่น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน จากการที่มีน้ำชะมูลฝอยมีความสกปรกสูงทำให้บำบัดได้ยาก เมื่อน้ำเสียจากกองขยะมูลฝอยไหลไปบริเวณใด ก็จะทำให้บริเวณนั้นเกิดความสกปรกและความเสื่อมโทรม นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์อีกด้วย

กระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การตกตะกอน การใช้เมมเบรน กระบวนการโอโซนชันและการบำบัดทางชีวภาพ เป็นต้น โดยการใช้วิธีการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับกระบวนการโอโซนชันเป็นวิธีที่บำบัดน้ำชะมูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการสร้างและรวมตะกอนจะแยกของแข็งแขวนลอยที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำออกจากน้ำชะมูลฝอย (สาวณี และคณะ, 2552) ส่วนกระบวนการโอโซนชันจะใช้บำบัดมลสารต่างๆ ที่ย่อยสลายได้ยากให้สามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ก่อนเข้ากระบวนการบำบัดทางชีวภาพ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดของระบบให้ดีขึ้น ซึ่งก๊าซโอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงและมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีทั้งในน้ำ สารละลายและในอากาศ โอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่เป็นพิษได้ดี และผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาจะมีพิษน้อยลงและถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีขึ้น (สุรพล, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับกระบวนการโอโซนชั้น โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย รวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับกระบวนการโอโซนชั้น
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการสร้างและรวมตะกอน
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการโอโซนชั้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. น้ำชะมูลฝอยได้จากศูนย์การกำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล เมืองพัทยา
2. ทำการทดลองด้วยการสร้างและรวมตะกอนหรือจาร์เทส (Jar Test) โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสร้างและรวมตะกอน ดังนี้
 - สารรวมตะกอนที่ใช้ คือ พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ โดยแปรค่าความเข้มข้นที่ 0, 300, 500, 700 และ 900 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - พีเอช แปรค่าที่ 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 และไม่ปรับพีเอช
 - สารช่วยรวมตะกอน (Coagulation Aid) ที่ใช้ คือ แอนไอออน พอลิเมอร์ โดยแปรความเข้มข้นเป็น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. เครื่องผลิตก๊าซโอโซนเป็นเครื่องมือระดับห้องปฏิบัติการ ใช้ก๊าซออกซิเจนในอากาศอัดเป็นสารตั้งต้น ปรับอัตราการไหลของอากาศที่ 5 ลิตรต่อนาทีและมีอัตราการผลิตก๊าซโอโซนเท่ากับ 1.56 กรัมต่อชั่วโมง
4. ทำการทดลองด้วยวิธีโอโซนชั้นแบบครึ่ง เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยโอโซน ดังนี้
 - พีเอช แปรค่าที่ 5, 7, 9 และ 11
 - ระยะเวลาสัมผัส แปรค่าที่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75 และ 90 นาที
5. ทำการทดลองด้วยวิธีโอโซนชั้นแบบต่อเนื่อง โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองด้วยกระบวนการโอโซนชั้นแบบครึ่ง
6. พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ คือ ปริมาณโอโซน, บีโอดี, ซีโอดี, ดีโอดี, ความเข้มข้นในหน่วย

ADMI, ค่าพีเอช, ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS), ค่าการนำไฟฟ้า และอัลคาไลน์ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากศูนย์การกำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกลักสุขาภิบาล เมืองพัทยา
2. ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดในน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับกระบวนการโอโซนชั้น
3. ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับกระบวนการ โอโซนชั้น
4. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการศึกษาค้นคว้าในระดับต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

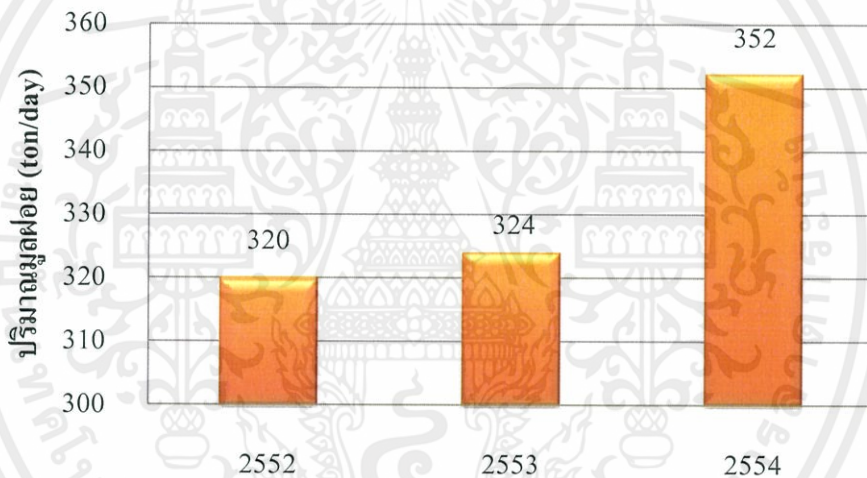
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลการจัดการมูลฝอย เมืองพัทยา

มูลฝอย คือ ของเสียหรือวัสดุเหลือใช้ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ หรือกระบวนการผลิตทางเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม เช่น มูลฝอยในชุมชน (Municipal Solid Wastes) มูลฝอยหรือของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Wastes), มูลฝอยติดเชื้อ (Infectious Wastes) เป็นต้น

2.1.1 ปริมาณมูลฝอย เมืองพัทยา (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

ปัจจุบันเมืองพัทยามีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้น 300-350 ตันต่อวัน ซึ่งมีปริมาณมูลฝอยเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2553-2554 มีปริมาณมูลฝอยเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 8.64 ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปริมาณมูลฝอย เมืองพัทยา

เมืองพัทยาได้ว่าจ้างบริษัทเอกชนดำเนินการจัดเก็บมูลฝอย ประมาณร้อยละ 70 ของพื้นที่ทั้งหมด สำหรับพื้นที่ที่เหลือร้อยละ 30 ซึ่งรวมถึงเกาะล้าน เมืองพัทยาจะดำเนินการเก็บขนมูลฝอยเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สถานที่กำจัดมูลฝอย เมืองพัทยา (กองช่างสุขาภิบาล เมืองพัทยา, 2550)

เนื่องจากปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเมืองพัทยามีปริมาณมาก จึงต้องมีการกำจัดมูลฝอยเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเมืองพัทยาจัดให้มีสถานที่กำจัดมูลฝอย 3 แห่ง ดังนี้

1. ศูนย์การกำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกลักสุขาภิบาล เมืองพัทยา พื้นที่ 140 ไร่ ตั้งอยู่ตำบลเขาไม้แก้ว อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี เริ่มเปิดใช้เมื่อพฤศจิกายน พ.ศ. 2544 สามารถกำจัดมูลฝอยทั่วไปได้ปริมาณ 320 ตันต่อวัน
2. เตาเผามูลฝอยชุมชนบ้านเกาะล้าน ตั้งอยู่ที่เกาะล้านห่างจากเมืองพัทยา 8 กิโลเมตรทางทิศตะวันตก ตำบลนาเกลือ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี มีพื้นที่ประมาณ 1 ไร่ โดยเตาเผามูลฝอยจะรองรับมูลฝอยได้ประมาณ 4 ตันต่อวัน โดยกำจัดได้เฉพาะมูลฝอยแห้งเท่านั้น
3. โรงเผามูลฝอยติดเชื้อ เมืองพัทยา ตั้งอยู่ซอยเทพประภาณิมิต ตำบลเขาไม้แก้ว อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี มีพื้นที่ 80 ไร่ โดยรองรับมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาลและคลินิก ซึ่งเมืองพัทยามีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ 0.6 ตันต่อวัน โดยที่โรงเผามูลฝอยนี้สามารถเผามูลฝอยติดเชื้อได้ 2 ตันต่อวัน

2.1.3 การจัดการมูลฝอย เมืองพัทยา

ปัจจุบันเมืองพัทยาได้แบ่งมูลฝอยออกเป็น 2 ประเภท คือ มูลฝอยชุมชนและมูลฝอยติดเชื้อ เมืองพัทยาจึงได้จัดการตามประเภทของมูลฝอย ดังนี้

2.1.3.1 การจัดการมูลฝอยชุมชน

เมืองพัทยาเป็นเมืองท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมจากชาวไทยและชาวต่างประเทศ มูลฝอยที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จึงเป็นมูลฝอยที่เกิดจากชุมชนและการท่องเที่ยว ซึ่งมีปริมาณมูลฝอยประมาณ 300 ตันต่อวัน บางครั้งมีปริมาณเพิ่มขึ้นถึง 350 ตันต่อวัน เมืองพัทยาจึงได้ดำเนินการจัดการมูลฝอยชุมชน ดังนี้

- การเก็บขน ดำเนินการโดยสำนักการสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม จะทำการเก็บขนมูลฝอยตามอาคาร สถานประกอบการและชุมชนต่างๆ ไปยังสถานีขนถ่ายมูลฝอย เมืองพัทยา
- การขนถ่ายและการกำจัดมูลฝอย ดำเนินการโดยกองช่างสุขาภิบาล จะทำการขนถ่ายมูลฝอยจากสถานีขนถ่ายไปยังศูนย์กำจัดมูลฝอย และทำการฝังกลบที่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)

เนื่องจากศูนย์กำจัดมูลฝอยอยู่ห่างจากเมืองพัทยาเป็นระยะทางถึง 25 กิโลเมตร จึงมีความจำเป็นต้องจัดตั้งสถานีขนถ่าย สำหรับขนย้ายมูลฝอย ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหามูลฝอยตกค้างตามชุมชน โดยสถานีขนถ่ายมูลฝอยตั้งอยู่ที่ซอยสุขุมวิท-พัทยา 3 ตำบลหนองปลาไหล อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี มีพื้นที่รวม 5 ไร่ ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อาคารชั่งน้ำหนัก
2. อาคารขนถ่ายมูลฝอย ที่มีการบำบัดกลิ่นด้วยระบบไบโอฟิลเตอร์
3. อาคารสำนักงาน
4. อาคารบ้านพักพนักงาน

- ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล ในอดีตเมืองพัทยาได้มีการกำจัดมูลฝอยโดยวิธีกองรวม (Open Dumped) ภายในซอยห้วยพุกฤษ์ 1 ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการปนเปื้อนจากน้ำชะมูลฝอย การเกิดกลิ่นและแมลงวัน และส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เมืองพัทยาจึงได้แก้ไขปัญหาล่าช้า โดยจัดให้มีการกำจัดมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลขึ้นที่ตำบลเขาไม้แก้ว อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี โดยทำการฝังกลบในพื้นที่ 140 ไร่ ประกอบด้วย

1. อาคารชั่งน้ำหนัก
2. บ่อฝังกลบมูลฝอย พื้นที่ 33 ไร่
3. บ่อบำบัดน้ำชะมูลฝอยเป็นระบบบ่อผึ่ง จำนวน 3 บ่อ

- การจัดเก็บค่าธรรมเนียมการจัดการมูลฝอย ดำเนินการโดยสำนักการคลัง จะทำการจัดเก็บค่าธรรมเนียมจากที่พักอาศัยและสถานประกอบการต่างๆ

2.1.3.2 การจัดการมูลฝอยติดเชื้อ

เนื่องจากโรงพยาบาลของรัฐและเอกชนในเขตเมืองพัทยามีจำนวนมากกว่า 130 แห่ง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมูลฝอยติดเชื้อจำนวน 400 กิโลกรัมต่อวัน เพื่อให้การจัดการมูลฝอยประเภทนี้เป็นไปอย่างถูกต้อง และป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรค เมืองพัทยาจึงจัดให้มีการเก็บมูลฝอยติดเชื้อด้วยรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อ เพื่อทำการขนถ่ายมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาลและสถานบริการรักษาพยาบาลไปยังโรงงานเผามูลฝอยติดเชื้อ ที่ได้ก่อสร้างไว้ในศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล ตำบลเขาไม้แก้ว โดยมีจัดการเก็บค่าธรรมเนียมและค่าเก็บขน นอกจากนี้ยังสามารถรับมูลฝอยติดเชื้อจากสถานที่ใกล้เคียงมากำจัดอีกด้วย

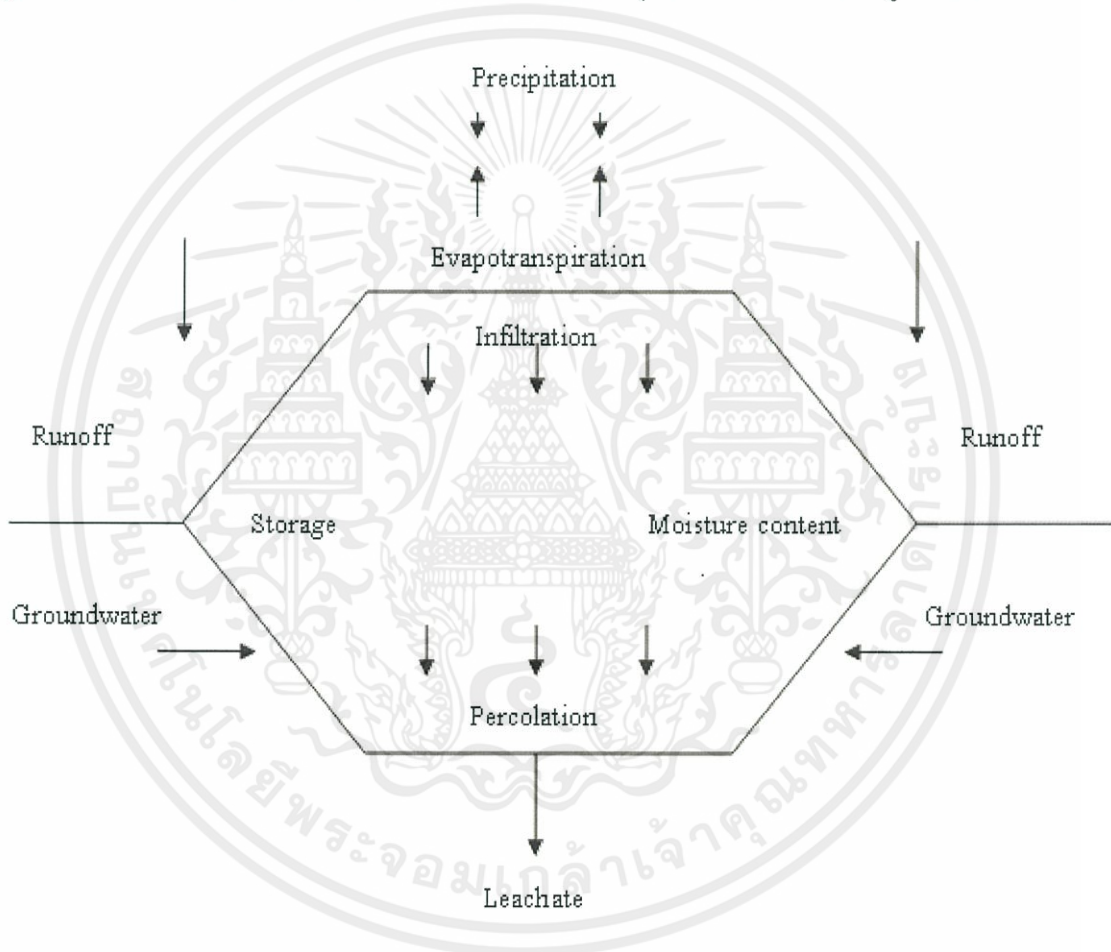
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอย (Leachate) คือ ของเหลวที่ไหลทะลุผ่านหรือออกมาจากมูลฝอย ซึ่งอาจประกอบด้วยสารละลายหรือสารแขวนลอยผสมอยู่ ซึ่งองค์ประกอบของมูลฝอย และอายุของมูลฝอยนั้นจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2.2.1 การเกิดน้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอยเกิดจากการที่มีน้ำไหลผ่านมูลฝอยแล้วละลายสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ปนออกมา ซึ่งน้ำไหลผ่านชั้นมูลฝอยอาจเกิดจากน้ำที่เป็นส่วนประกอบของมูลฝอย น้ำฝนที่ตกในบริเวณที่ฝังกลบมูลฝอย หรือน้ำใต้ดินที่มีการไหลซึมเข้ามาจากภายนอกหลุมฝังกลบ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเกิดน้ำชะมูลฝอย (Faquhar, 1989)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำชะมูลฝอย คือ สภาพภูมิอากาศบริเวณที่ทำการฝังกลบ สภาพภูมิประเทศ ลักษณะดิน สภาพอุทกธรณีวิทยา ดินและวัสดุกลบทับชั้นสุดท้าย รวมทั้งลักษณะมูลฝอยที่ฝังกลบ ปริมาณของน้ำชะมูลฝอยจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของน้ำที่ซึมเข้าสู่บริเวณฝังกลบ ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณฝนตก การระเหยกลับ และการสูญเสียน้ำอื่นๆ โดยปริมาณของน้ำชะมูลฝอยจะเพิ่มขึ้น ถ้าอัตราการซึมได้ของน้ำผ่านดินรองชั้นฝังกลบ (Underlying) และดินกลบทับ (Intermediate and Final Cover Soil) สูงขึ้น

2.2.2 ลักษณะและสมบัติของน้ำชะมูลฝอย

คุณลักษณะของน้ำชะมูลฝอยจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ฝังกลบ โดยทั่วไป หลุมฝังกลบใหม่จะมีความสกปรกมากกว่าหลุมฝังกลบเก่า ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเก่าและใหม่

องค์ประกอบ	หน่วย	อายุการฝังกลบ	
		หลุมฝังกลบใหม่	หลุมฝังกลบเก่า
บีโอดี	mg/L	2000-30000	100-200
ดีไอซี	mg/L	1500-20000	80-160
ซีโอดี	mg/L	3000-60000	100-500
ของแข็งแขวนลอย	mg/L	200-2000	100-400
อินทรีย์ไนโตรเจน	mg/L	10-800	80-120
แอมโมเนียไนโตรเจน	mg-N/L	10-800	20-400
สภาพด่าง	mg/L (เทียบ CaCO ₃)	1000-10000	200-1000
พีเอช	-	4.5-7.5	6.6-7.5
ความกระด้าง	mg/L (เทียบ CaCO ₃)	300-10000	200-500
แคลเซียม	mg/L	200-3000	100-400
แมกนีเซียม	mg/L	50-1500	50-200
โซเดียม	mg/L	200-2500	100-200
คลอไรด์	mg/L	200-3000	100-1000
ซัลเฟต	mg/L	500-1000	20-500
เหล็ก	mg/L	500-1200	20-200

ที่มา : Tchobanoglous *et al.* (1993)

องค์ประกอบส่วนใหญ่ในน้ำชะมูลฝอยเป็นสารอินทรีย์ โดยสารประกอบอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยสามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. สารอินทรีย์จากการย่อยสลายทางชีววิทยาของมูลฝอย เป็นสารอินทรีย์ที่พบมากที่สุด เช่น เศษอาหาร กระดาษ ใบไม้ เป็นต้น
2. สารอินทรีย์ที่มาจากมูลฝอยเคมี เป็นสารอินทรีย์ที่พบในปริมาณน้อย เช่น คราบน้ำมัน สารละลายต่างๆ ยาฆ่าแมลง เป็นต้น

น้ำชะมูลฝอยบางแห่งมีสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งสารประกอบนี้อาจเป็นสารประกอบที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก หรือเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ตัวอย่างของสารอินทรีย์ประเภทนี้ ได้แก่ Chlorinated Organics, Absorbable Organic Halogen (AOX) และ Polyaromatic Hydrocarbon (PAHs)

สำหรับสารอินทรีย์ที่ตรวจพบในน้ำชะมูลฝอย คือ โลหะหนัก ซึ่งชนิดและปริมาณจะแตกต่างกันตามสถานที่ฝังกลบ โดยพบว่าในน้ำชะมูลฝอยมีเหล็กและเซเลเนียมอยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนโลหะหนักอื่นมีปริมาณรองลงมา (Keenan *et al.*, 1993) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

น้ำชะมูลฝอยกับการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่มีอายุน้อยกว่า 5 ปี จะสามารถบำบัดได้ง่าย เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยประกอบด้วยสารที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย เช่น กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids, VFA) ซึ่งส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ น้ำชะมูลฝอยมีปริมาณสารอินทรีย์สูง ประกอบด้วย Free Volatile Acid ซึ่งจะถูกละลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะที่มีอากาศ ทำให้พีเอชลดลงและความสามารถในการละลายสารปนเปื้อนจะสูงขึ้น ส่วนน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่มีอายุมากจะไม่เหมาะสมสำหรับวิธีการบำบัดทางชีวภาพ เนื่องจากสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำชะมูลฝอยจะประกอบด้วยสารที่ย่อยสลายยากเป็นส่วนใหญ่ เช่น กรดฮิวมิก และกรดฟูลวิก (Chian and Dewalle, 1976)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

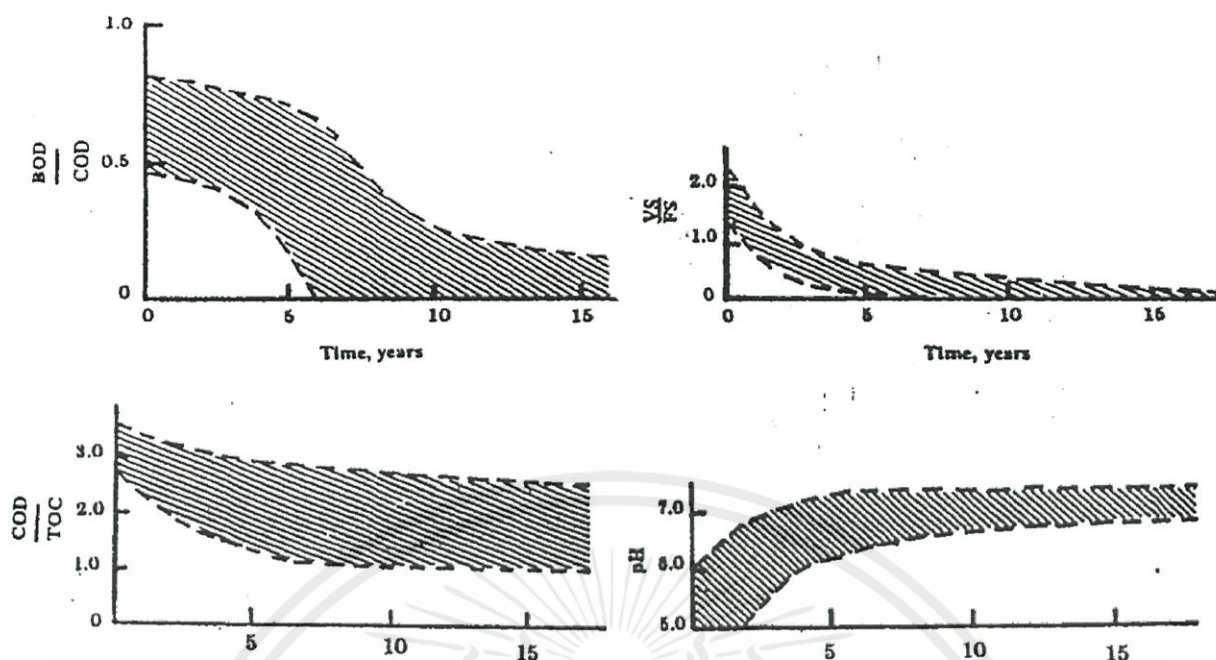
ตารางที่ 2.2 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอย

ลักษณะสมบัติ	หน่วย	ความเข้มข้น (mg/L)
พีเอช	-	5.7-6.8
บีโอดี	mg/L	30-4600
ซีโอดี	mg/L	800-10000
อัตราส่วน BOD ₅ /COD	-	0.1-0.9
สภาพด่าง	mg/L (เทียบ CaCO ₃)	280-2600
เหล็ก	mg/L	250-550
แมงกานีส	mg/L	10-65
แคลเซียม	mg/L	40-520
แคดเมียม	mg/L	0.00-0.35
โครเมียม	mg/L	0.01-0.10
ทองแดง	mg/L	0.00-0.30
ตะกั่ว	mg/L	0.10-0.08
นิกเกิล	mg/L	0.05-1.20
สังกะสี	mg/L	0.01-0.80
เซเลเนียม	mg/L	0.0-11.5

ที่มา : Keenan *et al.*, (1993)

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และอัตราส่วนของ BOD₅/COD สูงในช่วงแรกของการฝังกลบ และการย่อยสลายของมูลฝอยลดลง เมื่ออายุของหลุมฝังกลบมากขึ้น โดยในช่วงแรกปริมาณก๊าซมีเทนต่ำและอัตราส่วนของ BOD₅/COD สูง แต่เมื่ออายุของหลุมฝังกลบมากขึ้น ปริมาณก๊าซมีเทนจะสูงขึ้น ในขณะที่อัตราส่วนของ BOD₅/COD ลดลง เนื่องจากสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดกลายเป็นก๊าซมีเทน นอกจากนี้อัตราส่วนของ COD/DOC มีแนวโน้มลดลง เมื่ออายุของหลุมฝังกลบมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยอินทรีย์คาร์บอนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ถูกย่อยสลายเหลืออยู่น้อยลงตามอายุของหลุมฝังกลบที่มากขึ้น ดังนั้น น้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่มีอายุมากจะไม่เหมาะต่อการบำบัดทางชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ BOD_5/COD , COD/DOC , VF/FS และ pH ของน้ำชะมูลฝอยตามอายุของหลุมฝังกลบ (Chian and Dewalle, 1976)

ค่าของแอมโมเนียจะแปรผันตามอายุของหลุมฝังกลบเช่นกัน น้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่มีอายุน้อยจะมีความเข้มข้นของซีโอคืออยู่ในปริมาณสูง (>5000 มิลลิกรัมต่อลิตร) และมีความเข้มข้นของไนโตรเจนปริมาณน้อย (<400 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบอายุมากจะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียอยู่ปริมาณสูง (>400 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร) เช่นเดียวกับค่าความเข้มข้นของสารประกอบที่สลายตัวยากและมีสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ต่ำ ($BOD_5/COD = 0.1$)

2.2.3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำชะมูลฝอย (Andreottola and Cannas, 1992)

1. องค์ประกอบของมูลฝอย

องค์ประกอบส่วนใหญ่ในน้ำชะมูลฝอยเป็นสารอินทรีย์ ทั้งนี้สารประกอบอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยสามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ สารอินทรีย์จากการย่อยสลายทางชีววิทยาของมูลฝอยและสารอินทรีย์ที่พบในปริมาณน้อยๆ ซึ่งมาจากมูลฝอยเคมี นอกจากนี้ในน้ำชะมูลฝอยยังประกอบด้วยสารอนินทรีย์ ได้แก่ โลหะหนัก เช่น ตะกั่ว, เซเลเนียม, เหล็ก, แมงกานีส, แคดเซียม, แคดเมียม, โครเมียม, นิกเกิล และสังกะสี เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปัจจัยในการดำรงชีพของจุลินทรีย์

ปัจจัยในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ได้แก่ อุณหภูมิ, พีเอช, อัดคาไลนิตี้, ศักย์รีดอกซ์, ความชื้นและออกซิเจน มีผลต่อกระบวนการทางเคมีและชีวภาพในหลุมฝังกลบ ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะของน้ำชะมูลฝอย

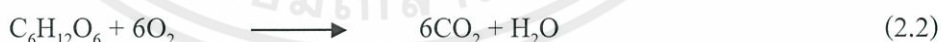
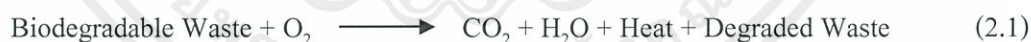
3. การออกแบบและวิธีการฝังกลบ

ขั้นตอนและการวิธีการฝังกลบ เช่น การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย การเติมเชื้อโดยใช้ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแล้ว การเติมสารบัพเฟอร์ การหมักก่อนการฝังกลบ การบดอัด การใช้วัสดุกลบทับแต่ละวัน ความหนาของชั้นมูลฝอย มีผลทั้งแง่บวกและแง่ลบต่อลักษณะน้ำชะมูลฝอย

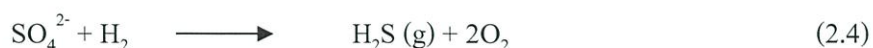
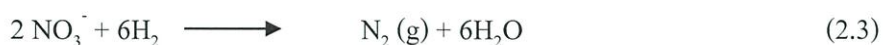
2.2.4 กระบวนการเกิดน้ำชะมูลฝอย

การฝังกลบมูลฝอยต้องอาศัยทั้งกระบวนการทางชีวภาพ ทางเคมีและทางกายภาพในการย่อยสลายมูลฝอย โดยจุลินทรีย์ในพื้นที่ฝังกลบย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย ทำให้เกิดก๊าซชนิดต่างๆ และทำให้น้ำชะมูลฝอยมีสารประกอบหลายชนิดปนเปื้อน โดยการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในมูลฝอยสามารถแบ่งออกเป็น 5 ระยะ (ปฐมาภรณ์, 2552) คือ

ระยะที่ 1 ระยะปรับเริ่มต้น (Initial Adjustment Phase) เป็นกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic Decomposition) โดยใช้จุลินทรีย์ชนิดที่ต้องการออกซิเจน จุลินทรีย์จะเผาผลาญออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศและมูลฝอยอินทรีย์บางส่วน ทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำ (H₂O) เกิดขึ้น ดังสมการที่ 2.1-2.2 โดยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดขึ้นอาจจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซหรือถูกดูดซับเข้าไปในน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้น้ำชะมูลฝอยมีฤทธิ์เป็นกรด กระบวนการนี้เป็นกระบวนการคายความร้อน ซึ่งอุณหภูมิภายในหลุมฝังกลบอาจสูงถึง 70-90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเกิดกระบวนการจะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนในหลุมฝังกลบ



ระยะที่ 2 ระยะการเปลี่ยน (Transition Phase) เมื่อออกซิเจนในหลุมฝังกลบได้ถูกใช้หมดไปโดยกระบวนการแรก ในขั้นตอนนี้กระบวนการย่อยสลายที่เกิดขึ้นจะเป็นกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition) จุลินทรีย์ยังใช้ในเตรต (NO₃⁻) และซัลเฟต (SO₄²⁻) เป็น Electron Acceptor เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน (N₂) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) เอกสารนี้ ดังสมการที่ 2.3-2.4 ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ระยะที่ 3 ระยะเกิดกรด (Acid Phase) เป็นระยะที่มีการเกิดกรดอินทรีย์มาก สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 ชั้น คือ

1. การเกิดไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ชั้นนี้สารโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกแป้ง โปรตีน ไขมัน จะถูกย่อยเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ดังสมการที่ 2.5-2.7



2. การเกิดอะซิโดจีเนซิส (Acidogenesis) ชั้นนี้สารประกอบโมเลกุลเล็กจะถูกย่อยสลายเป็นก๊าซไฮโดรเจน (H_2), Methanoic Acid หรือ Formic Acid (HCOOH), Ethanoic Acid หรือ Acetic Acid (CH_3COOH), Fatty Acids, Alcohols, Ketones, Fulvic Acids, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ดังสมการที่ 2.8



3. การเกิดอะซิโตจีเนซิส (Acetogenesis) ชั้นนี้สารจะถูกย่อยโดย Hydrogen Producing Acetogenic Bacteria กลายเป็น Acetic Acid ยกเว้น Methanoic Acid และ Ethanoic Acid ดังสมการที่ 2.9



จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในระยะนี้ คือ Facultative และ Obligate Aerobic Bacteria เรียกว่า Non-Methanogenic Bacteria หรืออาจเรียกว่า Acid Former น้ำชะมูลฝอยในระยะนี้มีพีเอชน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 เนื่องจากมีการผลิตกรดอินทรีย์และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาก ส่วนค่าบีโอดี, ซีโอดีและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำชะมูลฝอยสูง เนื่องจากสารละลายของกรดอินทรีย์ สารอนินทรีย์และโลหะหนักละลายได้ดีในที่เป็นกรด

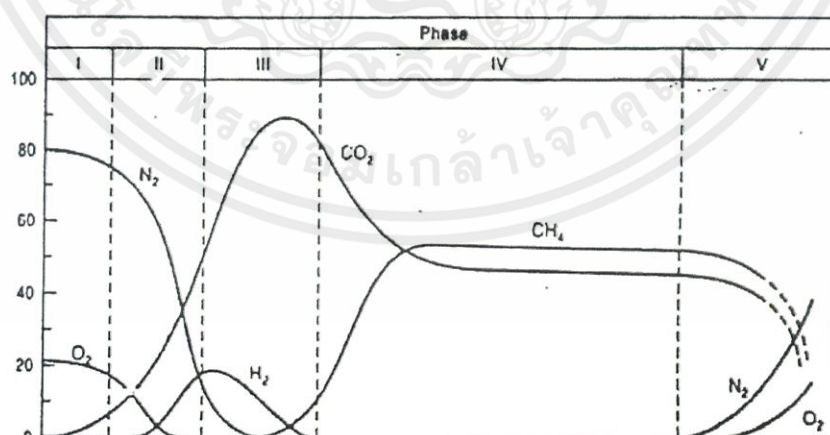
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่ 4 ระยะที่เกิดมีเทน (Methane Fermentation Phase) กระบวนการ Methanogenesis เป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบมูลฝอย ซึ่งก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วยมีเทนประมาณร้อยละ 60 และคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 40 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และใช้เวลาหลายปี โดยปฏิกริยายังคงเกิดขึ้นภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจะอยู่ที่ประมาณ 30-45 องศาเซลเซียส และระหว่าง 3-12 เดือนตามลำดับ เนื่องจากจุลินทรีย์ Methanogenic Bacteria จะเปลี่ยนกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนจากระยะ Acetogenesis และ Acidogenesis เป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 2.10-2.11 ทำให้พีเอชของน้ำชะมูลฝอยมีค่าประมาณ 6.8-8 และค่าบีโอดี, ซีโอดี, ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำชะมูลฝอยลดลง เมื่อพีเอชสูงขึ้น การละลายของโลหะหนักจะลดลงด้วย

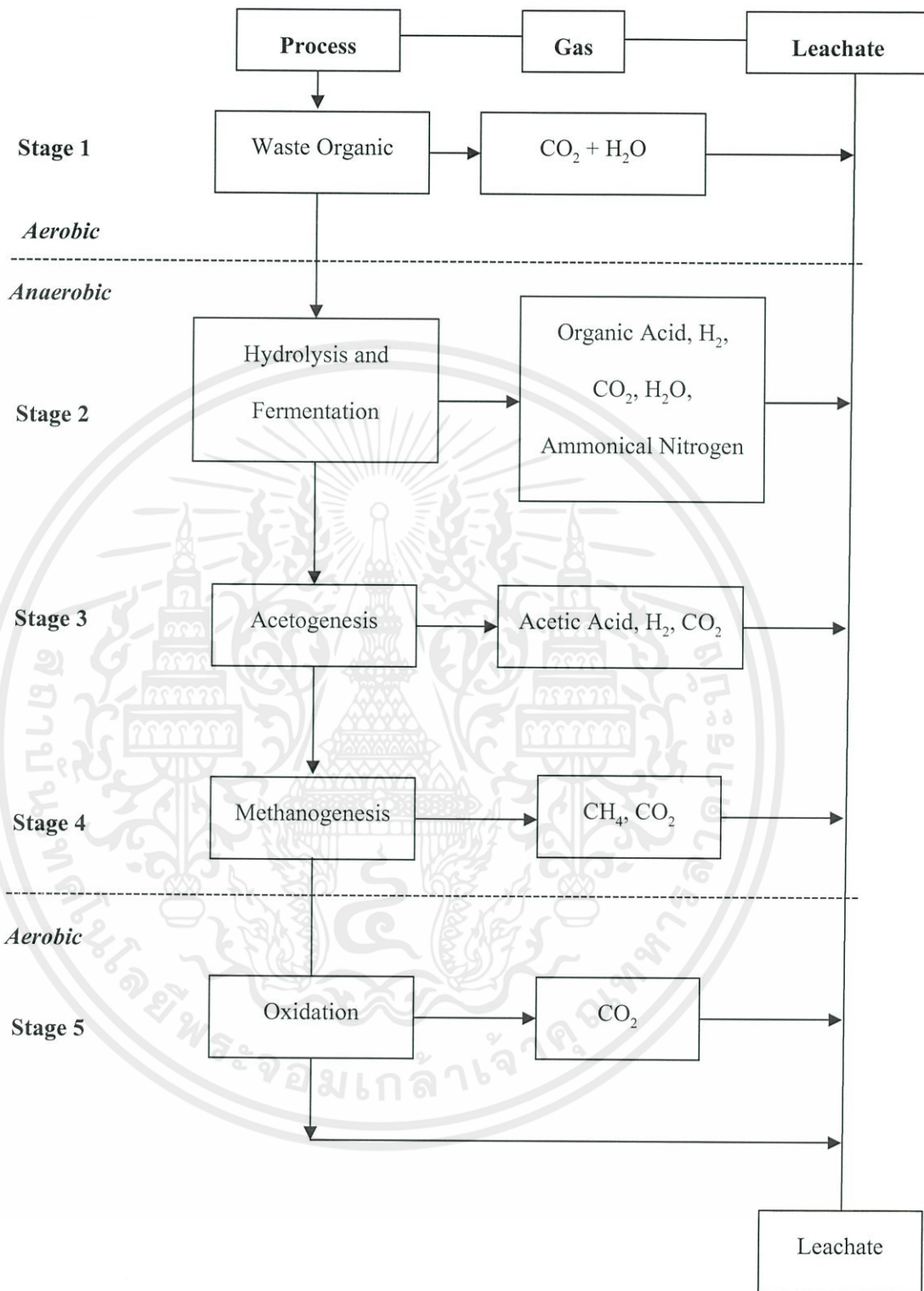


ระยะที่ 5 ระยะคงตัว (Maturation Phase) เป็นระยะที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ (Biodegradable Organic Compound) ที่ยังเหลือจากระยะก่อนๆ โดยปฏิกริยาจะเกิดขึ้นช้าๆ ส่งผลให้ก๊าซลดลงอย่างมาก ระยะนี้จะพบก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจนเล็กน้อย เนื่องจากอากาศจากภายนอกแทรกไปในหลุมฝังกลบ

จากกระบวนการเกิดน้ำชะมูลฝอยข้างต้น ทำให้น้ำชะมูลฝอยมีสารประกอบหลายชนิดปนเปื้อนและทำให้เกิดก๊าซต่างๆ มากมาย ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และ รูปที่ 2.5



เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 2.4** ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระยะเวลาต่างๆจากการย่อยสลายในชั้นมูลฝอย โยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง (Tchobanoglous *et al.*, 1993) ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 กระบวนการเกิดน้ำชะมูลฝอย (Tchobanoglous *et al.*, 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ผลกระทบของน้ำชะมูลฝอยต่อสิ่งแวดล้อม (นวพรช, 2545)

ปัจจุบันการกำจัดมูลฝอยในประเทศ มีปัญหาด้านการจัดการน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากมูลฝอย เนื่องจากส่วนใหญ่ยังไม่มียระบบบำบัดน้ำเสียหรือมีการใช้บ่อฝังในการบำบัดน้ำเสีย และไม่ได้มีการออกแบบอย่างถูกต้องให้เพียงพอกับปริมาณและลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้น ทำให้ไม่สามารถลดความสกปรกในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ การปล่อยน้ำชะมูลฝอยที่บำบัดยังไม่ได้มาตรฐานออกสู่สิ่งแวดล้อม เป็นการแพร่กระจายความสกปรกและสารพิษที่มีอยู่ในมูลฝอยสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำสำคัญในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านอุปโภค บริโภค และเกษตรกรรม จึงอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์ทั้งหมด 3 จุด ของจุดแรก คือ บริเวณเหนือสถานฝังกลบมูลฝอยเป็นตัวแทนของน้ำก่อนการปนเปื้อนจากน้ำชะมูลฝอย จุดที่ 2 อยู่บริเวณฝังกลบมูลฝอยและจุดสุดท้ายอยู่ทางด้านท้ายน้ำซึ่งเป็นบริเวณใกล้เคียงกับสถานฝังกลบมูลฝอยพบการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยต่อน้ำบาดาล ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยต่อน้ำบาดาล

ดัชนีวิเคราะห์	หน่วย	ก่อนการปนเปื้อน	บริเวณฝังกลบมูลฝอย	บริเวณใกล้เคียง
pH	-	7.2	6.7	7.7
COD	mg/L	20	1863	75
Total Dissolved Solid	mg/L	636	6712	1510
Total Hardness	mg/L	570	4960	824
Sodium	mg/L	30	806	320
Chloride	mg/L	18	1,710	252

ที่มา : นวพรช, 2545 อ้างถึง General Electric Company (1975)

จากข้อมูลในข้างต้นแสดงให้เห็นว่า น้ำชะมูลฝอยมีโอกาที่จะปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบด้านต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ

เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยมีองค์ประกอบของสารต่างๆ อยู่มากมายทั้งสารเป็นพิษ และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่สูงมาก ดังนั้นอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำและระบบนิเวศในธรรมชาติ ได้แก่

- การลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำ (Oxygen Depletion in Stream Water) น้ำชะมูลฝอยมีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงมาก จากการศึกษาของ Ou (1989) พบว่า น้ำชะมูลฝอยจากสถานีฝังกลบมูลฝอยอ่อนนุชที่ผ่านบ่อหมักไว้อากาศแล้ว มีค่า BOD₅ ประมาณ 286-555 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะมีผลอย่างยิ่งต่อปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง เนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์

- ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (Toxic to Stream Life) น้ำชะมูลฝอยจากระบบฝังกลบมูลฝอยมักมีสารที่เป็นพิษซึ่งเกิดจากการชะเอาสารพิษจากมูลฝอยที่นำมากำจัด ได้แก่ มูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาล มูลฝอยอันตรายจากบ้าน เช่น กระจก สารฆ่าแมลง ถ่านไฟฉายและหลอดไฟ เป็นต้น จากการสำรวจสถานที่ฝังกลบมูลฝอยเทศบาลในพื้นที่ภาคเหนือ และภาคกลางพบว่า สถานที่ฝังกลบมูลฝอยส่วนใหญ่ไม่แยกกำจัดมูลฝอยอันตรายและมูลฝอยติดเชื้อ ก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

- ทัศนียภาพในแหล่งน้ำ เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยมักจะมีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ และการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยวิธีทางชีววิทยาเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถลดความเข้มของสีลงได้มากนัก เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยมักจะมีพวกชีวมีกและกรดฟูลวิก ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากทางชีวภาพเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย (Tchobanoglous *et al.*, 1993)

2. ผลกระทบต่อดิน

น้ำชะมูลฝอยสามารถไหลซึมผ่านชั้นดินที่ไม่มีกรบดอัดได้อย่างดี และสามารถกระจายสารมลพิษได้ทั้งแนวราบและแนวตั้ง นอกจากนี้ดินบางชนิดยังมีคุณสมบัติเป็นตัวกรองที่ดี จึงสามารถดูดซับสิ่งสกปรกและสารพิษ เช่น โลหะหนักต่างๆ สะสมไว้ในชั้นดินได้ จากการศึกษาของ Nicholson *es al.* (1983) พบว่า มีการกระจายของคลอไรด์, ซัลเฟต, อัลคาไลไนต์, เหล็ก, แคลเซียม, แมกนีเซียม, โซเดียม, โพแทสเซียม, แอมโมเนียม และแมงกานีสในระยะ 100-300 เมตร ในแนวราบและระยะ 14-18 เมตร ในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลกระทบต่อมนุษย์

- สุขภาพอนามัยของมนุษย์ น้ำชะมูลฝอยที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน อาจก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงกับมนุษย์ เมื่อนำน้ำจากแหล่งน้ำไปอุปโภค บริโภค จากการศึกษาของ US.EPA (1971) ระหว่างปี 1945-1970 พบว่า มีผู้ป่วยมากกว่า 31,000 คน ที่ป่วยด้วยสาเหตุจากการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินจากสารอินทรีย์เคมีที่เป็นพิษ

- การใช้ประโยชน์ เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยมีองค์ประกอบของสารต่างๆ ในปริมาณสูงและอาจตกค้างในแหล่งทรัพยากรธรรมชาติต่างๆ ได้แก่ ดิน น้ำ ซึ่งมีผลต่อการนำทรัพยากรธรรมชาติเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ เช่น เพื่อการเพาะปลูก การประมง เป็นต้น

2.2.6 การควบคุมน้ำชะมูลฝอย

เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีองค์ประกอบทางเคมีและชีวภาพมากมาย จึงไม่ควรปล่อยให้ปนเปื้อนน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน หลุมฝังกลบมูลฝอยทุกแห่งจึงต้องมีการป้องกันการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยอย่างเหมาะสม (สาวิณี และคณะ, 2552) ดังนี้

1. การลดการซึมเข้าของชั้นภายนอกสู่หลุมฝังกลบ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ ใช้วัสดุป้องกันการซึมที่ลดการซึมผ่านให้อยู่ที่อัตรา 10^{-6} และ 10^{-7} เซนติเมตรต่อวินาที ปัจจุบันนิยมใช้แผ่นกันซึมสังเคราะห์ HDPE หรือใช้ดินเหนียวหรือใช้ทั้งสองอย่างเป็นวัสดุป้องกันการรั่วซึม และทำให้ผิวบนของหลุมฝังกลบลาดลงสู่ฐานหลุมฝังกลบ โดยปูวัสดุกันซึมที่ผิวบนหลังจากฝังกลบมูลฝอยในแต่ละวัน หรือหลังจากทำการกลบทับชั้นสุดท้ายเสร็จแล้ว

2. การชะลอการซึมออกของน้ำชะมูลฝอยจากชั้นฝังกลบ ทำได้ 2 วิธีเช่นเดียวกับการลดการซึมเข้าของชั้นภายนอกสู่หลุมฝังกลบ แต่การทำให้ผิวบนของหลุมฝังกลบลาดลงสู่ฐานหลุมฝังกลบต้องปูวัสดุกันซึมที่กันหลุม ตั้งแต่ช่วงเตรียมพื้นที่ฝังมูลฝอย

3. การรวบรวมน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบ ทำเพื่อนำไปบำบัดก่อนปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำ โดยวางท่อบนวัสดุกันซึมที่กันหลุมให้สามารถรับน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นได้ทั่วทั้งหลุม

2.2.7 การจัดการน้ำชะมูลฝอย

เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยมีองค์ประกอบของสารต่างๆ อยู่มากมาย ทั้งสารเป็นพิษและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่สูงมาก จึงต้องมีการจัดการอย่างถูกวิธี (สาวิณี และคณะ, 2552) ดังนี้

1. การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย (Leachate Recycling) การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยจากระบบบำบัดรวบรวมน้ำชะมูลฝอย (Leachate Storage Facilities) มารดหน้าดินกลบทับของหลุมฝังกลบมูลฝอย เพื่อบำบัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำชะมูลฝอย โดยกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบ ดังนี้

- กระบวนการทางชีววิทยา คือการที่ Methane Former เปลี่ยน (Volatile Fatty Acids, VFA) เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน

- กระบวนการทางเคมี คือ เมื่อพีเอชเพิ่ม โลหะในรูปสารละลายจะตกตะกอนในรูปโลหะไฮดรอกไซด์

- กระบวนการทางกายภาพ คือ การดูดซับสิ่งปนเปื้อนไว้ในอนุภาคดินและมูลฝอย

2. การระเหยน้ำชะมูลฝอย (Leachate Evaporation) โดยทำการระเหยน้ำชะมูลฝอยในบ่อฝังหรือบ่อระเหย (Evaporation Pond) โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ น้ำชะมูลฝอยที่ไม่ระเหยจะนำไปสเปรย์ที่ผิวหน้าหลุมฝังกลบ โดยในวิธีนี้เหมาะสมกับประเทศที่อยู่ในเขตร้อน อาจทำการควบคุมปัญหาเรื่องกลิ่นด้วยการเติมอากาศที่ผิวหน้าของบ่อ (Surface Aeration)

3. การบำบัดน้ำชะมูลฝอย (Leachate Treatment) กรณีที่ไม่สามารถทำการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย และระเหยน้ำชะมูลฝอยได้ จำเป็นต้องบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ ทางกายภาพและทางเคมี การเลือกระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำชะมูลฝอยที่ต้องการกำจัด

4. การปล่อยลงสู่ระบบรวบรวมน้ำเสียชุมชน (Discharge to Municipal Wastewater Collection Systems) กรณีที่หลุมฝังกลบตั้งอยู่ใกล้ระบบรวบรวมน้ำเสียชุมชน อาจทำการปล่อยน้ำชะมูลฝอยสู่ระบบรวบรวมน้ำเสียชุมชน แต่จำเป็นต้องทำการบำบัดน้ำชะมูลฝอยเบื้องต้น เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ก่อนปล่อยเข้าสู่ท่อรวบรวมน้ำเสีย

2.2.8 กระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอย (สาวิณี และคณะ, 2552)

2.2.8.1 การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment)

1. การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นการแยกของแข็งแขวนลอยที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำออกจากน้ำเสียด้วยแรงโน้มถ่วงโลก โดยใช้ถังตกตะกอนขนาดใหญ่เป็นที่พักน้ำเสียให้มีเวลาดตกตะกอนในถังประมาณ 2-4 ชั่วโมง น้ำเสียที่ออกมาจากถังตกตะกอนจะมีสารแขวนลอยน้อยลง

2. การทำให้ลอย (Flotation) เป็นการแยกของแข็งแขวนลอยที่มีความหนาแน่นต่ำหรือว่าใกล้เคียงกับน้ำ และของเหลวที่ไม่ละลายน้ำ (ไขมัน) โดยการเป่าฟองอากาศเข้าไปในน้ำเสีย อนุภาคจะติดอยู่กับผิวฟองอากาศและลอยตัวขึ้นพร้อมกับฟองอากาศ สะสมอยู่ที่ผิวน้ำเป็นชั้นหรือเป็นฝ้า กำจัดได้โดยการกวาด (Skimming)

3. การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon Adsorption) เป็นการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการดูดซับด้วยตัวดูดซับ (Absorbent) ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น ซีไอดี, บีไอดี, ซี, กลิ่นและยาฆ่าแมลงออกจากน้ำชะมูลฝอย ประสิทธิภาพในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิด, ความพรุน, พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ, ความเข้มข้นของสารละลาย, แรงผลักดัน (Driving Force), พีเอชและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) เป็นการกำจัดสารอินทรีย์ละลายในน้ำเสีย (Dissolved Inorganics) ในรูปของ Cation และ Anion จากน้ำชะมูลฝอย สารแลกเปลี่ยนไอออนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ซีโอไลต์ (Zeolite) และเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) โดยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนมากกว่าซีโอไลต์ น้ำเสียจะไหลผ่านถังที่บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

- Cation ในน้ำเสียแลกเปลี่ยนกับ H^+ หรือ Na^+ ของ Strong Acid Cation Resin และ Weak Acid Cation Resin

- Anion ในน้ำเสียถูกแลกเปลี่ยนกับ OH^- ของ Strong Base Anion Resin เมื่อใช้งานระยะเวลาหนึ่ง เรซินจะหมดประสิทธิภาพแต่จะสามารถ Regeneration ได้โดยการเติมประจุให้กับเรซิน

5. รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis ; RO) เป็นการย้อนกลับของออสโมซิส (Osmosis) โดยบังคับให้เกิดการไหลย้อนกลับของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสิ่งเจือปนสูง ไหลผ่านเยื่อกรองไปยังน้ำที่มีความเข้มข้นน้อย โดยใช้ความดันออสโมติก (Osmotic Pressure) เพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนเยื่อกรองออกจากน้ำเสีย โดยสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียจะถูกกั้นไว้ด้วยเยื่อกรองและเหลือน้ำที่ปราศจากสิ่งปนเปื้อนเท่านั้นที่ไหลผ่านได้

2.2.8.2 การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment)

1. การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) น้ำชะมูลฝอยที่มีค่าพีเอชต่ำควรทำให้เป็นกลางโดยใช้ปูนขาว (Lime; CaO) โซดาไฟ (NaOH) หรือ โซดาแอช (Na_2CO_3) ส่วนน้ำชะมูลฝอยที่มีพีเอชสูงควรทำให้เป็นกลางโดยใช้กรดชนิดต่างๆ เช่น กรดกำมะถัน (H_2SO_4), กรดเกลือ (HCl) เป็นต้น

2. กระบวนการออกซิเดชันและรีดักชัน กรณีที่ต้องการกำจัดสารมลพิษที่ละลายน้ำอยู่ในน้ำแต่ไม่สามารถใช้วิธีตกตะกอนผลึกได้อาจใช้กระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชัน เป็นการเปลี่ยนสารมลพิษไปเป็นสารที่ไม่มีพิษ ความเป็นพิษลดลง คือ ตัว Oxidant หรือ ตัว Reductant อย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันกับสารพิษ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 Oxidant และ Reductant ที่ใช้ในกระบวนการ Oxidation –Reduction

Chemical	Contaminant
Oxidant	
Air Or Oxygen	Sulfate, Sulfides, Ferrous
Chlorine Gas	Sulfite
Chlorine Gas And Base	Cyanide
Chlorine Dioxide	Cyanide, Pesticides
Sodium Hypochlorite	Cyanide, Lead
Calcium Hypochlorite	Cyanide
Potassium Permanganate	Cyanide, Lead, Organic order
permanganate	Manganese
Hydrogen Peroxide	Phenol, Cyanide, Sulfur compound, Lead
Reductant	
Sulfur Dioxide	Chromium
Sodium Bisulfite	Chromium
Sodium Borohydride	Mercury, Silver
Ferrous Sulfate	Chromium

ที่มา : สาวิณี และคณะ, 2552 อ้างถึง Ray (1995)

2.2.8.3 การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment)

1. กระบวนการใช้ออกซิเจน (Aerobic Processes)

- กระบวนการตะกอนเร่ง (Activated Sludge) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอยทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน โดยอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะตกตะกอนแล้วแยกออกจากน้ำในถังตกตะกอน ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะลอยขึ้นไปในอากาศ

- ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) เป็นระบบที่มีจุลินทรีย์เกาะอยู่บนผิวของวัสดุตัวกลาง (หินหรือพลาสติก) โดยน้ำเสียจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านชั้นวัสดุตัวกลางซึ่งจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนตัวกลางจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยในสภาวะที่มีออกซิเจน น้ำที่ผ่านระบบจะถูกส่งเข้าไปในถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor: RBC) หลักการบำบัดและส่วนประกอบเหมือนกับระบบการบำบัดแบบโปรยกรอง ต่างกันที่ตัวกลางที่ใช้เป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ ตัวกลางจะมีลักษณะเป็นแผ่นทรงกลมหลายๆอันยึดติดกันด้วยแกนหมุนที่จุกกึ่งกลางแผ่น ส่วนประกอบทั้งหมดจะวางอยู่ในถังที่มีแกนหมุนซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำในถังเล็กน้อย โดยมีส่วนของแผ่นจมน้ำอยู่ประมาณ 40 % การหมุนของแกนหมุนจะทำให้จุลินทรีย์สัมผัสน้ำเสีย และเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์และเกิดการถ่ายเทอากาศจากภายนอกเข้าสู่ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ

- ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) เป็นกระบวนการแบบไม่มีการหมุนเวียนสลัดจ์ มักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ที่มีระยะเวลาเก็บน้ำหลายวัน มีการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศแบบลอยน้ำ ไม่มีถังตกตะกอน

2. กระบวนการไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Processes)

- บ่อหมักไร้อากาศ (Anaerobic Pond) เป็นกระบวนการบำบัดที่ง่ายที่สุด ซึ่งสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading) ได้สูงขึ้น มักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ที่มีความลึก 3-4 เมตร ระยะเวลาเก็บน้ำหลายวัน สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนมักมีปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวน

- ถังกรองไร้อากาศเป็นถังปิดทรงสูงภายในบรรจุด้วยตัวกลางหินหรือพลาสติกขนาด 1.5-2 นิ้ว น้ำเสียไหลเข้าทางด้านล่างขึ้นข้างบน ทำให้น้ำท่วมตัวกลางอยู่ตลอดเวลา เมื่อน้ำเสียไหลผ่านตามช่องว่างของตัวกลางซึ่งมีจุลินทรีย์เกาะอยู่จะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์สภาวะไร้ออกซิเจน

2.3 การสร้างและรวมตะกอน (Coagulation and Flocculation)

2.3.1 โคลแอกกูเลชัน (Coagulation)

เป็นกระบวนการทำลายประจุอนุภาคของคอลลอยด์ เนื่องจากพื้นผิวของอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก จะมีแรงอเล็กโตรสแตติก (Electrostatic) และแรงอินเตอร์ไอออนิก (Interionic) ซึ่งแรงทั้งสองจะมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดของโลก ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคจนไม่สามารถตกตะกอนได้ ดังนั้นจึงต้องใส่สารสร้างตะกอน (Coagulant) เพื่อทำลายเสถียรภาพ ทำให้ขนาดอนุภาคตะกอนสามารถสัมผัสกันและรวมตัวกันใหญ่ขึ้นได้ (ศักดิ์ชัย, 2539)

กลไกการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ (Destabilization) ด้วยกระบวนการโคลแอกกูเลชัน มีกลไกที่สำคัญ 4 แบบ (มันสิน, 2542) คือ

1. การลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) โดยลดค่าเซต้าโพเทนเชียล โดยการเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาคทำให้ความหนาของชั้นกระจายลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกประการ

2. การดูดติดผิวและการทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and Charge Neutralization) โดยการเติมสารเคมีที่มีประจุไฟฟ้าตรงข้ามกับประจุของอนุภาคคอลลอยด์และสามารถดูดติดบนพื้นผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้

3. การจับอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น (Sweep Coagulation) โดยการเติมสารเคมีบางชนิดลงไป ทำให้ได้ผลึกของสารประกอบ สามารถห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้ผลึกขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น

4. การใช้สารพอลิเมอร์ เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer Bridging) โดยสารประกอบตามธรรมชาติหลายชนิด เช่น แป้ง เซลลูโลส น้ำตาลบางชนิด โปรตีนบางชนิด รวมทั้งสารอินทรีย์พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น สามารถใช้สร้างตะกอนในการกำจัดคอลลอยด์ เนื่องจากพอลิเมอร์มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อใส่ไปในน้ำจะมีไอออนจำนวนมากเพื่อเกาะจับกับขนาดอนุภาคคอลลอยด์และยังมีแขนเชื่อมติดกับอนุภาคคอลลอยด์ตัวอื่นๆ เกิดการรวมตัวขนาดใหญ่ได้

สารเคมีที่นิยมใช้เป็นสารสร้างตะกอน มีดังนี้ (เกรียงศักดิ์, 2543 และพรศักดิ์, มปป.)

1. สารส้ม (Alum) หรือ อลูมิเนียมซัลเฟต $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$ นิยมใช้มากในการบำบัดน้ำเสียและการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เพื่อการกำจัดของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำ เมื่อใส่สารส้มลงไป ในน้ำที่มีอัลคาไลน์ตี (Alkalinity) เกิดปฏิกิริยา ดังสมการที่ 2.12

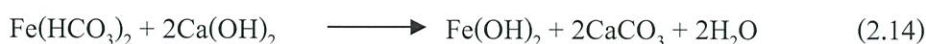


อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium Hydroxide) ซึ่งเป็นตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ มีลักษณะคล้ายฟล็อก ตกตะกอนลงมาพร้อมกับของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียลงด้วย แต่การใช้อัลคาไลน์ตีจากน้ำจะทำให้พีเอชของน้ำลดลง ดังนั้นถ้าน้ำเสียมีค่าอัลคาไลน์ตีไม่เพียงพอ ต้องใส่สารเคมี เช่น แคลเซียมไบคาร์บอเนต โซดาแอช โซดาไฟ หรือ ปูนขาวผลึกน้ำ

2. เฟอรัสซัลเฟตและปูนขาว (Ferrous Sulfate and Lime) การใส่สารเฟอรัสซัลเฟตเพียงอย่างเดียวจะไม่เกิดตะกอนผลึก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมปูนขาวลงไปด้วย ดังสมการที่ 2.13



เมื่อเติมปูนขาวลงไป จะได้ดังสมการที่ 2.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ถ้ามีออกซิเจนเพียงพอ ดังสมการที่ 2.15 จะได้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลึกของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ จะมีเนื้อแน่น และตกตะกอน ได้เร็ว การใช้เฟอร์ริซัลเฟตจะ ต้องควบคุมปริมาณปูนขาวอย่างถูกต้อง หากเติมมากเกินไปจะเกิดการตกผลึกของหินปูนภายในท่อ ส่งน้ำได้

3. เฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric Chloride) มีสูตร โมเลกุล คือ FeCl_3 มีลักษณะผลึกสีน้ำตาลหรือ เหลือง เป็นเม็ดสีเขียวหรือดำ และในสารละลายมีสีน้ำตาลแกมเหลือง ละลายน้ำได้ดี เนื่องจาก เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารเคมีที่แตกตัวในน้ำ สารประกอบเหล็กเมื่อละลายน้ำจะมีประจุบวก สามารถ ทำให้เป็นกลางโดยใช้ประจุลบที่เกิดจากอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำเฟอร์ริกคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับ ไบคาร์บอเนตในน้ำ ดังสมการที่ 2.16 และ 2.17



การสร้างตะกอนด้วยสารส้มอาจไม่ได้ผลดีกับน้ำอ่อนที่มีสีเข้ม ซึ่งเฟอร์ริกคลอไรด์ให้ผลดีกว่า

4. พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminum Chloride, PACl) เป็นสารเคมีที่มีสูตรโมเลกุล เรียงต่อกันเป็นสายยาว มีสูตร โมเลกุลดังนี้ คือ $(\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3-n})_i$ เมื่อ $n=2$, $2.7 \leq m \leq 3.9$, $i > 0$

พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารสร้างตะกอนที่ได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อลดปัญหาในการทำ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เมื่อมีการสร้างตะกอนเกิดขึ้นคลอไรด์ไอออนที่เกิดขึ้นจะเข้า รวมกับตะกอนและตกลงสู่ด้านล่างจึงไม่มีปัญหาสภาพเป็นกรดมากเมื่อเปรียบเทียบกับสารรวม ตะกอนอย่างอื่น ๆ จึงไม่มีผลเปลี่ยนแปลงค่าสภาพด่าง เกิดผลิตภัณฑ์คาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า จึงไม่เกิดปัญหาเรื่องตะกอนลอยไม่เกิดความกระด้างถาวรเหมือน และจำนวนสารเคมีที่ใช้ในการ ปรับสภาพน้ำก็ใช้น้อยกว่าด้วยดังสมการที่ 2.18



สมบัติของพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์เมื่อเป็นการสร้างตะกอน

1. มีอำนาจในการสร้างและการรวมตัวของตะกอนสูงและการตกตะกอนจะเป็นไปอย่าง รวดเร็วกว่าสารส้ม

2. สะดวกในการใช้งานเนื่องจากมีสมบัติในการละลายน้ำได้ดี

3. ในการทำงานพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์จะมีช่วงความเป็นกรดต่างในการเกิดปฏิกิริยากว่า สารสร้างตะกอนตัวอื่นๆปกติจะมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6 ถึง 9 แต่บางกรณีจะสามารถตกตะกอน

เอกสารนี้ในช่วงค่าพีเอช 5 ถึง 10 กับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์สามารถสร้างตะกอนได้เร็วกว่าสารส้มโดยระยะเวลาในการกวน เร็วน้อยกว่า

กลไกการรวมตะกอนด้วยพอลิออลูมิเนียมคลอไรด์

พอลิออลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารเคมีที่อยู่ในรูปของแข็งหรืออยู่ในรูปสารละลาย พอลิออลูมิเนียมคลอไรด์เมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดการแตกตัวได้ Al^{+3} เช่นเดียวกับสารส้ม ดังนั้นกลไกในการทำปฏิกิริยาจึงใกล้เคียงกับกลไกการทำปฏิกิริยาของสารส้มซึ่งอธิบายได้ดังนี้

เมื่อพอลิออลูมิเนียมคลอไรด์แตกตัวจะได้ Al^{+3} ที่มีความสามารถให้ไฮโดรเจนไอออนจึงเกิดไฮโดรไลซิสของอลูมิเนียมได้สารต่างๆ เช่น $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$, $Al_{17}(OH)_{17}^{+4}$, $Al_6(OH)_{15}^{+3}$ เป็นต้น ซึ่งเป็นอลูมิเนียมที่มีหลายอะตอมที่เรียกว่า Polymeric Hydroxo Complex ซึ่งมีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่เสถียรแล้วทำให้เกิดการรวมกลุ่มเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นแล้วจึงตกตะกอน สำหรับการสร้างตะกอนค่าพีเอชของน้ำมีความสำคัญต่อประจุที่เกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซิส เนื่องจากถ้าค่าพีเอชต่ำสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประจุบวกจะเกิดขึ้นมากจะทำให้เกิดผลในการเพิ่มทั้งปริมาณและอัตราเร็วในการตกตะกอน นอกจากนี้จะจับกับอนุภาคคอลลอยด์แล้วยังทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลไอออนในกลายเป็นตะกอนขนาดเล็ก เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้นเมื่อเติมพอลิออลูมิเนียมคลอไรด์ลงไป น้ำต้องผสมอย่างรวดเร็วทันทีแล้วจึงลดอัตราเร็วในการกวนช้าลงเพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสและจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้นแล้วจึงแยกตะกอนที่เกิดขึ้นออกมาโดยการปล่อยให้ตกตะกอนตามธรรมชาติ

สารช่วยรวมตะกอน (Coagulation Aid) หรือพอลิเมอร์สามารถแบ่งได้อย่างกว้างๆ 2 ชนิด (เกรียงศักดิ์, 2543 และพรศักดิ์, มปป.) คือ

1. พอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส (Cellulose) เจลาติน (Gelatin) และแป้ง (Starch)
2. พอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ในปี ค.ศ.1979 ได้มีการสังเคราะห์พอลิอะครีลาไมด์ (Polyacrylamide) ขึ้น และนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง สร้างขึ้นจาก โมโนเมอร์ที่รวมกันเป็นสายโซ่ยาวจำนวนโมเลกุลจะประกอบด้วยน้ำหนักรวมโมเลกุลในปริมาณเป็นล้านหน่วย

องค์ประกอบและรูปแบบทางด้านกายภาพของพอลิเมอร์มีรูปร่างเป็นโซ่ยาว เป็นสารเคมีชนิดพิเศษ สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้อย่างสมบูรณ์จาก โมโนเมอร์หลายโมโนเมอร์อันรวมกันหรือสามารถทำได้จากการเพิ่มสารเคมีลงไปเพื่อเพิ่มหน้าที่ของ โมโนเมอร์ ซึ่งเป็นตัวแบ่งประเภทของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น ดังนั้น โมโนเมอร์จึงเป็นส่วนประกอบหนึ่งของพอลิเมอร์แขนงของโมโนเมอร์ค่อนข้างกว้างจึงใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์พอลิเมอร์ เช่น อะครีลาไมด์ สารอินทรีย์สังเคราะห์พอลิเมอร์ สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แคทไอออน พอลิเมอร์ (Cationic Polymer) มีประจุบวกบนส่วนของสารอินทรีย์ ระดับของประจุบนพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับจำนวนไอออนของหมู่ไนโตรเจน (Nitrogen Groups) มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพตะกอนซึ่งมีประจุลบ ตัวอย่างแคทไอออน พอลิเมอร์ เช่น Polydiallyldimethyl Ammonium (PDADMA, cat-floc) สารรวมตะกอนพอลิอะครีลาไมด์ประเภทแคทไอออน เตรียมได้โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสารเคมี ชนิดอนไอออนิกพอลิอะครีลาไมด์ หรือเป็นการรวมแคทไอออนโมโนเมอร์ด้วยพอลิอะครีลาไมด์ ชนิดแคทไอออน พอลิเมอร์จะนิยมใช้ในงานปรับสภาพตะกอน เนื่องจากของแข็งในน้ำตะกอนชนิดนั้นมีประจุลบ

2. แอนไอออน พอลิเมอร์ (Anionic Polymer) มีประจุลบบนส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ จำนวนประจุลบขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มของอะครีลาไมด์ที่ละลายอยู่ในกรดอะครีลิก ชนิดของแอนไอออน พอลิเมอร์ เช่น Polyacrylamide Acid (PAA), Hydrolyzed Polyacrylamide (HPAM) และ Polystyrene Sulfate (PSS) สารรวมตะกอนพอลิอะครีลาไมด์ ประเภทแอนไอออนมีประจุไฟฟ้าเป็นลบเมื่อละลายน้ำและทำให้เกิดกลุ่มเอไมด์หรือเกิดจากการรวมกลุ่มของแอนไอออนโมโนเมอร์จนเป็นพอลิอะครีลาไมด์

3. นอนไอออนิกพอลิเมอร์ (Nonionic Polymer) ไม่ละลายน้ำแต่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมอนุภาคของตะกอนให้เกิดการรวมกลุ่มกันได้ดี ในทางปฏิบัติอนไอออนิกพอลิเมอร์อาจจะเกิดจากการรวมกันของสารอินทรีย์

2.3.2 ฟล็อกคูเลชัน (Flocculation) (พัชรินทร์, 2551)

การทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่มากระทบกันหรือสัมผัสกันให้มากที่สุด จะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคคอลลอยด์ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว กระบวนการเกิดฟล็อกคูเลชัน มี 2 ลักษณะ

1. เพอริเคนติกฟล็อกคูเลชัน (Perikinetic Flocculation) เป็นการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นระเบียบตามธรรมชาติ หรือการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Motion) เกิดจากอนุภาคของคอลลอยด์ถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ การสัมผัสจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของอนุภาคในน้ำ

2. ออร์โธเคนติกฟล็อกคูเลชัน (Orthokinetic Flocculation) เป็นการทำให้เกิดความเร็วต่างระดับของอนุภาค เช่น การกวนน้ำ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ต่างกันและมีโอกาสปะทะกันและจับเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ขึ้น ปัจจัยในการเกิดฟล็อกคูเลชันขึ้นอยู่กับค่ากำลังงานในการกวน ความหนืดของน้ำ ปริมาตรของถังกวน เวลาการกวนและชนิดของคอลลอยด์

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างและรวมตะกอน

1. ค่าพีเอช

ค่าพีเอช ขึ้นอยู่กับสภาพน้ำแต่ละชนิด จึงต้องมีการทดสอบด้วยค่าของแข็งแขวนลอย
ไม่ว่ากรณีข้างต้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ทั้งหมด

2. เกลือแร่ต่าง ๆ

การมีอนุโมลซัลเฟต และฟอสเฟต จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการจับตัวเป็นฟล็อกเปลี่ยนแปลงไป ผลของไอออนชนิดต่าง ๆ ต่อการจับตัวเป็นฟล็อกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

- เปลี่ยนแปลงช่วงพีเอชที่ดีที่สุดในการเกิดฟล็อก
- เปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการเกิดฟล็อก
- ปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนจะเปลี่ยนไป
- ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหลือในน้ำเปลี่ยนแปลงไป

พวกอนุโมลประจุลบ เช่น ซัลเฟต และ ฟอสเฟต สามารถเปลี่ยนแปลงช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนให้กว้างขึ้นได้ เช่น ถ้าใช้สารส้ม และมีอนุโมลซัลเฟต 125 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงที่จับตัวตกตะกอนจะเป็นพีเอช 5.0-7.8 เพราะอนุโมลเหล่านี้จะไปทำหน้าที่แทนอนุโมลไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากสารส้ม

3. ความขุ่น

ความขุ่นในน้ำเกิดจากเศษดินและแร่ธาตุต่าง ๆ ขนาด 0.002 ถึง 0.005 ลูกบาศก์เซนติเมตร อนุภาคเหล่านี้จะตกตะกอนได้เองถ้ามีเวลามากพอ การใส่สารสร้างตะกอนช่วยทำให้เกิดฟล็อกได้ง่ายและรวดเร็ว น้ำที่มีความขุ่นมาก โอกาสที่คอลลอยด์จะสัมผัสกันมีมากจึงใช้สารสร้างตะกอนในปริมาณที่น้อยกว่าที่มีความขุ่นน้อย

4. อุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิลดลงความหนืดของน้ำจะเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการตกตะกอนของฟล็อกย่อยช้าลงเพราะแรงเสียดทาน อันเนื่องมาจากความหนืดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ถ้าความเป็นกรดต่างก็เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิลดลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆย่อมลดลง

5. การกวน

เพื่อให้เกิดการปั่นป่วนขึ้นในน้ำในตอนแรกจะเป็นการกวนเร็ว ในขณะที่มีการเติมสารเคมีช่วยตกตะกอน เพื่อให้สารเคมีกระจายตัวในน้ำอย่างทั่วถึงและช่วยเพิ่มอัตราการชนกันระหว่างอนุภาคความขุ่นกับสารเคมีให้มากขึ้น โอกาสที่จะรวมตัวเป็นฟล็อกก็จะเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่จะใช้ในการกวนช้าประมาณ 30-60 นาที

6. อัตราการเกิดฟล็อก

ในระยะแรกของการเกิดฟล็อก จะมีอนุภาคมาชนกันถี่มากเท่าใด อัตราการเกิดฟล็อกก็จะมีมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มจำนวนฟล็อกแล้วยังเพิ่มน้ำหนักและขนาดฟล็อกอีกด้วย ทำให้จมตัวได้ง่ายขึ้น ปัญหานี้แก้ไขได้โดยนำตะกอนที่ตกแล้วส่วนหนึ่งหมุนเวียนกลับมาใช้เพื่อเพิ่ม โอกาสที่อนุภาคและฟล็อกจะชนกันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งถึงตะกอนแบบ โซลิดซ์คอนแทคที่ใช้หลักการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ การใช้งาน เพื่อเสริมความรู้เท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โอโซน (Ozone)

2.4.1 สมบัติของโอโซน (สุรพล, 2543)

โอโซน (Ozone) มีสูตรโมเลกุล คือ O_3 และมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 48 กรัมต่อโมล จัดเป็นก๊าซเสถียรที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ มีกลิ่นฉุนคล้ายกลิ่นคาวปลา โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่มีสี แต่ถ้ามีความเข้มข้นที่สูงจะมีสีน้ำเงิน โอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงตัวหนึ่ง มีศักย์ออกซิเดชัน 2.07 โวลต์ ซึ่งสูงกว่าคลอรีน 1.52 เท่า โดยโอโซนมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีทั้งในน้ำ สารละลายและในอากาศ มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนจากสารอื่นเพิ่มเข้ามาได้อีก ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยโอโซนทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ สมบัติทางกายภาพของโอโซน ดังแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพของโอโซน

จุดเดือด (ที่ความดัน 1 บรรยากาศ)	-111.9 °C
จุดหลอมเหลว (ที่ความดัน 1 บรรยากาศ)	-192.7 °C
อุณหภูมิวิกฤติ	-12.1°C
ปริมาตรวิกฤติ	0.147 L/mol
ความดันวิกฤติ	54.6 atm
ความหนาแน่น (ก๊าซที่ 0 °C)	2.144 g/L
ความหนาแน่น (ของเหลวที่ -183°C)	1.57 g/cm ³
ความตึงผิว (ที่ -183°C)	38.4 Dyne/cm
ความหนืด (ของเหลวที่ -183°C)	1.55 centipoint
เอนทาลปีของการระเหย (-122°C)	75.6 Cal/g
ความสามารถดูดกลืนรังสียูวีได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น	254 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ที่มา : พรวิยา และคณะ (2551)

โอโซนมีประสิทธิภาพสูงในการทำลายกลิ่น สีและรสในน้ำ และสามารถละลายในน้ำได้ประมาณ 20 เท่าของการละลายในน้ำของออกซิเจนแต่จะไม่เสถียรในน้ำ โอโซนมีความเสถียรในอากาศมากกว่าในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอากาศที่เย็นและแห้ง (Weber and Weber Jr., 1972) ความสามารถในการละลายน้ำของโอโซนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันของโอโซนในสถานะก๊าซ ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ความสามารถในการละลายน้ำของโอโซนที่อุณหภูมิต่างๆ

Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Bunsen coefficient (B)	Henry's Law Constant ($K_H \times 10^{-4}$)
0	0.490	3.95
5	0.440	3.55
10	0.375	3.00
20	0.285	2.29
30	0.200	1.61
40	0.145	1.17
50	0.105	0.85

ที่มา : Waber and Waber Jr. (1972)

2.4.2 การผลิตโอโซน

โอโซนเกิดตามธรรมชาติได้ 2 แบบ คือ

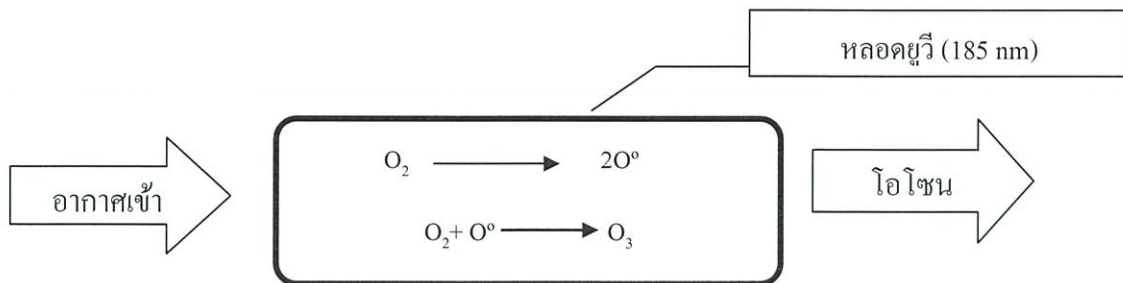
1. ปปรากฏการณ์จากแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 2400 อังสตรอม ทำให้ออกซิเจนที่ได้รับรังสีในช่วงดังกล่าวแตกตัวออกเป็นอะตอมของออกซิเจน (O°) และไปรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนที่อยู่ใกล้ๆ เกิดเป็นก๊าซโอโซน

2. โครนาดีสชาร์จ (Corona Discharge) เกิดขึ้นในเวลาที่มีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า ขณะฝนตก ปปรากฏการณ์ดังกล่าวมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สูงมาก ทำให้ก๊าซออกซิเจนแตกตัวเป็นอะตอมออกซิเจน และไปรวมตัวกับแก๊สออกซิเจนที่อยู่ใกล้ๆ เกิดเป็นก๊าซโอโซน

กระบวนการผลิตโอโซนในอุตสาหกรรมมี 3 แบบ คือ

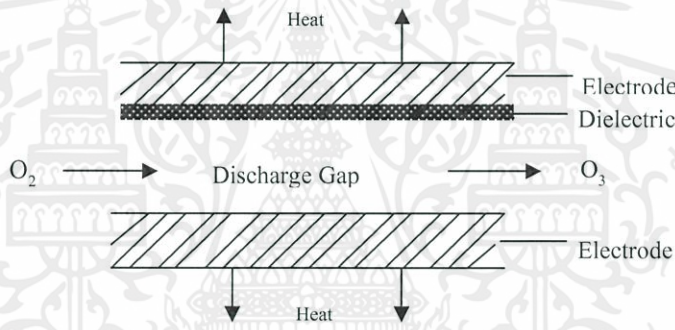
1. วิธีอัลตราไวโอเล็ต (UV Method) เป็นการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร ลงบนก๊าซออกซิเจน โดยใช้หลอดยูวีขนาด 40 วัตต์ ซึ่งสามารถผลิตโอโซนได้ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแสดงดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การผลิตโอโซนด้วยวิธีอัลตราไวโอเล็ต

2. วิธีโคโรนาดิสชาร์จ (Corona Discharge) วิธีนี้ทำได้โดยผ่านอากาศแห้งหรือออกซิเจนบริสุทธิ์ เข้าไปในช่องแคบระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่มีความต่างศักย์สูงประมาณ 15,000-22,000 โวลต์ ซึ่งโมเลกุลของออกซิเจน บางส่วนจะแตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน โดยการวิ่งชนของอิเล็กตรอน จากนั้นอะตอมของออกซิเจน จะรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจน กลายเป็นโอโซน แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การผลิตโอโซนด้วยวิธีโคโรนาดิสชาร์จ

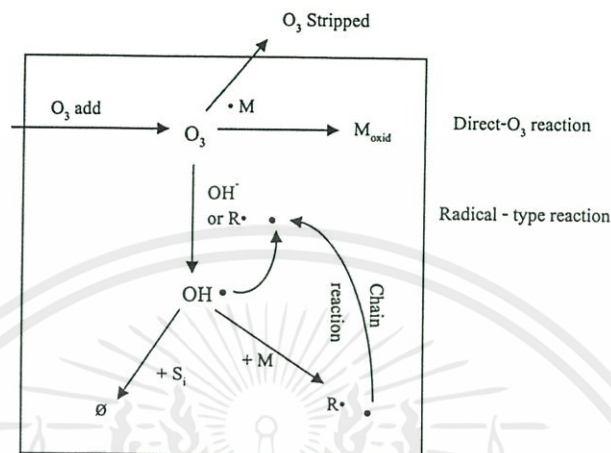
3. วิธีโคลด์พลาสมา (Cold Plasma Method) เป็นการฉายแสงพลาสมาลงบนออกซิเจน ใช้แท่งแก้ว 2 แท่งที่บรรจุก๊าซเฉื่อยแล้วผ่านกระแสไฟฟ้าแรงสูงลงบนแท่งแก้วทั้งสองเพื่อทำให้เกิดสนามพลาสมา วิธีนี้สามารถผลิตโอโซนได้ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

วิธีการผลิตก๊าซโอโซนในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องผลิตโอโซนที่อาศัยหลักการของวิธีโคโรนาดิสชาร์จ โดยใช้อากาศอัดเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซโอโซน

2.4.3 ปฏิกริยาของโอโซนเนชัน

โอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ (Toxic Organic Compound) ส่วนมากได้ดี และผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาส่วนมากจะมีพิษน้อยลง และถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ ค่าพลังงานอิสระ (Free Energy) ของโอโซนมีค่าถึง -400 kJ/mol ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าปฏิกิริยาออกซิไดซ์โดยโอโซนจะดำเนินไปได้อย่างสมบูรณ์ ข้อเสีย คือ โอโซนสลายตัวให้ออกซิเจน (O_2) ได้เร็วมากในบรรยากาศ จึงต้องผลิตที่แหล่งบำบัด (On-Site) โดยตรง (ชนิต และคณะ, 2553)

ปฏิกิริยาของโอโซนที่กระทำต่อสารอินทรีย์มี 2 แบบ คือ โมเลกุลของโอโซนเข้าทำปฏิกิริยากับ โมเลกุลของสารอินทรีย์โดยตรง (Direct) และโดยทางอ้อม (Indirect) ซึ่งโอโซนแตกตัวเป็นแรดิคัลที่ว่องไวต่อการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



โดยที่ R = free radicals which catalyze the ozone decomposition
M = Solute
M_{oxid} = Oxidized solute
S_i = free radical Scavenger i
∅ = products which do not catalyze the ozone decomposition

รูปที่ 2.8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการ โอโซนชั้นทั้งทางตรงและทางอ้อม
(Gottschalk *et al.*, 2000)

1. การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรง (Direct Oxidation)

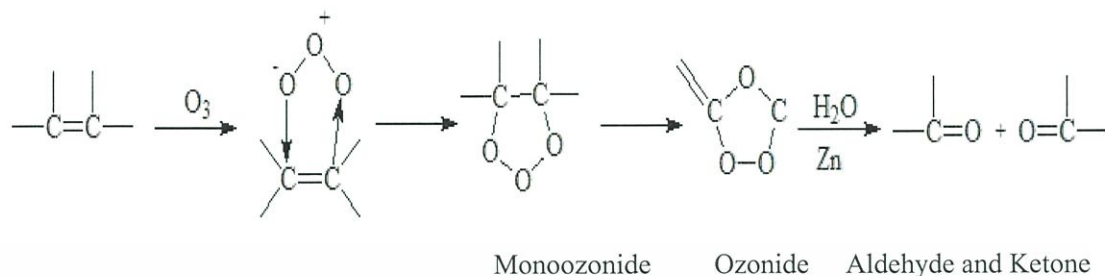
โมเลกุลของโอโซน (O₃) ไม่เป็นเส้นตรง มีพันธะระหว่างออกซิเจน 2 พันธะทำมุมระหว่างพันธะ 116° 45' ความยาวพันธะทั้งสองเท่ากัน คือ 1.278 Å π อิเล็กตรอนเกิดเรโซแนนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การเกิดเรโซแนนซ์ของโมเลกุลของโอโซน

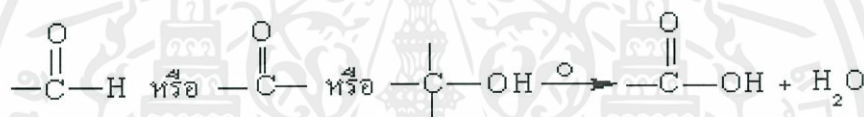
π อิเล็กตรอนจะถูกใช้ร่วมกันระหว่างออกซิเจนทั้ง 3 อะตอมจากโครงสร้างนี้จะเห็นได้ว่า โอโซนมีอิเล็กตรอนมากเกินพอ และเป็นโมเลกุลมีขั้วจึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงแบบ Dipole-Mediate Attack หรือแบบ Electrophilic Attack

1. Dipole-Mediate Attack โอโซนจะหักขั้วลบของโมเลกุลเข้าหาพันธะคู่ของสารอินทรีย์ เกิด Intermediate เป็น โมโนโอโซนไนด์และโอโซนไนด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



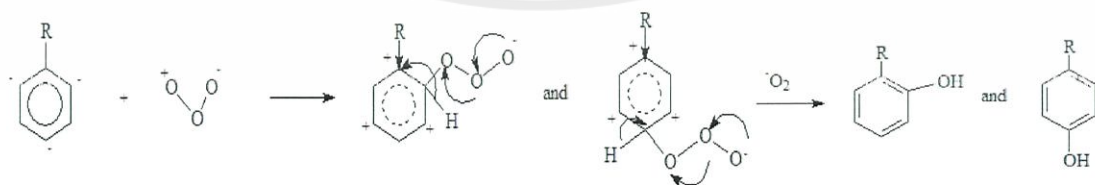
รูปที่ 2.10 การทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์แบบ Dipole-Mediate Attack

จากนั้นสลายตัวให้อัลดีไฮด์และคีโตน และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ส่วนอัลดีไฮด์หรือคีโตนที่เกิดขึ้น รวมทั้งสารพวกแอลกอฮอล์จะถูกโอโซนออกซิไดซ์ต่อได้ กรดคาร์บอกซิลิกและน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การสลายตัวของอัลดีไฮด์และคีโตนด้วยก๊าซโอโซน

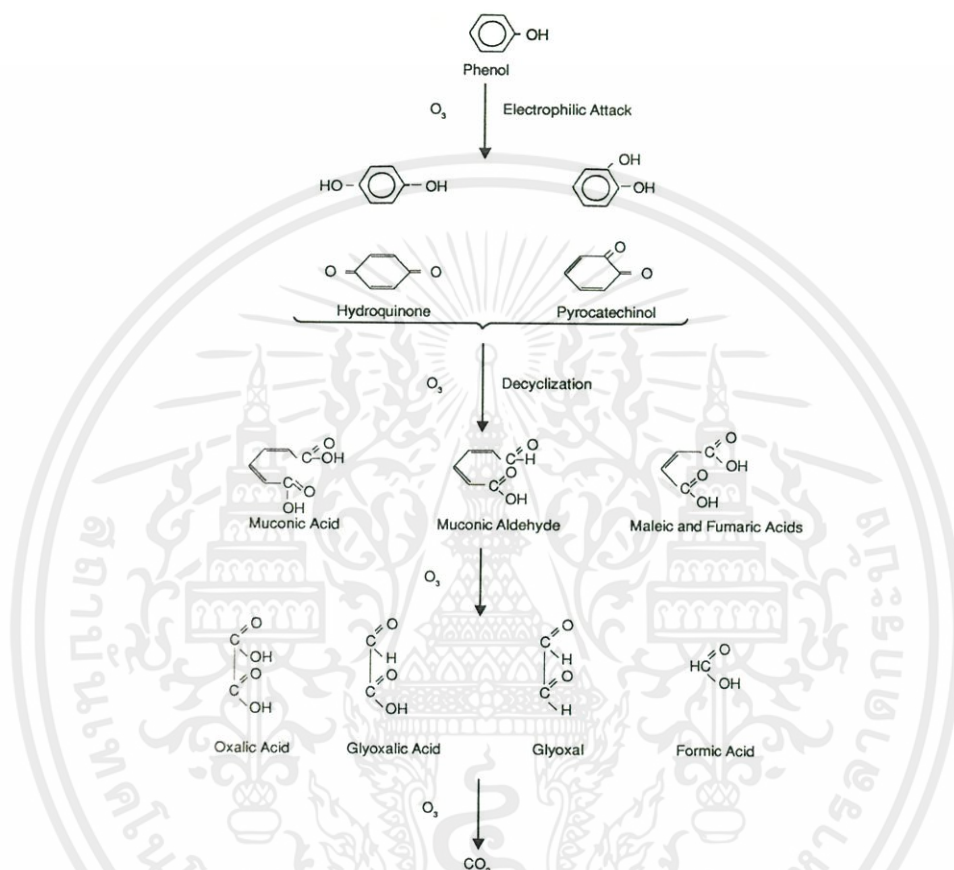
2. Electrophilic Attack โอโซนสามารถทำหน้าที่เป็นอิเล็กโตรไฟล์ (Electrophile) โดยหันด้านบวกของโมเลกุลเข้าหาบริเวณที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นของโมเลกุลสารอินทรีย์พวกอะโรมาติก ซึ่งความว่องไวของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับหมู่แทนที่ของวงเบนซีน (Benzene Ring) ว่าเป็นหมู่ที่ให้อิเล็กตรอน $-OCH_3$, $-CH_3$ และ $-NO_2$ ปฏิกิริยาจะว่องไวขึ้น ถ้าวางเบนซีนมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอน (Electron Withdrawing Group) เช่น $-COCH_3$, $-COOC_2H_5$, $-Cl$, $-SO_3H$ จะทำให้ความว่องไวของปฏิกิริยาแทนที่ Electrophile ในวงเบนซีนลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์แบบ Electrophilic Attack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำปฏิกิริยาโดยตรงจะเกิดขึ้นกับสารอินทรีย์ที่มีตำแหน่งเฉพาะเจาะจงหรือมีหมู่ฟังก์ชันที่โอโซนสามารถออกซิไดซ์ได้ ถ้าเป็นพวกไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว และ Halogen Atedalphatic Compound โมเลกุลของโอโซนไม่สามารถออกซิไดซ์สารพวกนี้ได้ ตัวอย่างการทำปฏิกิริยาของโอโซนกับฟินอลแบบ Electrophilic Attack ดังแสดงในรูป 2.13



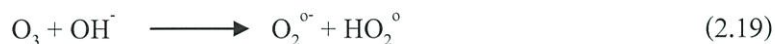
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการทำปฏิกิริยาของโอโซนกับฟินอลแบบ Electrophilic Attack
(Langlais *et al.*, 1991)

2. การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเกิดผ่านแรดิคัล (Radical Mediate Oxidation)

การเกิดปฏิกิริยาทางอ้อมเกี่ยวข้องกับแรดิคัล มีความซับซ้อน โดยขั้นแรกจะเกิดการสลายตัวของก๊าซโอโซน โดยถูกเร่งด้วยไฮดรอกไซด์ไอออนเพื่อให้เกิดเป็นตัวออกซิแดนท์ เช่น ไฮดรอกซิลแรดิคัลซึ่งจะทำปฏิกิริยาทันทีกับสารอินทรีย์กลไกการเกิดแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

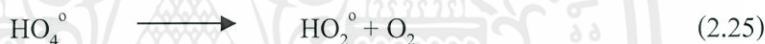
1. ขั้นตอนเริ่มต้น (Initiation Step)

ปฏิกิริยาระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออนกับก๊าซโอโซนทำให้เกิดซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนแรดิคัล (Superoxide Anion, O₂^{•-}) และไฮโดรเปอร์ออกไซด์แรดิคัล (Hydroperoxide Radical, HO₂[•]) ดังสมการที่ 2.19 ไฮโดรเปอร์ออกไซด์แรดิคัลอยู่ในสมดุลกรด-เบส ดังสมการที่ 2.19-2.20



2. ขั้นตอนลูกโซ่เรดิคัล (Radical Chain Step)

ปฏิกิริยาระหว่างโอโซนและซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนเรดิคัลทำให้เกิดโอโซนไนต์แอนไอออนเรดิคัล (Ozonide Anion Radical, $\text{O}_3^{\circ\cdot}$) ซึ่งจะสลายตัวทันทีเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล ดังสมการที่ 2.21, 2.22 และ 2.23 ไฮดรอกซิลเรดิคัลที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับโอโซน ดังสมการที่ 2.24 และ 2.25



การสลายตัวของไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl Radical, HO^\cdot) ไปเป็นออกซิเจนและไฮดรอกซิลเรดิคัล จะทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่เริ่มต้นใหม่อีกครั้ง ซึ่งสารใดก็ตามที่สามารถเปลี่ยนไฮดรอกซิลเรดิคัลไปเป็นซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนเรดิคัลหรือไฮดรอกซิลเรดิคัล โดยทำหน้าที่เป็นตัวนำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ใหม่อีกครั้ง (Chain Carrier) จะถูกเรียกว่า ตัวกระตุ้น (Promoter) โมเลกุลของสารอินทรีย์ (R) สามารถทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นได้ และบางตัวของสารอินทรีย์จะมีกลุ่มฟังก์ชันซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลเรดิคัลและทำให้เกิดเรดิคัลของสารอินทรีย์ (R^\cdot) ดังสมการที่ 2.26



ถ้ามีออกซิเจนอยู่ในระบบสามารถเกิดออร์แกนิกเปอร์ออกซีเรดิคัล (Organic Peroxy Radical, ROO^\cdot) ได้ ดังสมการที่ 2.27, 2.28 และ 2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การสลายตัวของโอโซนถูกเริ่มต้นโดยไฮดรอกซิลเรดิคัลไอออน นำไปสู่ปฏิกิริยาลูกโซ่และผลิตไฮดรอกซิลเรดิคัลที่สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วแสดงถึงไฮดรอกซิลเรดิคัลมีค่าครึ่งชีวิต (Half-Life) ที่สั้นมาก เช่น น้อยกว่า 10 ไมโครวินาที (μs) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10^{-4} โมลาร์

3. ขั้นตอนสุดท้าย (Terminal step)

สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์บางตัว สามารถทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลเรดิคัล ทำให้เกิดเรดิคัลลำดับที่สอง (Secondary Radical) ซึ่งไม่สร้างซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออนเรดิคัลหรือไฮโดรเปอร์ออกไซด์เรดิคัล จะเรียกสารเหล่านี้ว่า ตัวยับยั้ง (Inhibitor/Scavenger) ซึ่งสามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่และยับยั้งการสลายตัวของโอโซนได้ดังสมการที่ 2.30 และ 2.31



ความเป็นไปได้อื่นที่จะหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ คือ การทำปฏิกิริยากันของเรดิคัลสองตัว ดังสมการที่ 2.32



เมื่อรวมสมการทั้งหมดจะแสดงให้เห็นว่า 3 โมเลกุลของโอโซนจะให้ 2 โมเลกุลของไฮดรอกซิลเรดิคัล ดังสมการที่ 2.33



การสลายตัวของโอโซนในน้ำ โดยโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรสามารถสลายตัวเป็นออกซิเจน โดยแตกตัวให้ Radical ต่างๆ ได้แก่ Hydroxyl Radical (OH°), HO_3 , HO_4 และ Super Oxide (O_2°) ซึ่ง Radical ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะมีความว่องไวมากในการทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ (Strong Oxidant) ดังตารางที่ 2.7 แสดงความสามารถของโอโซนในการออกซิไดซ์สูงกว่าคลอรีนถึง 1.52 เท่าและสูงกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารออกซิแดนท์ต่างๆ

Compound	Oxidation Potential (Volts)	Relative Power Of Chlorine
Fluorine	3.06	2.25
Hydroxyl Radical	2.80	2.05
Atomic Oxygen	2.42	1.78
Ozone	2.07	1.52
Hydrogen Peroxide	1.77	1.30
Perhydroxyl Radical	1.70	1.25
Permanganate	1.67	1.23
Chlorine Oxide	1.50	1.10
Hypochlorous Acid	1.49	1.10
Chlorine	1.36	1.00
Bromine	1.09	0.80
Hydrogen Oxide	0.87	0.64
Iodine	0.54	0.40
Oxygen	0.40	0.29

ที่มา: Lin and Yeh (1993)

2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโอโซนเนชัน (Gottschalk *et al.*, 2000)

1. ค่าพีเอช

โอโซนสามารถบำบัดน้ำเสียที่ค่าพีเอช 2 สภาวะ คือ ที่ค่าพีเอชเป็นกรด โอโซนจะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารอินทรีย์ แต่ในพีเอชที่เป็นเบส โอโซนจะแตกตัวให้เป็นเรดิคัลซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่าพีเอชเป็นกรด

2. ค่าอัลคาไลนิตี้

น้ำเสียที่มีไอออนของ HCO_3^- และ CO_3^{2-} จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง เนื่องจากไอออนดังกล่าวสามารถดักจับ OH^\bullet ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ช้าหรือสิ้นสุดลง

3. อุณหภูมิ

โอโซนละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้โอโซนละลายน้ำได้น้อยลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง จะทำให้โอโซนสลายตัวเป็นออกซิเจนได้รวดเร็ว แต่การเกิดเรดิคัล อุณหภูมิที่สูงจะทำให้อัตราการแตกตัวของโอโซนเป็นเรดิคัลเพิ่มมากขึ้น

4. ปริมาณ โอโซน

ปริมาณของก๊าซโอโซนที่ป้อนเข้าไปในระบบ ถ้ามีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมากทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของก๊าซโอโซนก็มีมากขึ้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Li et al. (2009) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอน โดยเปรียบเทียบสารรวมตะกอนระหว่างอลูมิเนียมซัลเฟต, เพอริกคลอไรด์, พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์และพอลิเพอริกซัลเฟต พบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมของอลูมิเนียมซัลเฟต, เพอริกคลอไรด์ และพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารรวมตะกอนพอลิเพอริกซัลเฟตเท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร หากใช้พอลิเพอริกซัลเฟตเป็นสารรวมตะกอน พบว่า สามารถลดค่าปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีไอดี, ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด, ความขุ่น และความเป็นพิษได้ 70%, 93%, 97% และ 74% ตามลำดับ

Ntampou and Zouboulis (2006) จากการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนและกระบวนการโอโซนเนชัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ให้มีปริมาณน้อยกว่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้ จากการศึกษาตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยที่มีปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีเท่ากับ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราส่วน BOD₅/COD 0.170 โดยเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการ โอโซนเนชัน, กระบวนการสร้างและรวมตะกอน และกระบวนการโอโซนเนชันร่วมกับการสร้างและรวมตะกอน พบว่า การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการโอโซนเนชันอย่างเดียว มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีและสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีต่ำกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ต้องใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยานานและใช้อัตราการผลิตโอโซนสูง เมื่อทำการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอน โดยใช้สารรวมตะกอนพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์มากกว่า 72% อย่างไรก็ตามค่าซีไอดียังสูงกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน โดยพบว่า ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีลดลงต่ำกว่า 180 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bila es al. (2005) การศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากเมืองรีโอเดจาเนโร ประเทศบราซิล ด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับกระบวนการ โอโซนเนชัน ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอน โดยใช้สารรวมตะกอนคือ อลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) พบว่า สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีและดีโอซีได้ 40% และ 25% ตามลำดับ เมื่อศึกษากระบวนการ โอโซนเนชัน โดยมีปริมาณ โอโซนที่ใช้ต่อลิตรของน้ำชะมูลฝอยเท่ากับ 3 กรัมต่อลิตร พบว่า สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีและดีโอซีได้ 73% และ 63% ตามลำดับ และจากการศึกษากระบวนการ โอโซนเนชัน พบว่า ทำให้มลสารต่างๆ ที่ย่อยสลายได้ยากสามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น โดยอัตราส่วนระหว่าง BOD_5/COD เพิ่มขึ้นจาก 0.050 เป็น 0.300

นวพรรษ (2545) จากการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยขั้นต้นด้วยกระบวนการ โอโซนเนชัน น้ำชะมูลฝอยได้มาจากสถานกำจัดขยะ ตำบลคลองนา อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ซึ่งน้ำชะมูลฝอยประกอบไปด้วยสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพยาก ได้แก่ ซี สารอินทรีย์และสารอื่นๆ โดยทำการทดลองด้วยกระบวนการ โอโซนเนชันแบบครั้ง (Batch Mode) โอโซนที่ผลิตได้เฉลี่ย 215 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง บั๊จจัยที่ทำการศึกษาคือ ภาวะบรรทุกน้ำเสีย (100%, 50% และ 25%) เวลาสัมผัส (0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3) และค่าพีเอช (4, 7 และ 10) จากการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของการทดลองบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่ภาวะบรรทุก 100 % พีเอช 7 เวลาสัมผัส 2.5 ชั่วโมง สามารถลดค่า ซีโอดี และดี โอซี ได้ 27.27% และ 83.68% ตามลำดับ ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียทั้งก่อนการบำบัดและหลังการบำบัด และเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยค่า BOD_5 เพิ่มขึ้น 8.64 % สัดส่วน BOD_5/COD เพิ่มขึ้นจาก 0.047 เป็น 0.084 และมีค่า k_d เพิ่มขึ้นจาก 0.165 เป็น 0.275 เหมาะที่จะนำไปบำบัดทางชีวภาพได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องผลิตก๊าซโอโซน (Ozone Generator) บริษัท พี.เอส.ซี.เทรคดิงแอนด์ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด ประเทศไทย
2. ถังปฏิกิริยา (Reactor) และหัวกระจายก๊าซ (Gas Diffuser)
3. ถังบรรจุอากาศอัด (Compressed Air) มีก๊าซออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ 21%
4. เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow Meter) รุ่น Solida บริษัท เจ ชัมมิต จำกัด ประเทศไทย
5. เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH Meter) รุ่น 827 pH Lab บริษัท Metrohm Swiss Made ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
6. ตู้อบ (Oven) บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ (Total Organic Carbon analyzer) รุ่น TOC-VCPH บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
8. เครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น T60 บริษัท TG Instrument ประเทศอังกฤษ
9. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter) บริษัท Metrohm swiss mode รุ่น 827 pH Lab ประเทศเยอรมนี
10. เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลาย (DO Meter) ยี่ห้อ YSI รุ่น 52 ประเทศสหรัฐอเมริกา
11. ตู้บ่ม (Incubator) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ บริษัท Velp Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
12. เครื่องปั่นกวน
13. หลอดย่อยสลาย (Digestion Vessels)
14. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius ประเทศสหรัฐอเมริกา
15. ขวดบีโอดีพร้อมจุก ขนาดมาตรฐาน 300 มิลลิลิตร
16. เครื่องแก้วต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สารเคมี

1. โปแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
2. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Mallinckrodt

ประเทศสหรัฐอเมริกา

4. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Mallinckrodt ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
6. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4) บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
7. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
8. พอลิอิมิเนียมคลอไรด์ (PACI) บริษัท พี.เอส.ซี.เทรคคิงแอนด์ดีเวล

ลือปเมนต์ จำกัด ประเทศไทย

9. แอนไอออนพอลิเมอร์ (Anion polymer) บริษัท พี.เอส.ซี.เทรคคิงแอนด์ดีเวล

ลือปเมนต์ จำกัด ประเทศไทย

10. โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem

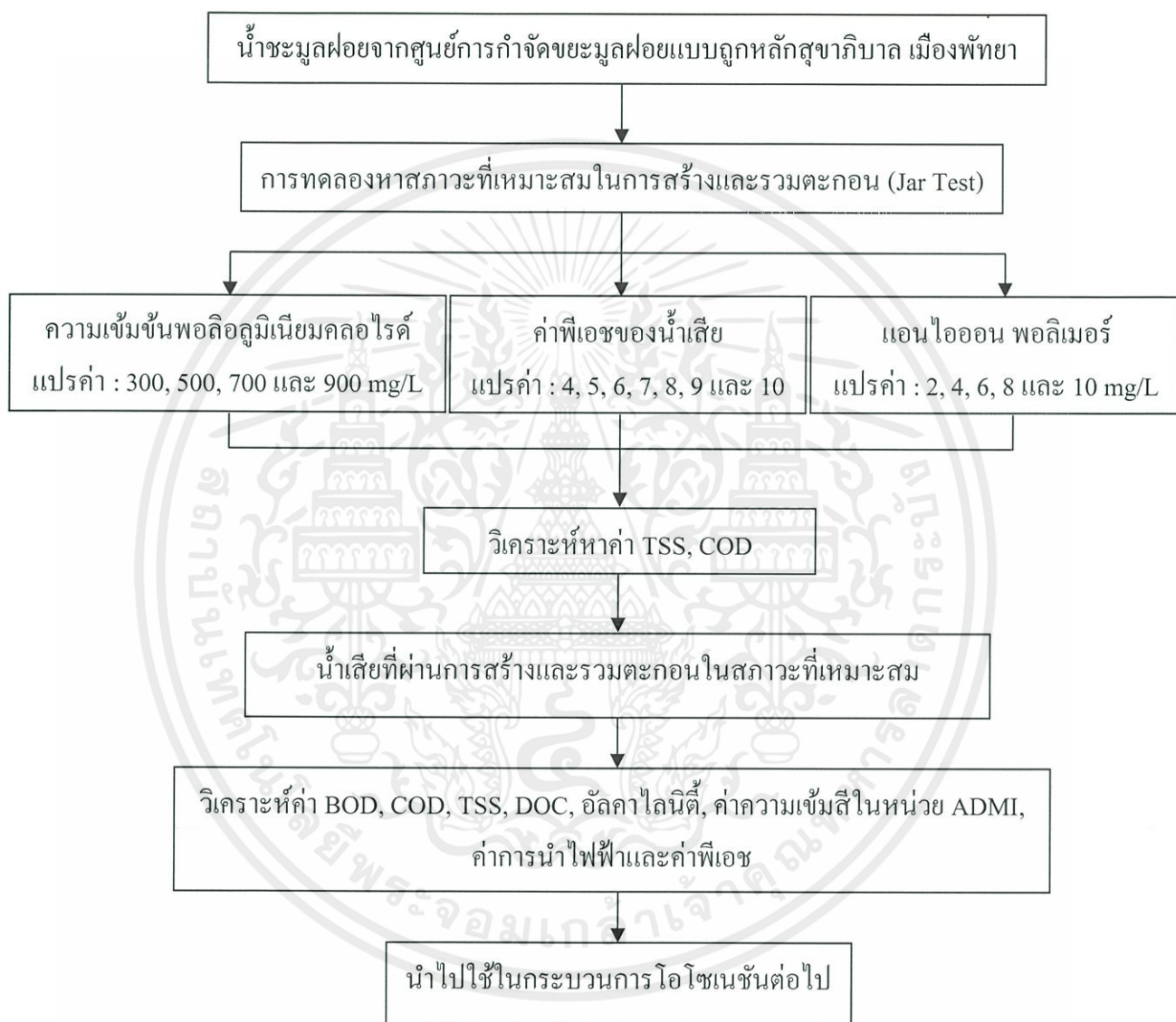
ประเทศออสเตรเลีย

11. น้ำแข็ง
12. น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

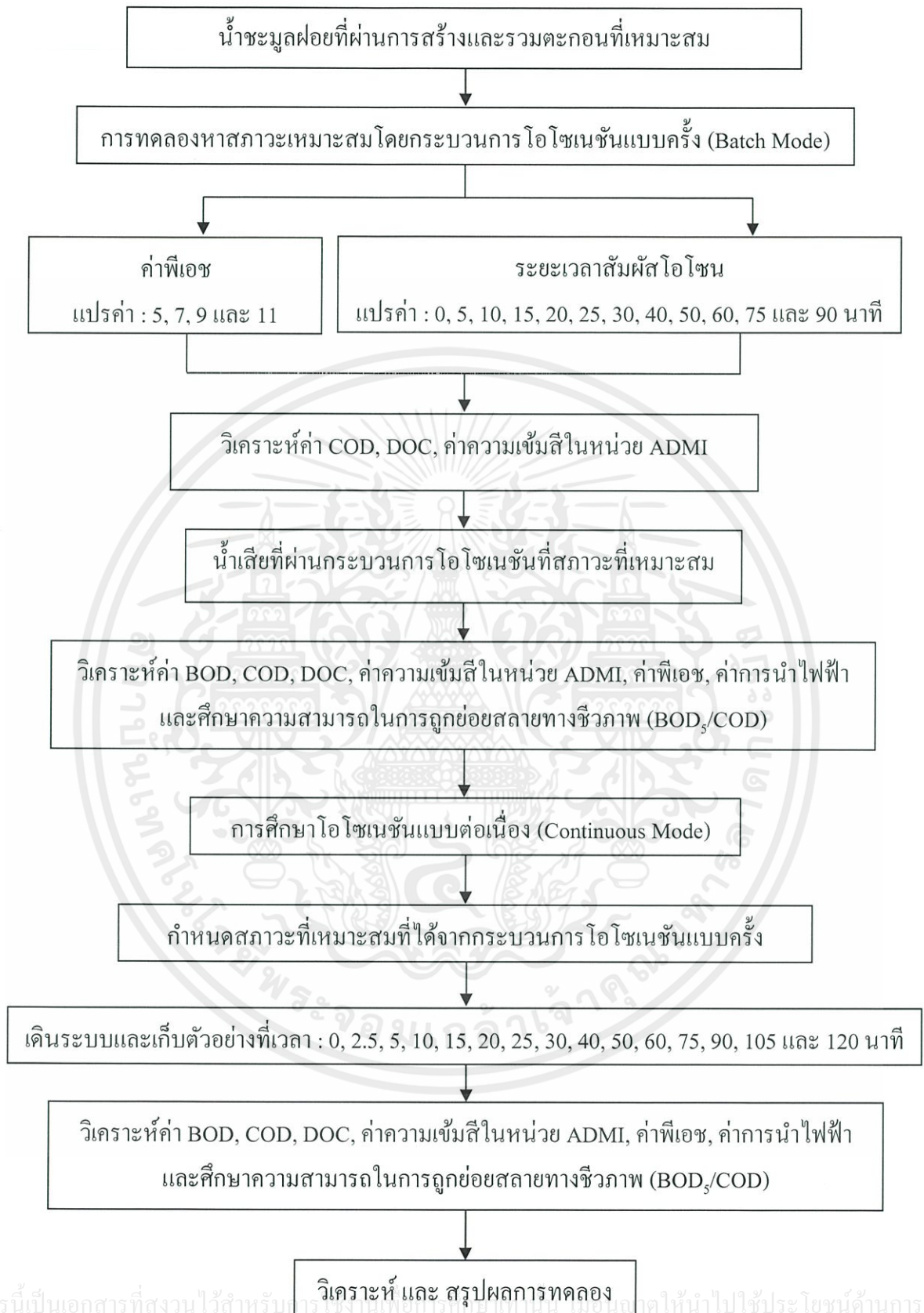
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอน และการศึกษากระบวนการโอโซนชั้นที่มีผลต่อน้ำชะมูลฝอยจากศูนย์การกำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกลักสุขาภิบาล เมืองพัทยา มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ การสร้างและรวมตะกอน มอนูญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยการศึกษากระบวนการโอโซนขั้น

3.2.1 ตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำชะมูลฝอยที่ยังไม่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ ได้จากศูนย์การกำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกลักสุขาภิบาล เมืองพัทยา

3.2.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม ในการสร้างและรวมตะกอน

3.2.2.1 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารรวมตะกอน

1. จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลองหาความเหมาะสมในรวมตะกอน (Jar Test)
2. เตรียมสารละลายสต็อกพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 10000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ จำนวน 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร
3. เติมน้ำชะมูลฝอยลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ปริมาตร 455 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ วางในเครื่องจาร์เทสต์ ปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ประมาณ 2 นาที
4. ปิเปิดสารละลายสต็อกพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์และน้ำกลั่น ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารที่เตรียมลงในบีกเกอร์พร้อมๆกัน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลอง

หลอด ที่	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (ml)	ปริมาตรน้ำกลั่น (ml)	ปริมาตรของ พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ (ml)	ความเข้มข้นของ พอลิอลูมิเนียมคลอไรด์ (mg/L)
1	455	45	0	0
2	455	30	15	300
3	455	20	25	500
4	455	10	35	700
5	455	0	45	900

* ความเข้มข้นของสารละลายสต็อกพอลิอลูมิเนียมคลอไรด์เท่ากับ 10000 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. ปั่นกวนเร็วที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นทำการปั่นกวนช้าที่ความเร็วรอบ 45 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที
6. ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
7. นำน้ำส่วนใสไปวัดค่า TSS และ COD
8. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสม

1. จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลองหาความเหมาะสมในการรวมตะกอน (Jar Test)
2. เทน้ำเสีกลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร 8 ใบๆ ละ 455 มิลลิลิตร
3. ปรับค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยใน 8 บีกเกอร์ ดังนี้
 - บีกเกอร์ที่ 1 ไม่ต้องปรับค่าพีเอช
 - บีกเกอร์ที่ 2 ปรับค่าพีเอชให้เป็น 4
 - บีกเกอร์ที่ 3 ปรับค่าพีเอชให้เป็น 5
 - บีกเกอร์ที่ 4 ปรับค่าพีเอชให้เป็น 6
 - บีกเกอร์ที่ 5 ปรับค่าพีเอชให้เป็น 7
 - บีกเกอร์ที่ 6 ปรับค่าพีเอชให้เป็น 8
 - บีกเกอร์ที่ 7 ปรับค่าพีเอชให้เป็น 9
 - บีกเกอร์ที่ 8 ปรับค่าพีเอชให้เป็น 10
4. วางในเครื่องจาร์เทสต์ บันทวนเวลาที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที
5. เปิดสารละลายพอลิอูมิเนียมคลอไรด์ใส่ลงในบีกเกอร์ตามปริมาณที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดลองที่ 3.2.2.1 จากนั้นทำการปั่นกวนเร็วที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที และปั่นกวนช้าที่ความเร็วรอบ 45 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที
6. ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
7. นำน้ำส่วนใสไปวัดค่า TSS และ COD
8. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

3.2.2.3 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารช่วยรวมตะกอน

1. จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลองหาความเหมาะสมในการรวมตะกอน (Jar Test)
2. เตรียมสารช่วยรวมตะกอน คือ แอนไอออน พอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้แอนไอออน พอลิเมอร์จำนวน 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
3. ปรับค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยที่เหมาะสมจากการทดลอง 3.2.2.2
4. เติมน้ำชะมูลฝอยลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ปริมาตร 470 มิลลิลิตร จำนวน 8 ใบ วางในเครื่องจาร์เทสต์ บันทวนด้วยความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ประมาณ 2 นาที
5. เติมสารรวมตะกอนพอลิอูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมจากการทดลอง 3.2.2.1 ลงในบีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 6. บันทวนเวลาที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเติมแอนไอออนการค่า
ไม่ว่ากรณีพอลิเมอร์ ดังตารางที่ 3.2 ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ปริมาณแอนไอออน โพลีเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง

หลอด ที่	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (ml)	ปริมาตรน้ำกลั่น (ml)	ปริมาตรแอนไอออน- โพลีเมอร์ (ml)	ความเข้มข้นของ แอนไอออน โพลีเมอร์ (mg/L)
1	470	5	0	0
2	470	4	1	2
3	470	3	2	3
4	470	2	3	6
5	470	1	4	8
6	470	0	5	10

* ความเข้มข้นของสารละลายสต็อกแอนไอออน โพลีเมอร์ เท่ากับ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

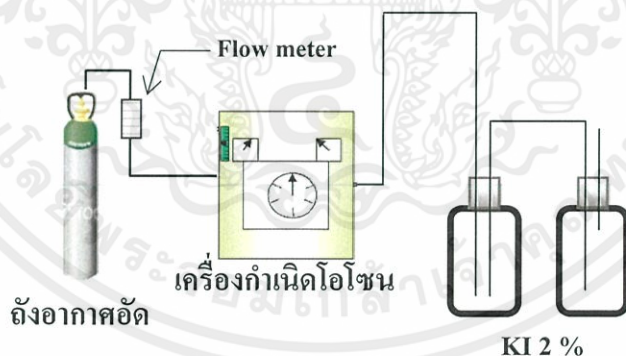
7. ปั่นกวนเร็วที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นทำการปั่นกวนช้าที่ความเร็วรอบ 45 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที
8. ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
9. นำน้ำส่วนใสไปวัดค่า TSS และ COD
10. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การศึกษาการผลิตก๊าซโอโซน

การวัดการผลิตก๊าซโอโซนสามารถวัดจากเครื่องผลิตก๊าซโอโซน โดยใช้อากาศอัดเป็นวัตถุดิบ สามารถควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจน โดยการปรับเครื่องวัดอัตราการไหลอากาศอัดจากถัง (Air flow meter) ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณการผลิตก๊าซโอโซนในระบบแตกต่างกัน หลังจากเกิดก๊าซโอโซนแล้ว สามารถวัดปริมาณก๊าซโอโซนที่เกิดในระบบได้และหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศอัดและปริมาณการผลิตก๊าซโอโซนได้ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. จัดเตรียมระบบการทดลองดังรูปที่ 3.3
2. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (KI 2%) ลงในขวดคักจับก๊าซโอโซน 2 ขวด ขวดละ 1000 มิลลิลิตร
3. ปรับเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศอัดที่ระดับ 5 ลิตรต่อนาที ผ่านอากาศอัดที่มีก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เครื่องผลิตก๊าซโอโซน
4. เปิดเครื่องผลิตก๊าซโอโซน เก็บตัวอย่างสารละลาย KI 2% ที่เวลา 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 นาที เพื่อทำการวัดปริมาณก๊าซโอโซนที่ถูกจับอยู่ใน KI 2% (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก-1)
5. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตก๊าซโอโซนของเครื่องผลิตก๊าซโอโซน



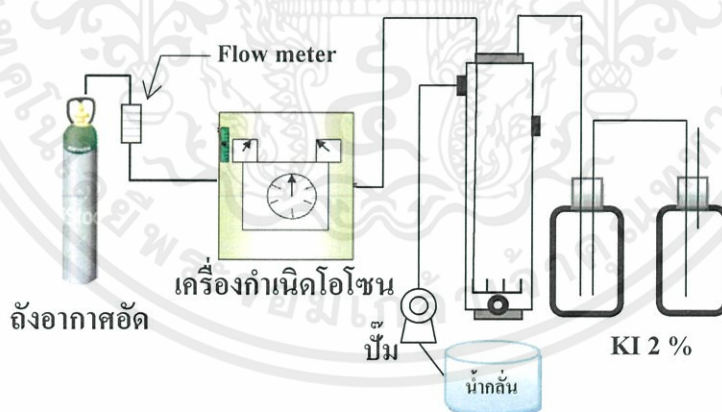
รูปที่ 3.3 รูปภาพแสดงการดำเนินงานการหาปริมาณก๊าซโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ศึกษาอัตราการละลายน้ำของก๊าซโอโซน

การวัดอัตราการละลายน้ำของก๊าซโอโซนทำได้โดยผ่านก๊าซโอโซนลงในน้ำ แล้วดักจับก๊าซโอโซนที่ไม่ละลายน้ำ ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ที่มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (KI 2%) ที่มีบัพเฟอร์ฟอสเฟต จากนั้นนำปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้หักลบออกจากปริมาณก๊าซโอโซนที่ไม่ละลายในน้ำ ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. จัดเตรียมระบบการทดลองดังรูปที่ 3.4
2. ใส่สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ที่มีความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (KI 2%) ลงในขวดสำหรับดักจับก๊าซโอโซนออกจากถังปฏิกรณ์ ขวดละ 1000 มิลลิลิตร จำนวน 2 ขวด ใส่น้ำกลั่นในถังปฏิกรณ์ 2 ลิตรผ่านปั๊ม
3. ปรับเครื่องวัดอัตราการไหลที่ระดับ 5 ลิตรต่อนาที ผ่านอากาศอัดที่มีก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เครื่องผลิตก๊าซโอโซน
4. เปิดเครื่องผลิตก๊าซโอโซน เก็บตัวอย่างสารละลาย KI 2% ที่เวลา 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 นาที เพื่อทำการวัดปริมาณก๊าซโอโซนที่ถูกจับอยู่ใน KI 2% (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก-1)
5. กำหนดหาค่าอัตราการละลายน้ำของก๊าซโอโซนหรือปริมาณก๊าซโอโซนที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา



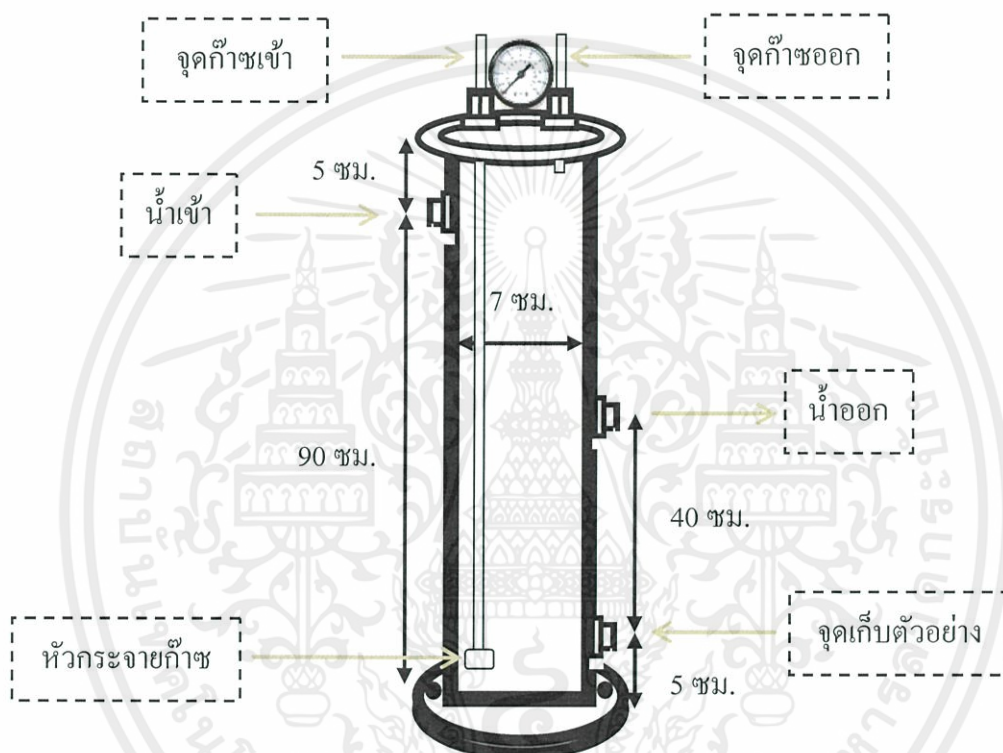
รูปที่ 3.4 รูปภาพแสดงการดำเนินการหาอัตราการละลายน้ำของก๊าซโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การติดตั้งและเดินระบบไอโซเนชัน

3.2.5.1 ถังปฏิริยา

ถังปฏิริยาทำจากอะคริลิก (หุ้มด้วยฟอยด์เพื่อป้องกันแสงยูวีทำปฏิริยากับก๊าซไอโซนภายในถัง) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร สูง 95 เซนติเมตร ปริมาตรของถัง 3,654 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาตรน้ำเสีย (Effective Volume) 2.5 ลิตร โดยมีจุดเก็บตัวอย่างอยู่สูงจากก้นถัง 5 เซนติเมตร แสดงดังในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 รายละเอียดแบบจำลองถังปฏิริยา

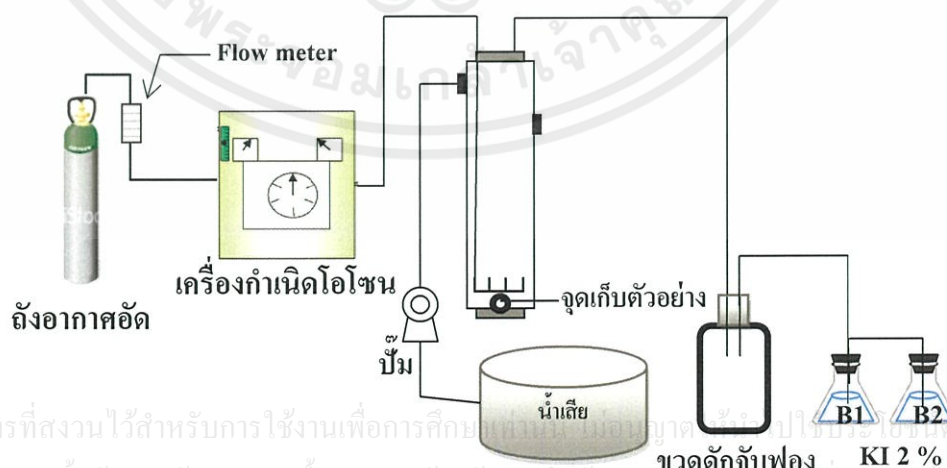
การติดตั้งถังปฏิริยาโดยให้ก๊าซไอโซนเข้าทางด้านบนของระบบ โดยผ่านหัวกระจายก๊าซ (Gas Diffuser) ซึ่งอยู่ทางด้านล่างของถัง และใช้สายยางซิลิโคนที่ทนต่อการทำปฏิริยากับก๊าซไอโซน โดยมีเกจวัดความดันติดตั้งบริเวณด้านบนเพื่อวัดความดันภายในถังปฏิริยา และจุดระบายก๊าซไอโซนเพื่อป้องกันความดันที่เกิดขึ้นภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5.2 การเดินระบบโอโซนเนชัน

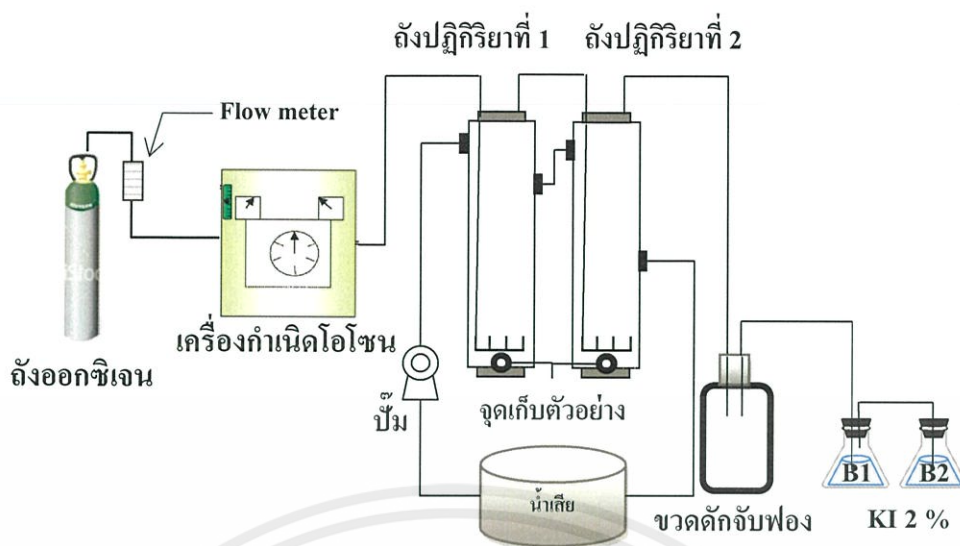
ในการทดลองได้ทำการเดินระบบแบบครั้ง (Batch Mode) แสดงในรูปที่ 3.6 เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการ โอโซนเนชัน เริ่มจากการนำน้ำตัวอย่างเข้าถังปฏิกิริยาผ่านปั๊ม จากนั้นเดินระบบโอโซนเนชัน โดยนำอากาศอัดที่มีก๊าซออกซิเจนผ่านเข้าสู่เครื่องกำเนิดโอโซนซึ่งควบคุมปริมาณอากาศอัดที่เข้าสู่ระบบด้วยเครื่องวัดอัตราการไหล (Flow Meter) รวมถึงควบคุมปริมาณการใช้ก๊าซโอโซนต่อการทดลองในแต่ละครั้ง ก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นจะถูกส่งต่อเข้าสู่ถังปฏิกิริยาผ่านหัวกระจายก๊าซ (Gas Diffuser) ที่อยู่บริเวณด้านล่างถัง ก๊าซโอโซนมีลักษณะเป็นฟองอากาศจะไหลขึ้นไปสู่ด้านบน และสัมผัสกับน้ำเสียภายใต้แรงดันภายในถังซึ่งเป็นระบบปิด ทำให้เกิดการรวมผสมกันภายใน โดยสามารถเก็บตัวอย่างได้ที่จุดเก็บตัวอย่างด้านล่างของระบบตามระยะเวลาที่ต้องการ และปริมาณก๊าซโอโซนที่ออกจากระบบจะมีการต่อเข้ากับขวดดักจับฟอง (Tab) จากนั้นจึงจะถูกดักจับด้วยสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (KI 2%) ที่ควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 7 ด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เพื่อป้องกันอันตรายจากก๊าซโอโซน และเพื่อหาปริมาณโอโซนที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำเสีย

ในการทดลองทำการเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Mode) แสดงในรูปที่ 3.7 ทำการติดตั้งระบบ โอโซนเนชันเช่นเดียวกันกับการเดินระบบแบบครั้ง แต่น้ำตัวอย่างที่เข้าระบบจะเข้าสู่ถังปฏิกิริยาทั้ง 2 ถัง ซึ่งก๊าซโอโซนจะเข้าสู่ถังปฏิกิริยาที่ 1 ทำปฏิกิริยากับน้ำตัวอย่าง และก๊าซโอโซนที่เหลือจะเข้าสู่ถังปฏิกิริยาที่ 2 น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการ โอโซนเนชันจากถังปฏิกิริยาที่ 1 จะไหลเข้าสู่ถังปฏิกิริยาที่ 2 เพื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซนที่เหลือ ทั้งนี้ได้คำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบ เพื่อควบคุมระยะเวลาสัมผัสโดยพิจารณาที่ถังปฏิกิริยาที่ 1 ได้เท่ากับ 2.5 ลิตรต่อชั่วโมง (ดังรูปภาพที่ ค-1 ภาคผนวก ค)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้หรือปรับใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 การติดตั้งระบบโอโซนเนชันแบบครั้ง (Batch Mode)



รูปที่ 3.7 การติดตั้งระบบโอโซนเข้มข้นแบบต่อเนื่อง (Continuous Mode)

3.2.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยโอโซนเข้มข้นแบบครั้ง

1. จัดเตรียมระบบการทดลองโดยเดินระบบโอโซนเข้มข้นแบบครั้ง ดังรูปที่ 3.6
2. นำน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการสร้างและรวมตะกอนด้วยสภาวะที่เหมาะสม ปริมาตร 2.5 ลิตร โดยปรับพีเอชเป็น 5 ผ่านปั๊มเข้าสู่ถังปฏิกิริยาจำนวน 1 ถัง
3. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (KI 2%) ลงในขวดดักก๊าซ (B₁) และขวดดักก๊าซ (B₂) ขวดละ 1,000 มิลลิลิตร
4. วัดค่าซีไอดี, บีไอดี, ดีไอซี, ความเข้มข้นในหน่วย ADMI และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น
5. เดินระบบโอโซนเข้มข้นตามหัวข้อที่ 3.2.5.2 โดยควบคุมอัตราการไหลของอากาศอัดที่ 5 ลิตรต่อนาที
6. เก็บตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75 และ 90 นาที เติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ 1-2 หยด เพื่อหยุดปฏิกิริยาโอโซนเข้มข้น จากนั้นนำไปวัดค่าซีไอดี, ดีไอซีและความเข้มข้นในหน่วย ADMI
7. เลือกสภาวะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยดูจากค่าซีไอดี, ดีไอซีและความเข้มข้นในหน่วย ADMI ที่ลดลงต่ำสุด จากนั้นนำน้ำชะมูลฝอยช่วงเวลาเหมาะสมไปวัดค่าบีไอดีและค่าการนำไฟฟ้า
8. ทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 2-6 แต่ปรับพีเอชเป็น 7, 9 และ 11 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการโอโซนชั้นแบบต่อเนื่อง

1. จัดเตรียมระบบการทดลองโดยเดินระบบโอโซนชั้นแบบต่อเนื่องดังรูปที่ 3.7
2. นำน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการสร้างและรวมตะกอนด้วยสภาวะที่เหมาะสมปริมาตร 8 ลิตร ผ่านปั๊มเข้าสู่ถังปฏิกิริยา 2 ถัง จำนวน 5 ลิตร และอยู่ในถังน้ำเสีย 3 ลิตร โดยเลือกพีเอชและเวลาที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.2.6
3. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (KI 2%) ลงในขวดดักก๊าซ (B_1) และขวดดักก๊าซ (B_2) ขวดละ 1,000 มิลลิลิตร
4. วัดค่าซีไอดี, บีไอดี, ดีไอซี, ความเข้มข้นในหน่วย ADMI และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น
5. เดินระบบโอโซนชั้นตามหัวข้อที่ 3.2.5.2 โดยควบคุมอัตราการไหลของอากาศอัดที่ 5 ลิตรต่อนาที
6. เก็บตัวอย่างน้ำที่ระยะเวลา 0, 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105 และ 120 นาที เติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ 1-2 หยด เพื่อหยุดปฏิกิริยาโอโซนชั้น จากนั้นนำไปวัดค่าซีไอดี, ดีไอซีและความเข้มข้นในหน่วย ADMI
7. นำน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดไปวัดค่าบีไอดีและค่าการนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์โดยใช้วิธีการหรือเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	เครื่องมือ/วิธีการวิเคราะห์	หมายเหตุ
pH	pH meter	APHA (2005) Part 2510 B
COD (mg/L)	Closed reflux	APHA (2005) Part 5220 C
BOD (mg/L)	DO meter	APHA (2005) Part 5210 B
DOC (mg/L)	TOC analyzer	APHA (2005) Part 5310
TSS (mg/L)	Glass Fiber Filter Disc	APHA (1995)
Alkalinity (mg/L ในรูปของ CaCO ₃)	Titration	APHA (2005) Part 2320 B
ความขุ่นสี (ADMI)	UV-Visible Spectrophotometry	APHA (2005) Part 2120 F
ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)	Conductivity meter	APHA (2005) Part 2510 B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยก่อนเข้าระบบ

น้ำตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ คือ น้ำชะมูลฝอยจากศูนย์การกำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกลึก สุขาภิบาล เมืองพญา จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นที่ทำการฝังกลบมูลฝอย มีอายุมากกว่า 10 ปี เป็นน้ำชะมูลฝอยที่ยังไม่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแล้ว พบว่า น้ำชะมูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพมีสีค้ำ มีกลิ่นเหม็นและมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่า เมื่อวัดพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่า น้ำชะมูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ มีปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีมีค่า 2417 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีมีค่า 240 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่มีในน้ำเสียมีค่า 492 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้น 2360 ADMI ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จากการทดลองเลือกน้ำที่ไม่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ เนื่องจากมีความสามารถในการย่อยสลายสลายทางชีวภาพได้ยาก จึงควรมีการบำบัดขั้นต้นก่อน

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ไม่ผ่านและผ่านกระบวนการทางชีวภาพ

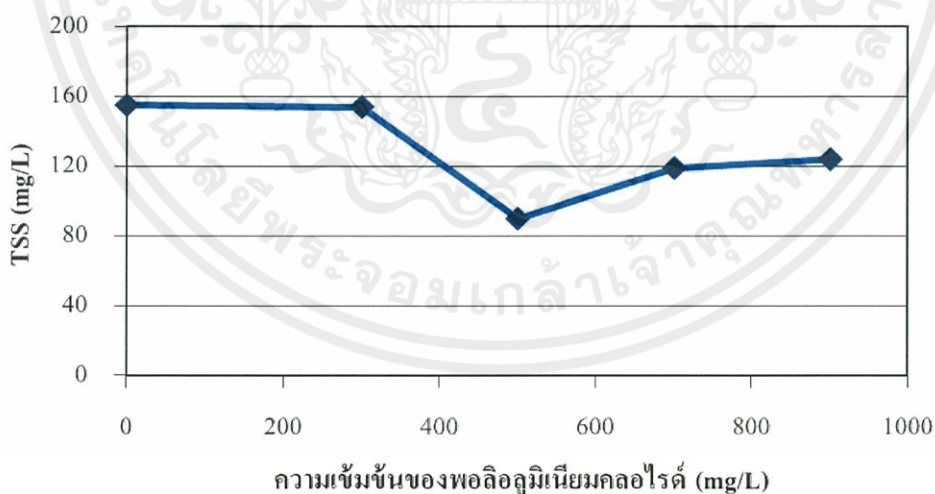
พารามิเตอร์	น้ำชะมูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ		น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
COD (mg/L)	2417	46	668	51
BOD (mg/L)	240	13	84	13
DOC (mg/L)	492	-	325	-
TSS (mg/L)	164	10	85	5.7
อัลคาไลนิตี้ (mg/L ในรูปของ CaCO ₃)	5287	71	4790	54
สี (ADMI)	2360	-	1619	-
BOD ₅ /COD (mg/L)	0.099	-	0.126	-
pH	8.11	0.2	7.78	0.1
ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)	12.9	0.3	13.8	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงถึงใจของเอกสารที่ครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอน

น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพ และมีของแขวนลอยทั้งหมดและซีโอดีสูง จึงต้องมีการบำบัดในขั้นต้นก่อน โดยการสร้างและรวมตะกอนเป็นการแยกของแข็งแขวนลอยที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำออกด้วยแรงโน้มถ่วงโลก ซึ่งการทดลองนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอน ใช้ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดและซีโอดีเป็นตัวชี้วัด

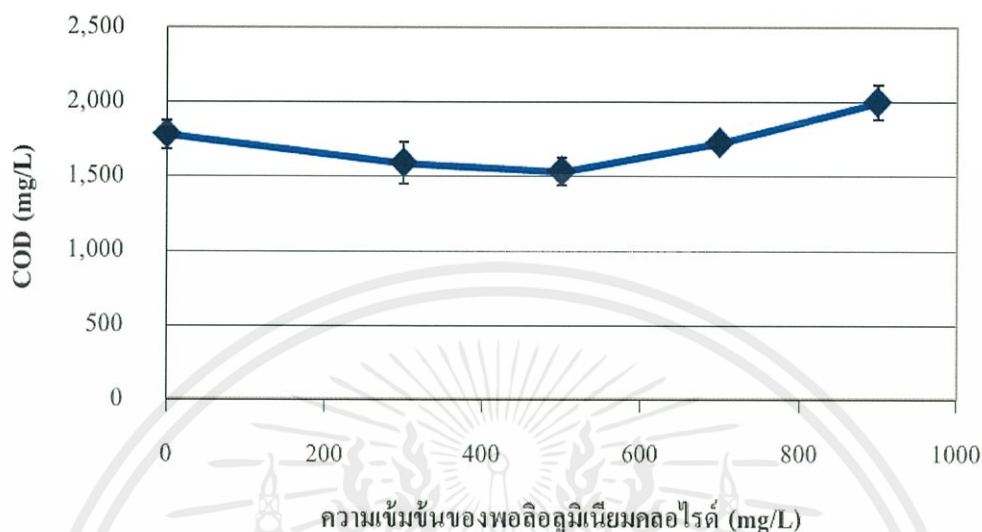
ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม พบว่า การเพิ่มปริมาณพอลิออลูมิเนียมคลอไรด์มากขึ้น ส่งผลให้ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิออลูมิเนียมคลอไรด์มากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ทำให้มีการรวมกลุ่มกันคอลลอยด์ แต่ถ้าพื้นที่ผิวของคอลลอยด์ มีประจุบวกมากเกินไปจากการเติมพอลิออลูมิเนียมคลอไรด์ จะทำให้ไม่เกิดกระบวนการสร้างและรวมตะกอนเกิดขึ้น เพราะเกิดแรงผลักระหว่างประจุบวกของอนุภาคหรือเสถียรภาพของคอลลอยด์กลับคืน (Restabilization) ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดกลับเข้ามาในระบบการสร้างและรวมตะกอนได้อีก จากรูปที่ 4.1 พบว่า ความเข้มข้นของพอลิออลูมิเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอน คือ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดลดลงจาก 164 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 90 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัด 45.12% (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TSS กับความเข้มข้นของพอลิออลูมิเนียมคลอไรด์

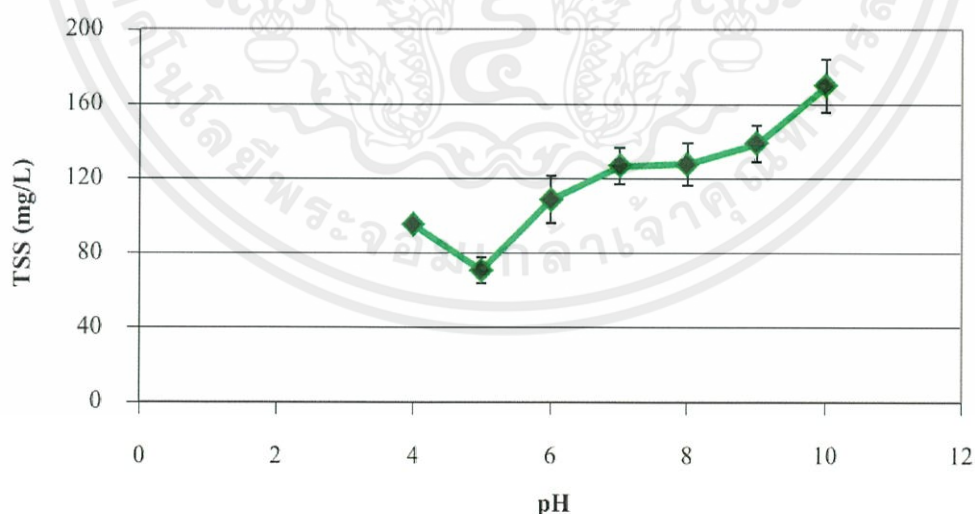
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 ค่าซีโอดีลดลงจากประมาณ 2417 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 1534 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีกับความเข้มข้นของพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์

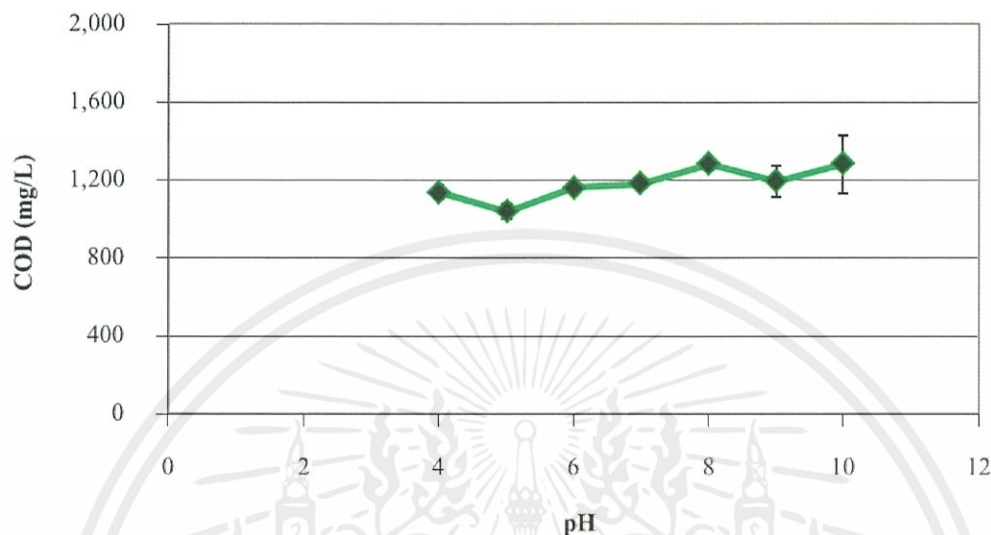
เมื่อนำความเข้มข้นพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มาหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอน พบว่า ที่พีเอช 5 สามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดลงเหลือ 71 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งจากงานวิจัยของ Li (2009) พบว่า พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่พีเอช 5.5 สามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ 93% (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TSS กับพีเอช

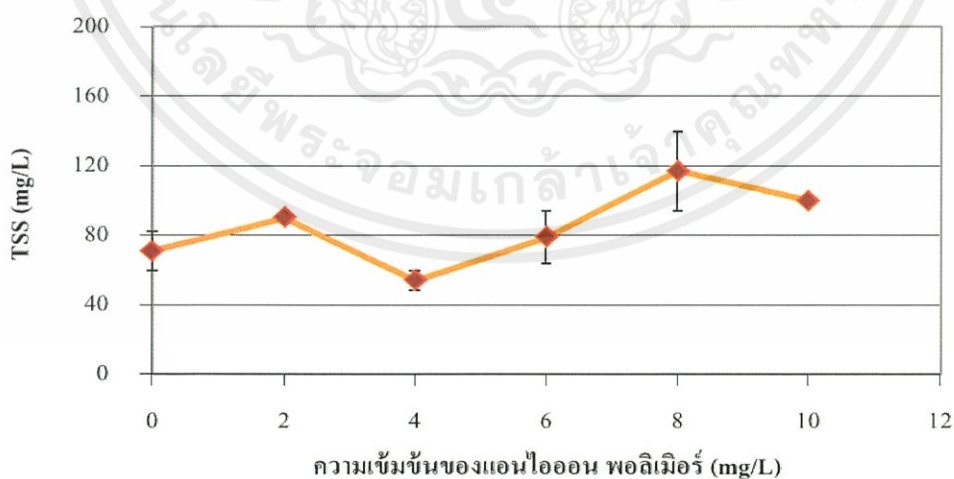
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 เมื่อเทียบกับค่าซีไอดี พบว่า ที่พีเอช 5 สามารถลดลงได้มากที่สุดและมีประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นถึง 56.70% (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2 ภาคผนวก ข) ซึ่งจากงานวิจัยของ Li (2009) พบว่า ที่ค่าพีเอช 5.5 จะลดค่าซีไอดีได้มากที่สุด ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีไอดีเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 61%



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีกับค่าพีเอช

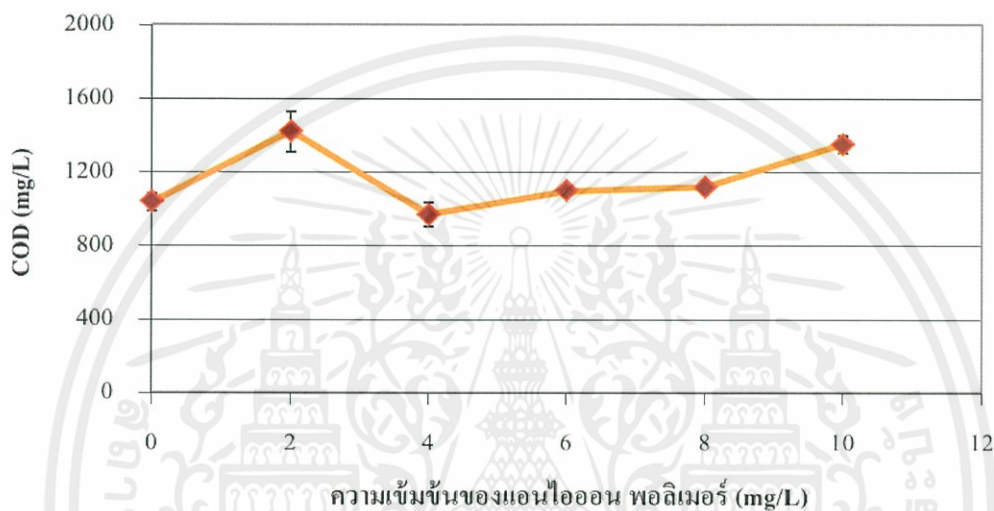
เมื่อทราบความเข้มข้นพอลิออลูมิเนียมคลอไรด์และค่าพีเอชที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอนแล้ว จึงนำมาหาสภาวะที่เหมาะสมของสารช่วยรวมตะกอน ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้ แอนไอออนพอลิเมอร์เป็นสารช่วยรวมตะกอน จากการทดลอง พบว่า ที่ความเข้มข้นของแอนไอออนพอลิเมอร์ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเหลือ 54 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.5 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-3 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TSS กับความเข้มข้นของแอนไอออนพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา ผู้ใช้ที่เห็นชอบในการนำเนื้อหาไปใช้โดยไม่ผ่านการพิจารณาจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หรือผู้ดูแลเนื้อหา จะต้องรับผิดชอบต่อเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีกับความเข้มข้นของสารช่วยรวมตะกอน แอนไอออน พอลิเมอร์ พบว่า ความเข้มข้นของแอนไอออน พอลิเมอร์ที่เหมาะสม คือ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซีโอดีลดลงเหลือ 972 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-3 ภาคผนวก ข) ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดได้สูงถึง 59.78% และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแอนไอออน พอลิเมอร์จะทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น ซึ่งงานวิจัยของ Wong *et al.* (2006) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของพอลิเมอร์เกินความเหมาะสม ไม่ส่งผลต่อการลดค่าซีโอดี และทำให้เกิดการกระจายของกลุ่มคอลลอยด์ เป็นผลให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยเกิดการตกตะกอนน้อยลง



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีกับความเข้มข้นของแอนไอออน พอลิเมอร์

4.3 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการสร้างและรวมตะกอน

เมื่อทำการวิเคราะห์น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการสร้างและรวมตะกอนแล้ว ได้สถานะที่เหมาะสม ได้แก่ ความเข้มข้นพอลิคลูมิเนียมคลอไรด์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 ความเข้มข้นสารช่วยรวมตะกอน แอนไอออน พอลิเมอร์ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการสร้างและรวมตะกอนดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า มีปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีมีค่าลดลงค่อนข้างสูง และค่าบีโอดีลดลงสัมพันธ์กัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการสร้างและรวมตะกอนแล้ว น้ำชะมูลฝอยก็ยังมีสารปนเปื้อนที่ไม่สามารถตกตะกอนได้จึงทำให้ค่าซีโอดี และค่าบีโอดียังมีค่าสูง (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-4 ภาคผนวก ข)

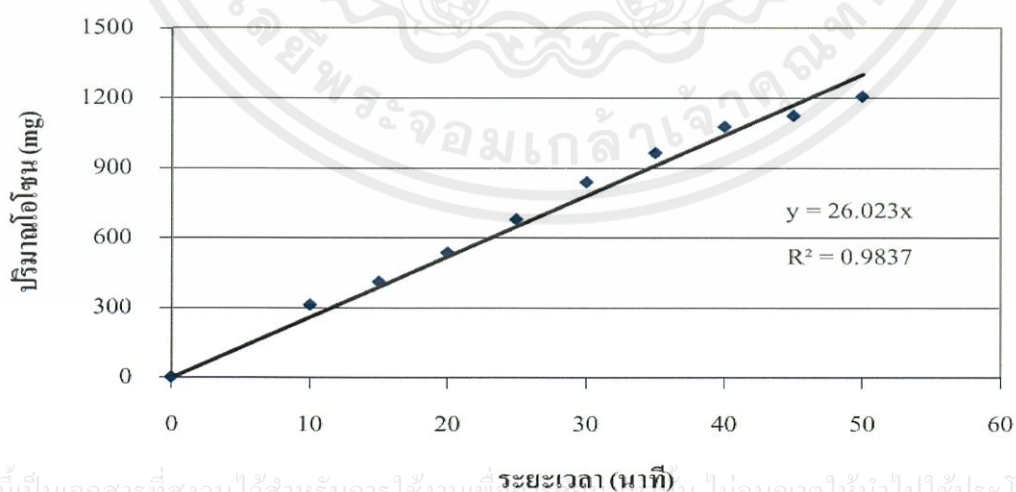
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการสร้างและรวมตะกอน

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดก่อนสร้างและรวมตะกอน	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดหลังสร้างและรวมตะกอน	% การกำจัด
COD (mg/L)	2417	972	59.78
BOD (mg/L)	240	103	57.08
DOC (mg/L)	492	238	51.57
TSS (mg/L)	164	54	67.07
อัลคาไลน์ตี (mg/L ในรูปของ CaCO ₃)	5287	80	98.49
ลี (ADMI)	2360	926	60.76
BOD ₅ /COD (mg/L)	0.099	0.106	-
pH	8.11	5.32	-
ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)	12.9	13.8	-

4.4 อัตราการผลิตก๊าซโอโซน

จากการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดโอโซน เพื่อหาปริมาณโอโซนที่ผลิตได้ในระยะเวลาต่างๆ โดยผ่านก๊าซโอโซนที่ผลิตได้เข้าสู่ขวดดักก๊าซโอโซน ซึ่งภายในขวดดักก๊าซบรรจุสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (KI 2%) ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ที่มีการควบคุมพีเอชด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เมื่อเวลาผ่านไป 50 นาที พบว่า ปริมาณก๊าซโอโซน ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-5 ภาคผนวก ข)



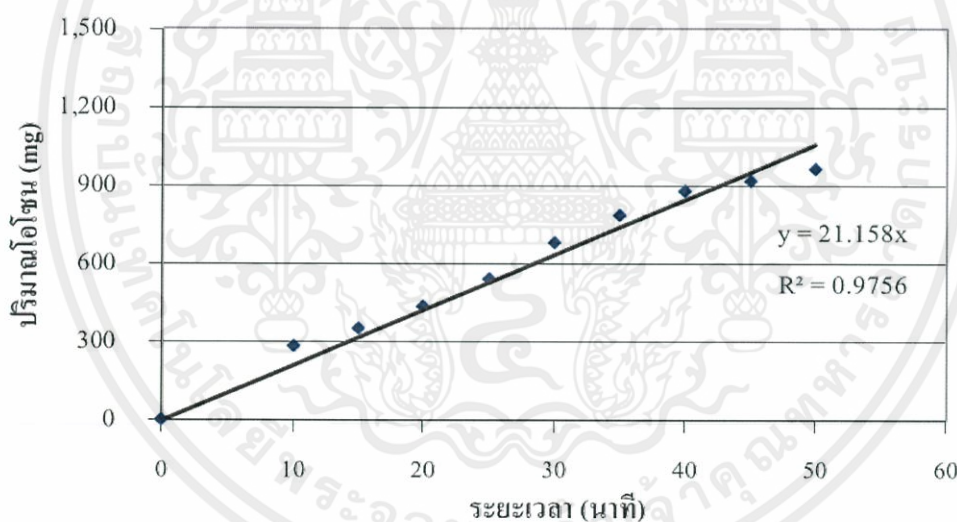
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีความจำเป็นต้องขอความร่วมมือจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซโอโซนที่เวลาต่างๆ

จากรูป 4.7 พบว่า ปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดโอโซนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเวลา โดยเมื่อนำค่าปริมาณโอโซนที่ได้ในระยะเวลาต่างมาพล็อตกราฟทำให้สามารถหาอัตราการผลิตก๊าซโอโซนได้เท่ากับ 26.02 มิลลิกรัมต่อนาทีหรือ 1.56 กรัมต่อชั่วโมง ซึ่งการทดลองนี้ได้ควบคุมอัตราการไหลของอากาศอัดเข้าระบบให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา คือ 5 ลิตรต่อนาที

4.5 อัตราการละลายน้ำของโอโซน

จากการทดลองการหาค่าก๊าซโอโซนละลายน้ำ จะใช้วิธีโดยการหาค่าความแตกต่างระหว่างปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนและก๊าซโอโซนที่ไม่ละลายน้ำ โดยใช้น้ำกลั่นปริมาตร 2 ลิตร บรรจุในถังปฏิกิริยา และดักจับก๊าซโอโซนที่เหลือจากการละลายน้ำด้วยโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (KI 2%) ในฟอสเฟตบัพเฟอร์เพื่อปรับพีเอชของสารละลายให้เป็น 7 เนื่องจากก๊าซโอโซนเมื่อทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอโอไดด์แล้วจะเกิดสถานะที่เป็นด่าง ซึ่งจะทำให้ก๊าซโอโซนสลายตัวได้ เมื่อเวลาผ่านไป 50 นาที นำค่าของปริมาณก๊าซโอโซนที่เหลือจากการละลายน้ำหักลบออกจากปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้ ทำให้ทราบค่าของปริมาณของก๊าซโอโซนที่ละลายน้ำ ดังแสดงในรูป 4.8 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-6 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซโอโซนที่ละลายน้ำกับเวลาต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ค่าปริมาณ โอโซนที่ละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง แสดงถึงอัตราการละลายน้ำของโอโซนมีค่าคงที่ จากการทดลองได้ อัตราของการละลายน้ำได้เท่ากับ 161.28 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

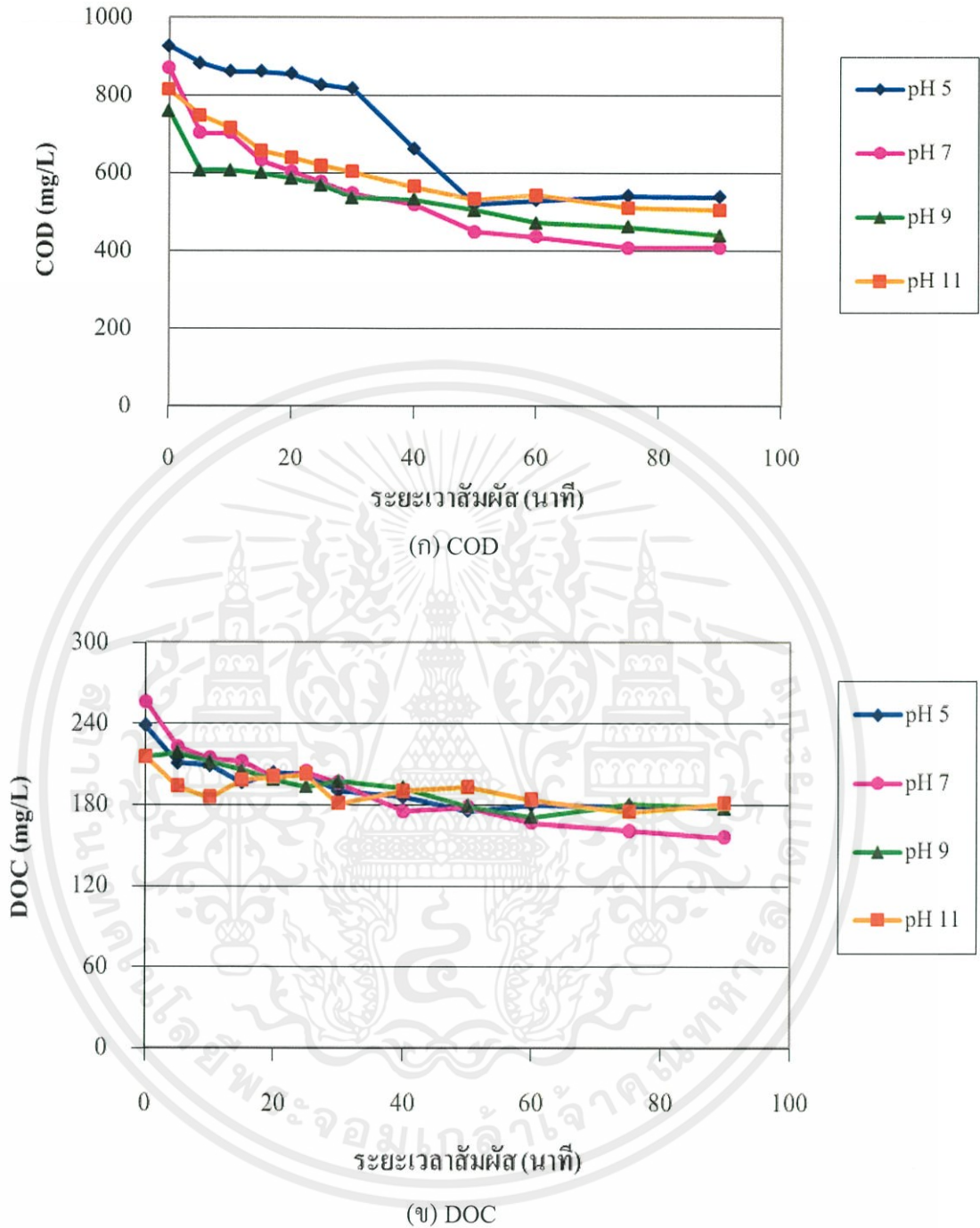
4.6 ผลการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการโอโซนเนชันแบบครั้ง

จากการทดลองด้วยกระบวนการโอโซนเนชันแบบครั้ง (Batch Mode) โดยใช้น้ำที่ผ่านการสร้างและรวมตะกอนแล้ว แปรผลที่พีเอช 5, 7, 9 และ 11 และระยะเวลาสัมผัส 90 นาที

จากรูปที่ 4.9 (ก) เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นโอโซนสามารถบำบัดให้ค่าซีโอดีและดีไอซีลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 50 นาที หลังจากนั้นซีโอดีลดลงน้อยมาก หลังจากการบำบัดด้วยโอโซนเนชันพบว่า ซีโอดียังคงสูงอยู่ ต้องมีการบำบัดทางชีวภาพในขั้นต่อไป แต่เมื่อพิจารณาที่พีเอชต่างๆ พบว่า แนวโน้มของพีเอช 7, 9 และ 11 มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีและดีไอซีดีกว่าพีเอช 5 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-7 ภาคผนวก ข) จากงานวิจัยของ Gottschalk *et al.* (2000) พบว่า ค่าพีเอชที่เป็นกรด โอโซนจะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารอินทรีย์ แต่ถ้าพีเอชมากขึ้น โอโซนสามารถแตกตัวให้เป็นเรดิคัลซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่าพีเอชเป็นกรด จากการทดลอง พบว่า พีเอช 7 สามารถลดซีโอดีและดีไอซีได้ดีที่สุด คิดเป็นร้อยละการกำจัด 81.99 และ 66.44 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.9 (ข) ปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำ ที่สภาวะพีเอชต่างๆ พบว่า เมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มมากขึ้น ค่าดีไอซีมีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงกัน เนื่องจากในการบำบัดด้วยกระบวนการโอโซนเนชันเป็นเพียงการสลายพันธะของสารอินทรีย์คาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ดังนั้น ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนก็ยังเหลืออยู่ในน้ำชะมูลฝอย แสดงให้เห็นว่าค่าพีเอชไม่มีผลต่อสารอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-7 ภาคผนวก ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

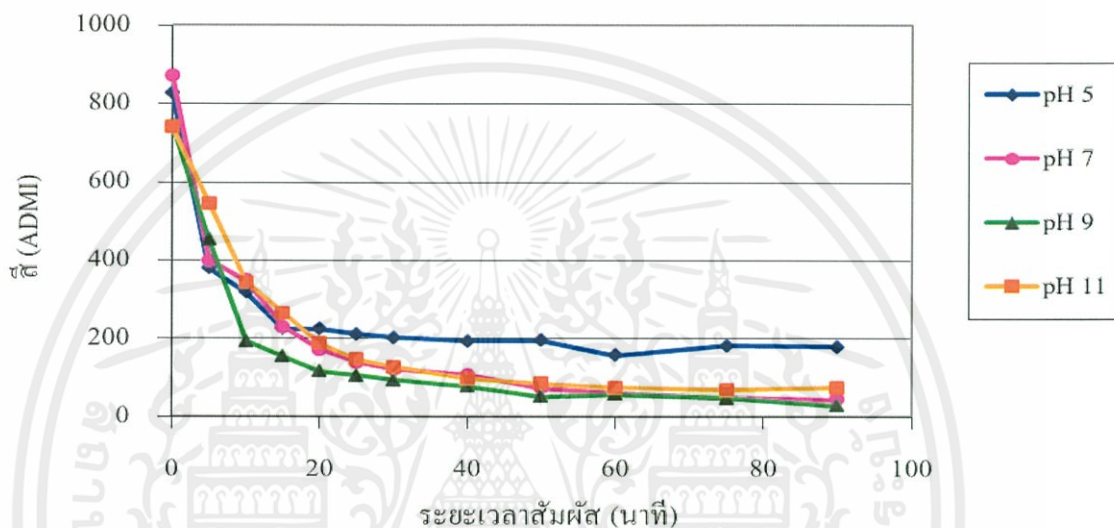


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดี, ดีโอซี กับระยะเวลาสัมผัสโอโซนที่ค่าพีเอชต่างๆ

(ก) COD (ข) DOC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น (ADMI) กับระยะเวลาสัมผัส ที่พีเอชต่างๆ เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นจะมีค่าลดลงรวดเร็วในช่วงแรก เมื่อผ่านไป 20 นาที ความเข้มข้นลดลงอย่างช้าๆ และช่วงสุดท้ายค่าความเข้มข้นอยู่เกณฑ์มาตรฐาน เมื่อพิจารณาค่าพีเอชซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของค่าซีไอดีและดีไอซี พบว่า พีเอช 7, 9 และ 11 ลดลงได้ดีกว่าพีเอช 5 โดยเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น โอโซนเกิดการสลายตัว แบบ Auto-Decomposition และจากการทดลอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ พีเอช 7 และ 9 สามารถลดซีไอดีได้ดีที่สุด คิดเป็นร้อยละการกำจัด 97.54 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-7 ภาคผนวก ข)



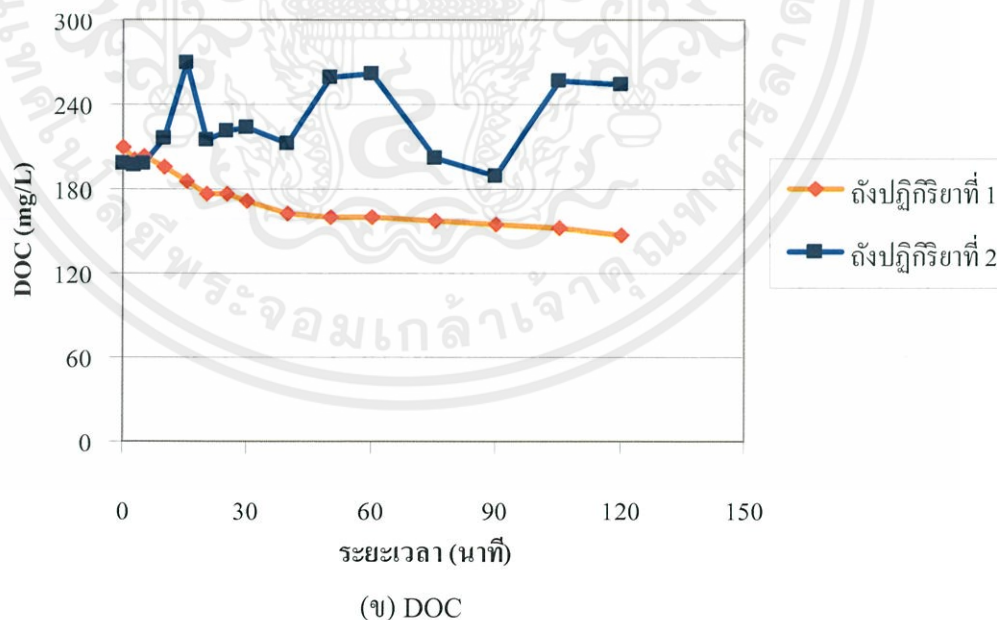
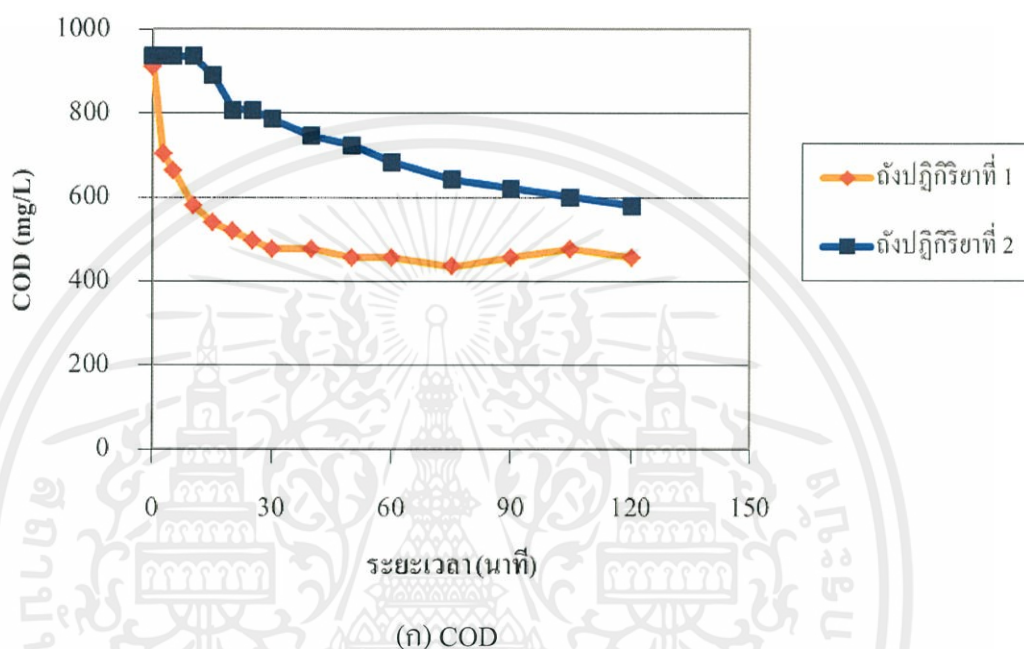
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น (ADMI) กับระยะเวลาสัมผัสโอโซนเข้มข้นที่ค่าพีเอชต่างๆ

4.7 ผลการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการโอโซนเข้มข้นแบบต่อเนื่อง

จากผลการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการโอโซนเข้มข้นแบบครั้ง ได้สภาวะที่เหมาะสมคือ ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที พีเอช 7 ใช้อัตราการไหลเท่ากับ 2.5 ลิตรต่อชั่วโมง โดยนำมาศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการ โอโซนเข้มข้นแบบต่อเนื่อง และเปรียบเทียบระหว่างถังปฏิกรณ์ที่ 1 และถังปฏิกรณ์ที่ 2

จากการทดลองเมื่อพิจารณาที่ถังปฏิกรณ์ที่ 1 หลังจาก 60 นาที พบว่า ค่าซีไอดีมีแนวโน้มคงที่ โดยมีค่าซีไอดี 455 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่าเข้าสู่สภาวะคงตัว และเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที น้ำจะเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 แต่เนื่องจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 เป็นก๊าซโอโซนที่เหลือจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 และน้ำชะมูลฝอยที่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ยังผสมกันไม่เสร็จจึงทำให้ค่าซีไอดีที่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่ามาก แต่เมื่อระยะเวลา 120 นาที ทั้งถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 อยู่ในสภาวะคงตัวเช่นกัน ดังรูปที่ 4.11 (ก) นอกจากนี้ ค่าซีไอดีที่ลดลงได้ดีในถังปฏิกรณ์ที่ 1 แล้วค่าสารอินทรีย์คาร์บอนละลายในน้ำ (DOC) ก็มีแนวโน้มลดลงได้ดีในถังปฏิกรณ์ที่ 1 เช่นกัน เมื่อระยะเวลาผ่านไปค่าสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ลดลง

นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนในถังปฏิกริยาที่ 2 จากค่าซีไอดีก็มีแนวโน้มที่ลดลง แต่ค่าสารอินทรีย์คาร์บอนละลายในน้ำมีค่าไม่คงที่ ดังรูปที่ 4.11 (ข) เพราะเกิดการปั่นกววนในถังปฏิกริยาที่ไม่ปกติ ไม่เป็นไปตามระบบ PFR ในอุดมคติ แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการบำบัดในถังปฏิกริยาที่ 1 ดีกว่าถังปฏิกริยาที่ 2 จากการทดลอง พบว่า ถังปฏิกริยาที่ 1 สามารถลดค่าซีไอดี และดีไอซีได้ดีกว่าถังปฏิกริยาที่ 2 โดยคิดเป็นร้อยละการกำจัด 81.17 และ 70.20 ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-8 ภาคผนวก ข)

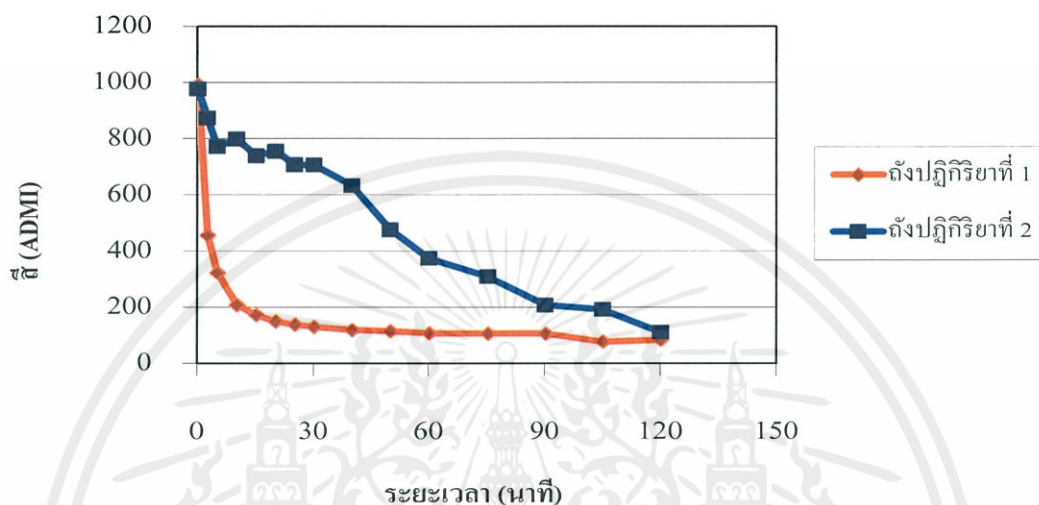


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดี, ดีไอซีกับระยะเวลาสัมผัส ไอโซเนซันที่ถังปฏิกริยา 1 และ 2

(ก) COD

(ข) DOC

จากรูปที่ 4.12 (รายละเอียดในตารางที่ ข-8 ภาคผนวก ข) พบว่าค่าความเข้มข้น (ADMI) ทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาสัมผัส 60 นาที ถึงปฏิบัติการที่ 1 มีค่าความเข้มข้นเริ่มคงที่ โดยมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 107 ADMI ในขณะที่ถึงปฏิบัติการที่ 2 ค่อยๆลดลง จนสุดท้ายความเข้มข้นทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการอยู่ในสถานะคงตัว แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นในถึงปฏิบัติการ 1 ดีกว่า โดยพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 96.44 %



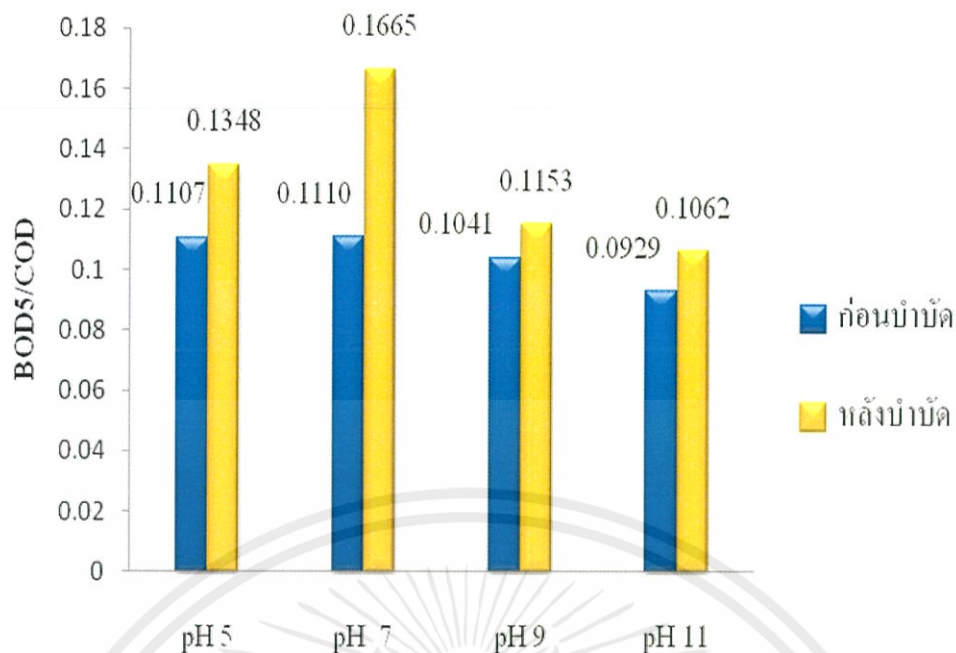
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้น (ADMI) กับระยะเวลาสัมผัสโอโซนชั้นถึงปฏิบัติการที่ 1 และ 2

4.8 การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำชะมูลฝอย

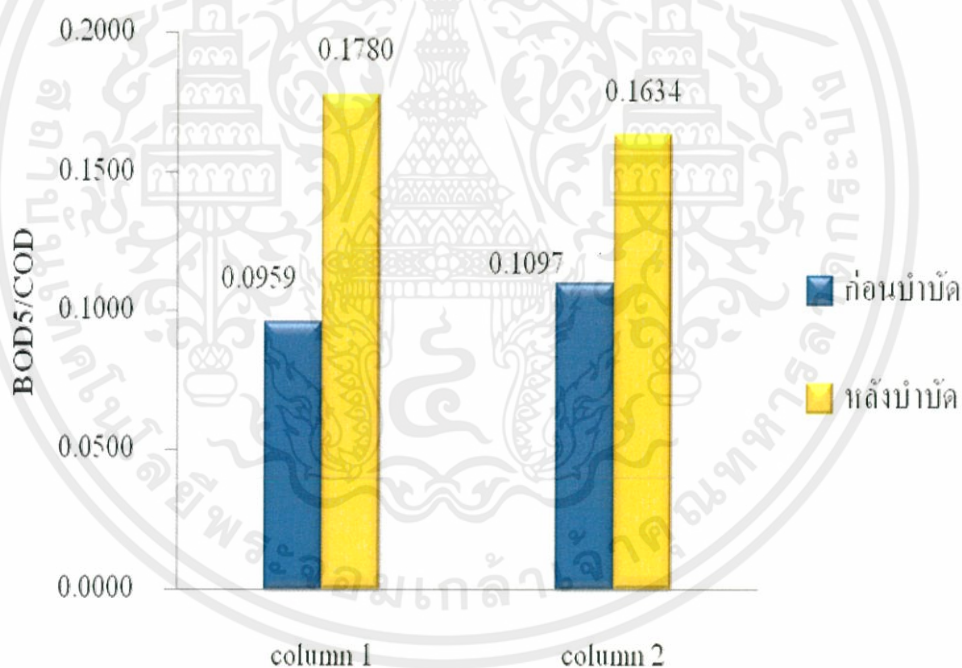
จากการศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำชะมูลฝอย โดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างค่าบีโอดีต่อค่าซีโอดี (BOD_5/COD) เมื่อผ่านกระบวนการโอโซนชั้น จะทำให้ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพดีขึ้น

ผลการศึกษาระบบการโอโซนชั้นแบบครั้ง (Batch Mode) ต่อความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก) พบว่า น้ำชะมูลฝอยที่พีเอชต่างๆ มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพดีขึ้น โดยพีเอช 7 มีค่าอัตราส่วนระหว่างค่าบีโอดีต่อค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.111 เป็น 0.167 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-10 ภาคผนวก ข)

จากรูปที่ 4.13 (ข) พบว่า น้ำชะมูลฝอยที่พีเอช 7 เมื่อผ่านโอโซนชั้นแบบต่อเนื่อง พบว่า ถึงปฏิบัติการทั้ง 2 ถึง มีค่า BOD_5/COD สูงขึ้น แต่ที่ถึงปฏิบัติการ 1 มีค่าสูงสุด โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.096 เป็น 0.178 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-10 ภาคผนวก ข) ดังนั้นในระบบการโอโซนชั้น ก๊าซโอโซนสามารถทำให้สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายทางชีวภาพถูกย่อยสลายได้ง่ายขึ้น เนื่องจากก๊าซโอโซนสามารถทำลายพันธะต่างๆของสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยให้มีขนาดเล็กหรือเปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์ให้ง่ายต่อการย่อยสลายได้



(ก) โอโซนชั้นแบบครั้ง (Batch Mode)



(ข) โอโซนชั้นแบบต่อเนื่อง (Continuous Mode)

รูปที่ 4.13 อัตราส่วน BOD₅/COD ของน้ำชะมูลฝอย ก่อนและหลังกระบวนการโอโซนชั้น
(ก) โอโซนชั้นแบบครั้ง (Batch Mode) (ข) โอโซนชั้นแบบต่อเนื่อง (Continuous Mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ผลการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับโอโซนเนชั่น

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมการสร้างและรวมตะกอน พบว่า สารรวมตะกอนที่เหมาะสมคือ พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 5 และสารรวมตะกอนแอนไอออน พอลิเมอร์ ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณน้ำ 8 ลิตร เข้าสู่กระบวนการโอโซนเนชั่น ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที และปรับพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการสร้างและรวมตะกอน ที่พีเอช 7 จะมีความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradability) มีค่าเพิ่มขึ้น จาก 0.099 เป็น 0.178 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

จากตารางปริมาณสารอินทรีย์เมื่อผ่านการสร้างและรวมตะกอนมีค่าต่ำ ทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูง และเมื่อพิจารณาที่ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด พบว่า การสร้างและรวมตะกอนสามารถลดปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดได้สูงถึง 67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการสร้างและรวมตะกอน

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การกำจัดรวมของน้ำชะมูลฝอยเมื่อผ่านการบำบัดเบื้องต้น

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำชะมูลฝอยก่อนบำบัด	การสร้างและรวมตะกอน		โอโซนเนชั่น		% การกำจัดรวม
			เมื่อผ่านการรวมตะกอน	% การกำจัด	เมื่อผ่านโอโซนเนชั่น	% การกำจัด	
COD	mg/L	2417	962	59.78	455	53.20	81.18
BOD	mg/L	240	103	57.08	78	24.27	67.50
DOC	mg/L	492	238	51.57	160	32.77	67.48
TSS	mg/L	164	54	67.07	-	-	-
สี	ADMI	2360	926	57.07	84	90.93	96.44
BOD ₅ /COD	-	0.099	0.106	-	0.178	-	-
pH	-	8.11	5.32	-	6.96	-	-
ค่าการนำไฟฟ้า	ms/cm	12.9	13.8	-	15.6	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

1. น้ำชะมูลฝอย

- น้ำชะมูลฝอยมีสีน้ำตาล-ดำ และมีกลิ่นเหม็น มีปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีไอดี 2417 มิลลิกรัมต่อลิตร, ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปดีไอซี 492 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความเข้มข้นเท่ากับ 2360 ADMI โดยมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ (BOD_5/COD) เท่ากับ 0.099

2. การสร้างและรวมตะกอน

- สารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการสร้างและรวมตะกอน คือ พอลิลูมิเนียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

- ค่าพีเอชที่เหมาะสม คือ พีเอช 5

- สารช่วยรวมตะกอนแอนไอออน พอลิเมอร์ มีความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

- สามารถลดซีไอดีและดีไอซีลงเหลือ 972 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 23 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละการกำจัด 60 และ 52 ตามลำดับ

3. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับกระบวนการโอโซนเนชัน

- การศึกษาค่าพีเอชที่มีผลต่อซีไอดี, ดีไอซี และความเข้มข้นในหน่วย ADMI ด้วยกระบวนการโอโซนเนชันแบบครั้ง พบว่า พีเอช 7 มีการลดลงของซีไอดี, ดีไอซี และความเข้มข้นในหน่วย ADMI ได้ดีที่สุด คิดเป็นร้อยละการกำจัด คือ 81.99, 66.44 และ 97.54 ตามลำดับ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอโซนเนชันแบบครั้ง คือ พีเอช 7

- ระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัด คือ 60 นาที พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ค่าซีไอดี, ดีไอซี และความเข้มข้นในหน่วย ADMI ลดลงน้อยมาก โดยน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการโอโซนเนชันแบบครั้งจะมีการย่อยสลายได้ดีขึ้น ซึ่งมีอัตราส่วน BOD_5/COD เพิ่มขึ้นจาก 0.099 เป็น 0.167

- การศึกษากระบวนการโอโซนเนชันแบบต่อเนื่อง ที่ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที พบว่า ถึงปฏิกิริยาที่ 1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี, ดีไอซี และความเข้มข้นในหน่วย ADMI คิดเป็นร้อยละการกำจัด คือ 81.17, 70.20 และ 96.44 ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วน BOD_5/COD เพิ่มขึ้นเป็น 0.178

ส่วนถึงปฏิกิริยาที่ 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี, ดีไอซี และความเข้มข้นในหน่วย ADMI คิดเป็นร้อยละการกำจัด คือ 76.04, 48.02 และ 95.30 ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วน BOD_5/COD เพิ่มขึ้นเป็น 0.163

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการ โอโซนเนชัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยให้สูงขึ้น เช่น เหล็กออกไซด์หรือทินออกไซด์ เป็นต้น
2. ควรศึกษากระบวนการ โอโซนเนชันร่วมกับรังสียูวีหรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Advanced Oxidation Process, AOPs) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้สูงขึ้น
3. ควรทำการวิเคราะห์ค่าซีโอดีที่ละลาย (Soluble COD) เปรียบเทียบกับค่าบีโอดี เพื่อหาปริมาณสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้
4. ควรทำการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradability) ในระบบจริงของน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นและน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ โอโซนเนชัน
5. ควรศึกษาวิธีการลดฟองที่เกิดขึ้นขณะบำบัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยรังสิต.

กรมควบคุมมลพิษ. 2541. โครงการสำรวจและวิเคราะห์เพื่อจัดทำแนวทางการจัดการการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยที่ลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน บริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอยเทศบาลในพื้นที่ภาคเหนือและภาคกลาง เล่มที่ 1/4. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2542. เกณฑ์มาตรฐาน และแนวทางการจัดการมูลฝอยชุมชน. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2554. ปริมาณมูลฝอย เมืองพัทยา. [Online]. Available: www.pcd.go.th เข้าถึงเมื่อ วันที่ 21 กันยายน 2555.

กองช่างสุขาภิบาล เมืองพัทยา. 2550. ศูนย์การกำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล เมืองพัทยา. [Online]. Available: <http://info.pattaya.go.th/km/sanitarywork.html> เข้าถึงเมื่อ วันที่ 21 กันยายน 2555.

ชนิด เจนจบ. ยุรนนท์ เล็กน้อย และวันวิสาข์ จิตเสน. 2553. การบำบัดน้ำกากส่าที่ผ่านกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการรวมตะกอนทางเคมีและโอโซนชั้น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จิรารัตน์ ก้องวิวัฒน์สกุล. 2543. การระเหยน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ก๊าซที่เกิดจากหลุมฝังกลบขยะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นวพรรษ ลักขณานุกฤษ. 2545. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยขั้นต้นด้วยกระบวนการโอโซนเนชั่น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญชัย วิจิตรเสถียร. 2549. การบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยด้วยชุมชนวิธีทางเคมี. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ปฐมภรณ์ นิลดี. 2552. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่เสถียรโดยใช้ถังปฏิกรณ์เยื่อกรองเมมเบรนแบบสองชั้น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. [Online]. Available : <http://www.mwa.co.th> เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม พ.ศ. 2555

พรวิภา แกสมาน, ภัทรา คงภักดี และภาณุพงศ์ เฟื่องวัน. 2551. การกำจัดสีย้อมรีแอททีฟในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโอโซนเข้มข้น. ปรินูญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พัชรินทร์ ถาปินตา. 2551. การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษสาด้วยกระบวนการตกตะกอนและการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

มันสิน ตันทุลเวสม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วีรวรรณ ปัทมาภีรติ. 2530. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากที่ทิ้งขยะบริเวณซอยอ่อนนุชและการบำบัดทางชีวภาพ. สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศักดิ์ชัย ชี้อวัฒนานุกร. 2539. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สาวิณี สนั่นไหว, ธนากร แก้วศรี และวิจิตรา กุลสัมพันธ์. 2552. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยเคมีไฟฟ้า. ปรินูญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุรพล รักปทุม. 2543. โอโซนเพื่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ภาพพิมพ์.

สุเมธ ชวเดช. 2541. การพัฒนากระบวนการออกซิเดชันโอโซนสำหรับการบำบัดน้ำเสีย. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สยามสเตชันเนอรีซ์พลาซัส, 2552.

อรุณ คงศักดิ์ไพศาล และคณะ. 2526. เคมีเกษตร. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Andreottola G. and Cannas P. 1992. Chemical and Biological Characteristic of Landfill Leachate. pp. 65-88. In T.H.Christensen R. Cossu and R.Stegmann, Eds. **Landfilling of Waste: Leachate**. Elsevier Science Publ. Ltd., England.
- APHA, AWWA and WEF. 1992. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 18th edition, American Public Health Association. Washington, DC.
- APHA, AWWA and WEF. 2000. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th ed., APHA. Washington, DC. 1193 p.
- Bila D.M., Montalvae A.F., Silva A.C., Dezotti M. 2005. Ozonation of a Landfill Leachate: Evaluation of Toxicity Removal and Biodegradability Improvement. **Journal of Hazardous Materials**. B117 (2005) : 235–242
- Chaudhari P.K., Mishra I.M., Chand S. 2007. Decolourization and Removal of Chemical Oxygen Demand (COD) with Energy Recovery: Treatment of Biodigester Effluent of a Molasses-Based Alcohol Distillery Using Inorganic Coagulants. **Colloids and Surfaces**, 296 : 238-247.
- Cheremisinoff N.P., Chereminoff P.N. 1993. **Water Treatment and Waste Recovery Advanced Technology and Applications**. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Chian E.S.K., Dewalle F.B. 1976. Sanitary Landfill Leachates and Their Treatments. **Journal of the Environmental Engineering Division ASCE**. 102(EE2): 411-429.
- Chian, E.S.K., Dewalle F.B. 1977. Characterization of Soluble Organic Matter in Leachate. **Environmental Science & Technology** 11: 158-162.
- Farquhar G.J. 1989. Leachate Production and Characterization. **Canadian J. of Civil Engineering**. 16: 317-325.
- Farguhar G.J., McBean E.A. 1995. **Solid Waste Landfill Engineering and Design**. Prentice Hall PTR. USA.
- Gottschalk C., Libra J.A., Saupe A. 2000. **Ozonation of Water and Wastewater**. WILEY-VCH, Inc., Germany. 189p.
- Keenan P.J., Lza J., Switsenbuam M.S. 1993. Inorganic Solid Development in a Pilot Scale Anarobic Reacher Treating Municipal Solid Waste Landfill., **Water Environmental Research**, 65:2:181-188.

- Langlais B., Reckhow D.A., Brink D.R. 1991. **Ozone in Water Treatment Application and Engineering**. Lewis Publ. Inc., Chelsea. 365 p.
- Li W., Hua T., Zhou Q.Z., Zhang S.D., Li F.Z. 2009. **Treatment of Stabilized Landfill Leachate by the Combined Process of Coagulation/Flocculation and Powder Activated Carbon Adsorption**. pp 56-62. Inc.,China
- Lin, S.H., Yeh K.L. 1993. **Looking to Treat Wastewater? Try Ozone**. Chem. Eng.
- Nicolson R.V., Cherr J.A., Reardon E.J. 1983. Migration of Contaminants in Ground Water at a Landfill: A Case Study 6. Hydrogeochemistry. **Journal of Hydrology**. 63: 76-131.
- Ntampou X., Zouboulis A.L. 2006. Appropriate Combination of Physico-Chemical Methods (Coagulation/Flocculation and Ozonation) for the Efficient Treatment of Landfill Leachates. **Journal of Hazardous Materials**. 154-168.
- Ou W. 1989. **Soil Column Process for Landfill Leachate Treatment**. M.S. Thesis, Asian Institute of Technology. Patumthanee.
- Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. 1993. **Integrated Solid Waste Management**. McGraw-Hill. Inc., Singapore. 978 p.
- US. EPA. 1971. **Pollution of Subsurface Water by Sanitary Landfills**. Dresel University, Virginia. 125 p.
- Veronica P.M., Ernesto J.D.R., Masatoshi M. 1996. Flocculation of Melanoidins Induced by Inorganic Ions. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, 83:3:287-291.
- Weber W.J., Weber Jr. 1972. **Physicochemical Processes for Water Quality Control**. John Wiley and Sons. Inc., New York.
- Wong S.S., Teng T.T., Ahmad A.L., Zuhairi A., Najafpour G. 2006. Treatment of Pulp and Paper Mill Wastewater by Polyacrylamide (PAM) in Polymer Induced Flocculation. **Journal of Hazardous Materials**, B135 : 378-388.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

ก-1 การวัดปริมาณไอโชน

การวัดปริมาณ ไอโชนสามารถวัดด้วยวิธีไอโอดิเมทรี (Iodometry) โดยอัตราการผลิตก๊าซไอโชนสามารถวัดได้ดังนี้

1) สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2% ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 M

ชั่งโพแทสเซียมโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ไดไฮเดรต ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 7.8 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) 7.1 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 20.0 กรัม ละลายให้เข้ากันด้วยน้ำกลั่น เมื่อทำการละลายแล้วทำการเทลงใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 วัน ก่อนใช้วัดค่าพีเอช และปรับค่าพีเอชให้เป็น 7 เก็บไว้ในขวดสีชาป้องกันการสัมผัสกับแสงแดด

2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N

ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 24.8 กรัม ในน้ำกลั่นต้มและทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิ เดิมคลอโรฟอร์ม (CHCl_3) ลงไป 5 มิลลิลิตรหรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร

3. สารละลายปฐมภูมิโพแทสเซียมไอโอเดต หรือ โพแทสเซียมไบโอไอเดต 0.1000 N

นำโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) หรือ โพแทสเซียมไบโอไอเดต ($\text{KH}(\text{IO}_3)_2$) อบที่อุณหภูมิ $103 \pm 2^\circ \text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่ง KIO_3 3.567 กรัม หรือ ชั่ง $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ 3.249 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 0.1000 N

4. น้ำแป้ง

ชั่งแป้งมัน 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด เป็นเวลา 2-3 นาที ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน นำส่วนที่ใสแยกออกมา เดิมกรดซาลิไซลิก 1.25 กรัม เพื่อเก็บรักษาได้นาน ทำการเก็บในตู้เย็นรักษาอุณหภูมิ 4°C

2) การทดลอง

1. การดูดซึมก๊าซไอโชน โดยผ่านก๊าซจากชุดทดลองในขวดดักก๊าซที่มีสารละลาย KI 2% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จำนวน 2 ขวด

2. นำสารละลาย KI (มีสีเหลืองหรือส้ม) 100 มิลลิลิตร เดิม 1 N H_2SO_4 3 มิลลิลิตร เพื่อ

ปรับ pH

3. นำมาไทเทรตกับสารละลาย 0.1 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จนสีเหลืองค่อยๆ หายไป

4. เติมน้ำแป้ง 1 มิลลิลิตร สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อไปจนสีน้ำเงินหายไป

5. บันทึกปริมาตรของสารละลาย 0.1 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณก๊าซไอโอดีนที่มีอยู่ระบบ

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น คือ

- การดูดซึมไอโอดีนโดยใช้สารละลาย KI



- การไทเทรตโดยใช้ 0.1 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$



3) การคำนวณหาปริมาณก๊าซไอโอดีน

O_3 1 โมล เกิด I_2 1 โมล จากนั้น $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 2 โมล ทำปฏิกิริยากับ I_2 1 โมล เพราะฉะนั้น $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ปริมาตร X มิลลิลิตร ความเข้มข้น 0.1 N จะเท่ากับ 0.1 M

จะได้เนื้อสารของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เท่ากับ $[(0.1 \text{ mol}) / 1000 \text{ mL}] \times X$ มิลลิลิตร

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 2 โมล ต้องใช้ O_3 1 โมล

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (0.1 X) / 1000 โมล ต้องใช้ O_3 0.05 X / 1000 โมล

O_3 1 โมล มีน้ำหนัก 48 กรัม

O_3 0.05 X / 1000 โมล มีน้ำหนัก 48 (0.05 X / 1000) กรัม

ดังนั้นปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้น เท่ากับ $0.0024 \times \text{กรัม}$

$$\text{O}_3 (\text{mg}) = 2.4 \times \text{ปริมาตร } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 (\text{ml})$$

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

1. ชั่งโพแทสเซียมไอโอไดด์ 1.00 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำกลั่น KIO₃ หรือ KH (IO₃)₂ ความเข้มข้น 0.1000 N 10.00 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น

ซัลไฟริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร

3. นำไปไทเทรตด้วย 0.1 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองอ่อน จากนั้นเติมน้ำแป้ง 1 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีน้ำเงิน

4. ไทเทรตจนสารละลายสีน้ำเงินหายไป บันทึกปริมาตรของสารละลาย 0.1 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

ที่ใช้

ก-2 การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดโดยใช้ TOC Analyzer

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในสารอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำหรือที่อยู่ในรูปของแข็งมีองค์ประกอบหลักต่อไปนี้

1. Sampling Introduction คือส่วนนำสารตัวอย่างเข้าไปในระบบการวิเคราะห์ ได้แก่ Loop Sampling, Syringe, Autosampler เป็นต้น

2. Reaction คือส่วนของการทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นทำการวัดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ ปฏิกิริยา Wet Oxidation และปฏิกิริยา Combustion

3. Detection หรือ Detector คือส่วนที่วัดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นหลังจากการทำปฏิกิริยาหรืออ่านค่าของความเป็นกรดที่เกิดขึ้น โดยมี Detector หลายแบบ เช่น Columetric ใช้วัดค่าความเป็นกรด หรือ Detector แบบ NDIR (Non Dispersive Infrared Detection) ใช้วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

4. Display คือส่วนรายงานผลของข้อมูลการวิเคราะห์ ซึ่งรายงานอยู่ในรูปของรายงานต่างๆ เช่น เป็นข้อมูลต่างๆ เป็นกราฟได้ เป็นต้น หรือบันทึกข้อมูลต่างๆ การวิเคราะห์หาปริมาณดีไอซีในสารตัวอย่างโดยวิธี Wet Oxidation ทำได้โดยทำให้สารตัวอย่างอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และใช้ก๊าซในโตรเจนเพื่อไล่คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นไปที่ Detector (NDIR) เพื่อการตรวจวัด โดยขั้นแรกต้องทำการไล่คาร์บอนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์คาร์บอน (IC) ออกไปก่อน โดยจะใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการออกซิไดซ์โดยใช้โซเดียมเปอร์ซัลเฟตกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการออกซิไดซ์ด้วยโซเดียมเปอร์ซัลเฟต คือ ค่าดีไอซีในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3 การวัดสีในหน่วยเอดีเอ็มไอ (APHA, 2005)

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
2. ฟิลเตอร์ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร
3. เซลล์วัดแสงที่มีช่วงแสง 10 มิลลิเมตร

2) สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางสำหรับปรับพีเอช
2. โพแทสเซียมคลอโรแพลตตินेट (K_2PtCl_6)

โพแทสเซียมคลอโรแพลตตินेट (K_2PtCl_6) จำนวน 1.246 กรัมในน้ำกลั่น เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 100 มิลลิลิตร และโคบอลต์ (II) คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) 1.000 กรัม และเจือจางจนได้ปริมาตร 1.000 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดวัดปริมาตร ซึ่งจะมีหน่วยสีเท่ากับ 500 ADMI

3) การทดลอง

1. ทำการกรองตัวอย่างน้ำ ด้วยฟิลเตอร์ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร
2. นำไปวัดค่า %T ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ดังตาราง

ที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 การวัดค่า %T ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

Coordinate No.	Wavelength (nm)		
	X	Y	Z
2	435.5	489.5	422.2
5	461.2	515.2	432.0
8	544.3	529.8	438.6
11	564.1	541.4	444.4
14	577.4	551.8	450.1
17	588.7	561.9	455.9
20	599.6	572.5	462.0
23	610.9	584.8	468.7
26	624.2	600.8	477.7
29	654.9	627.3	495.2
Factor when 10 Ordinate Used	0.09806	0.10000	0.11814

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อได้ค่า %T ของแต่ละความยาวคลื่นแล้วให้นำค่ามารวมกันในแต่ละแกน จากนั้นคูณด้วย Factor ของแกนนั้นๆ จะได้ค่าที่คูณ Factor ของแกน X, Y, Z โดยจะให้สัญลักษณ์เป็น Xs, Ys และ Zs ตามลำดับ

4. นำค่า Xs, Ys, Zs, Xc, Yc และ Zc แปลงเป็นค่าของ Munsell คือเป็น Vxs, Vys, Vzs, Vxc, Vyc และ Vzc ตามค่าของตารางของ Adam-Nickerson (Wyszecki, G. and Stiles, W.S., 2000)

5. เมื่อได้ค่าแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า DE ของแต่ละตัวจากสมการของ Bridgeman

$$DE = [(0.23 \Delta V_y)^2 + (\Delta(V_x - V_y))^2 + (0.4\Delta(V_y - V_z))^2]^{1/2}$$

โดยที่

$$\Delta V_y = V_{yc} - V_{ys}$$

$$\Delta(V_x - V_y) = (V_{xc} - V_{yc}) - (V_{xs} - V_{ys})$$

$$\Delta(V_y - V_z) = (V_{yc} - V_{zc}) - (V_{ys} - V_{zs})$$

6. นำค่า DE ที่ได้มาคำนวณหาค่า ADMI จากสมการ

$$ADMI \text{ UNIT} = \frac{(F)(DE)}{b}$$

โดยที่

F คือ ค่า Calibration Factor ที่ได้จากความชันของกราฟพล็อตกราฟของค่า ADMI กับค่า DE ของตัวอย่างสีมาตรฐาน

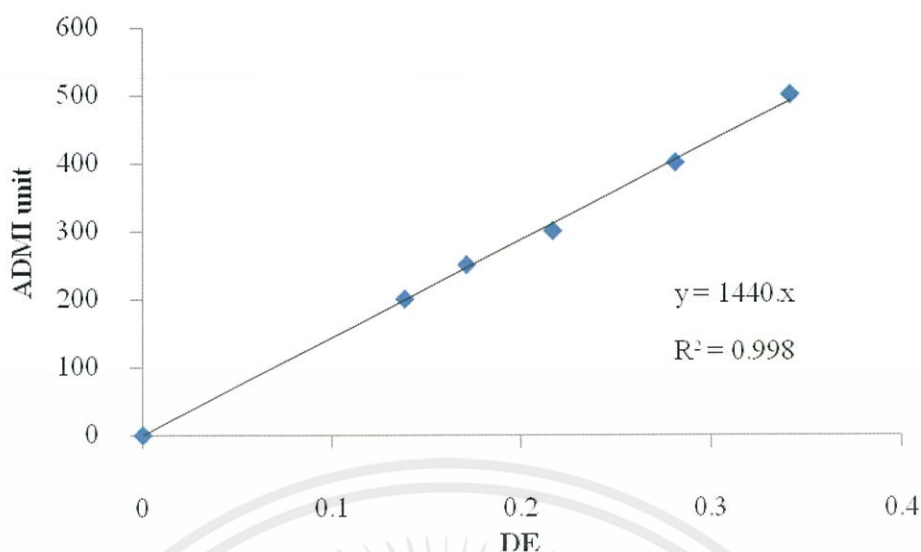
b คือ ความกว้างของเซลล์วัดแสง (cm.)

4) การคำนวณและแปลผล

1. การคำนวณ Calibration Factor (f)

เป็นการนำค่าเอดีเอ็มไอของสีมาตรฐานที่เตรียมได้มาพล็อตเทียบกับค่า DE ที่คำนวณได้ จะได้ Calibration factor (f) จากความชันของกราฟดังรูปที่ ก-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานของตัวอย่างสี่มาตรฐาน

2. ทำการวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่าน (%T) ในแต่ละความยาวคลื่นดังตารางที่ ก-1
จะได้ค่าดังตัวอย่าง

X	67.8	75.1	88.2	90.6	92.5	93.8	94.7	95.6	96.7	98.6
Y	80.8	84.7	86.5	87.9	89.0	90.3	91.8	93.3	94.7	96.9
Z	62.8	66.6	68.7	70.5	72.1	73.6	75.5	76.8	78.8	81.9

3. นำค่าที่ได้จากแต่ละแกนมารวมกัน

$$X = 67.8 + 75.1 + 88.2 + 90.6 + 92.5 + 93.8 + 94.7 + 95.6 + 96.7 + 98.6$$

$$X = 893.6$$

$$Y = 80.8 + 84.7 + 86.5 + 87.9 + 89.0 + 90.3 + 91.8 + 93.3 + 94.7 + 96.9$$

$$Y = 895.9$$

$$Z = 62.8 + 66.6 + 68.7 + 70.5 + 72.1 + 73.6 + 75.5 + 76.8 + 78.8 + 81.9$$

$$Z = 727.3$$

4. นำผลรวมที่ได้แต่ละแกนคูณกับแฟกเตอร์จากตารางที่ ก-1

$$X_s = 893.6 \times 0.09806 \quad X_s = 87.62$$

$$Y_s = 895.6 \times 0.1 \quad Y_s = 89.56$$

$$Z_s = 727.3 \times 0.11814 \quad Z_s = 85.923$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำค่า X_c, Y_c, Z_c, X_s, Y_s และ Z_s, X_c, Y_c และ Z_c ได้มาจากการนำน้ำกลั่นไปวัดและคำนวณเช่นเดียวกันกับตัวอย่าง) แปลงเป็นค่า Munsell จากตารางของ Adam-Nickerson (Wyszecki and Stiles, W.S., 2000) จะได้เป็นค่าเป็น $V_{xc}, V_{yc}, V_{zc}, V_{xs}, V_{ys}$ และ V_{zs} ตามลำดับ จะได้ $V_{xc} = 9.9, V_{yc} = 9.9, V_{zc} = 9.9, V_{xs} = 9.47, V_{ys} = 9.48$ และ $V_{zs} = 8.72$

6. นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า DE

$$DE = \{[(9.9-9.48) \times 0.23]^2 + [(9.9-9.9)-(9.47-9.48)]^2 + [0.4 \times [(9.9-9.9)-(9.48-8.72)]]^2\}^{1/2}$$

$$DE = 0.3188$$

$$ADMI = (0.3188 \times 1440) / 1 = 459.10$$

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสี

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดสี (\%)} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100$$

โดยที่ C_0 = ความเข้มสีเริ่มต้น (ADMI)

C_t = ความเข้มสีที่ถูกกำจัดในเวลาต่างๆ (ADMI)

สมมติความเข้มสีเริ่มต้นเท่ากับ 22451 ADMI

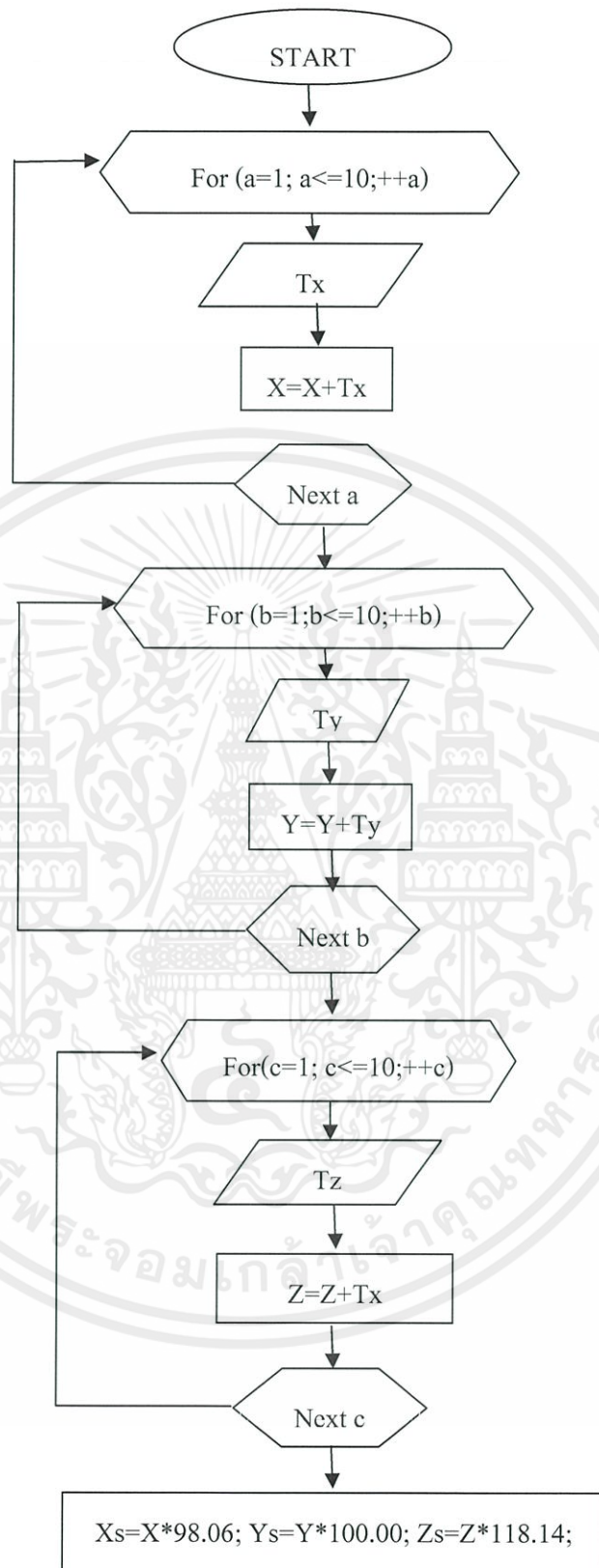
สมมติความเข้มสีที่ 10 นาที เท่ากับ 459.10 ADMI

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพการกำจัดสี (\%)} &= \frac{(22451 - 459.10)}{22451} \times 100 \\ &= 98\% \end{aligned}$$

5) การใช้โปรแกรมช่วยคำนวณค่า ADMI

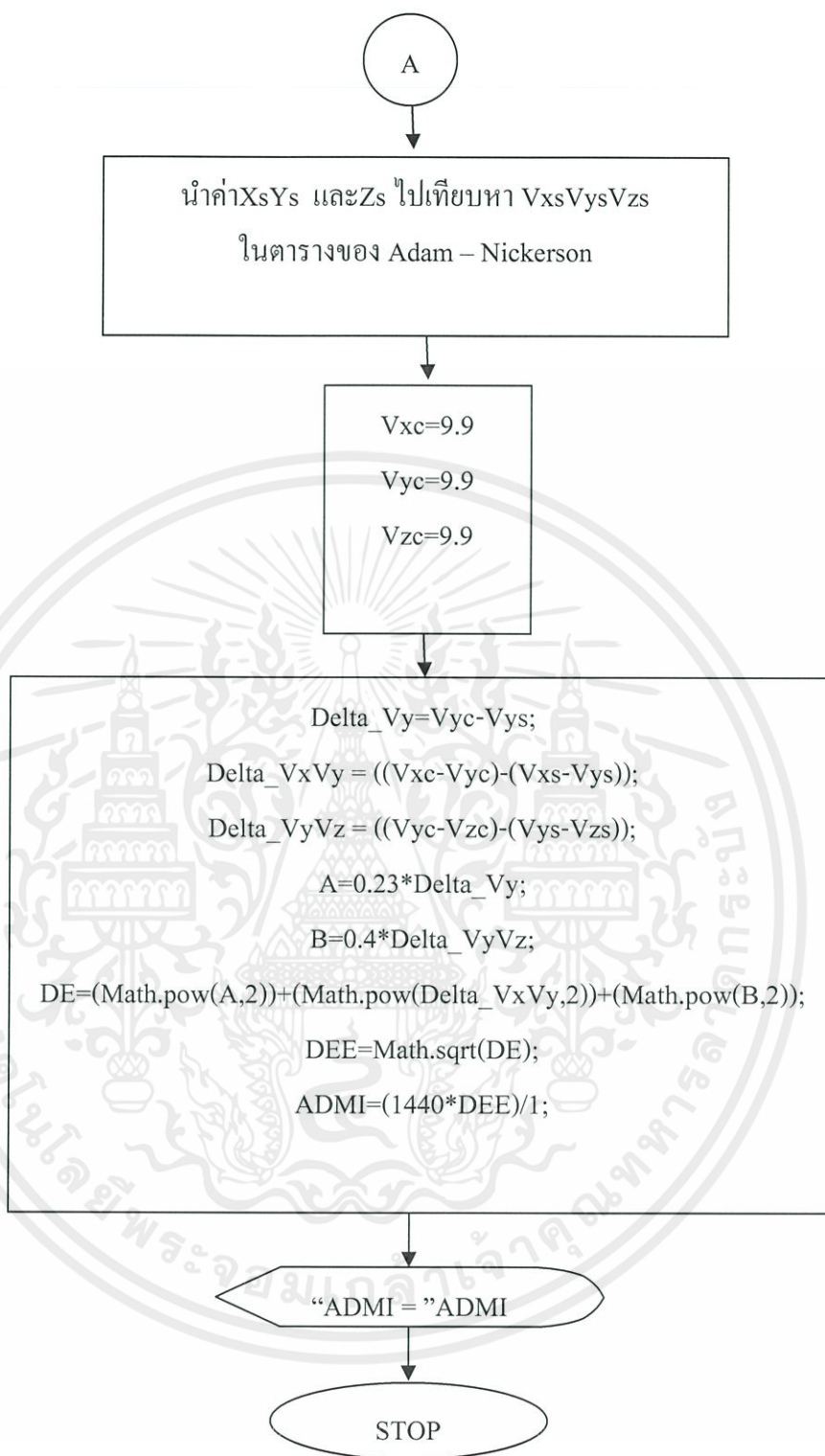
เพื่อให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการคำนวณจึงได้ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์โปรแกรมช่วยคำนวณ โดยมีวิธีการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ ก-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

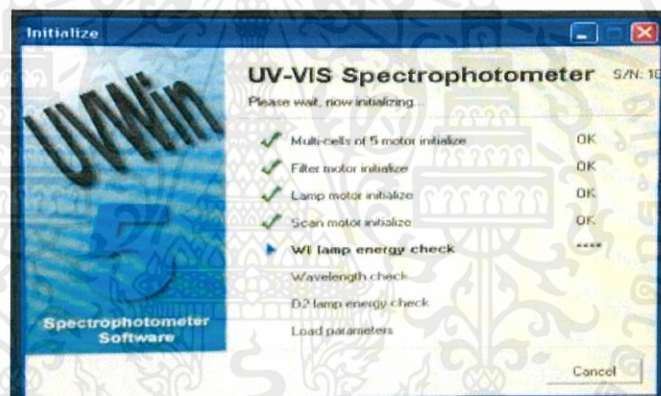
A



รูปที่ ก-2 แผนภูมิแสดงวิธีการทำงานของโปรแกรมคำนวณความเข้มสีในหน่วยเอดีเอ็มไอ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

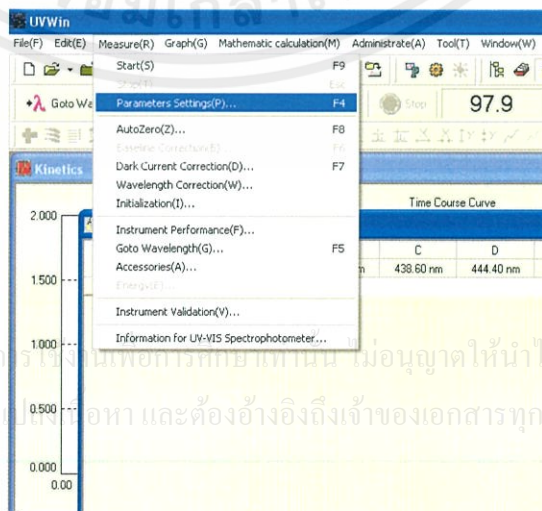
ขั้นตอนการดำเนินงานบนคอมพิวเตอร์ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เข้าโปรแกรมผ่านทางไอคอนหน้าจอ



2. ใส่ค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแต่ละโคออดิเนต จนครบทั้ง 3 แกน

2.1 เข้า Measure จากนั้นคลิกที่ Parameter Settings



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ใส่ความยาวคลื่นในช่อง Wavelength (W) ดังตาราง ก-1

Setting photometric parameters

Instrument | Accessories | Quality control
 Measurement | Simple calculation

Wavelength(W): _____ nm Add(A)

Measured wavelength(E):

Title	Wavelength(nm)

Replace(R) | Delete(D) | Clear(L)

Repeat measurement

No(N) Manual(A) Automatic(U)

Repeat times(C): 1 Time interval: 1 sec

Repeat measurement automatically according to cell number
 Calculate average value(A) Calculate SD Calculate PSD

Photometric mode(M): T% Start number(U): 1

OK Cancel Help(H)

No.	ID	Mode	A 422.20 nm	B 432.00 nm	C 438.60 nm	D 444.40 nm	E 450.10 nm	F 455.90 nm	G 462.00 nm	H 468.70 nm	I 477.70 nm	J 495.20 nm
1	1-มี.ค.	T%	67.8	75.1	88.2	90.6	92.5	93.8	94.7	95.6	96.7	98.6

แถบ x แถบ y แถบ z ADMI Database

No.	ID	Mode	A 422.20 nm	B 432.00 nm	C 438.60 nm	D 444.40 nm	E 450.10 nm	F 455.90 nm	G 462.00 nm	H 468.70 nm	I 477.70 nm	J 495.20 nm
1	1-มี.ค.	T%	80.8	84.7	86.5	87.9	89	90.3	91.8	93.3	94.7	96.9

แถบ x แถบ y แถบ z ADMI Database

No.	ID	Mode	A 422.20 nm	B 432.00 nm	C 438.60 nm	D 444.40 nm	E 450.10 nm	F 455.90 nm	G 462.00 nm	H 468.70 nm	I 477.70 nm	J 495.20 nm
1	1-มี.ค.	T%	62.8	66.6	68.7	70.5	72.1	73.6	75.5	76.8	78.8	81.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปรับพีเอชของน้ำชะมูลฝอยให้เป็น 7.6 กรองน้ำตัวอย่างด้วยฟิลเตอร์ไสเซลล์ จากนั้นวัดค่า %T ของน้ำตัวอย่าง

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
				435.50	461.20	544.30	564.10	577.40	588.70	599.60	610.90	624.20	654.90
1	No.	ID	Mode	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm
2	1	1-Feb T%		91.9	93.9	97.1	97.5	97.7	97.9	98	98.2	98.4	98.7
3	2	1-Mar T%		81.9	87.3	94.7	95.6	96	96.4	96.6	96.9	97.3	97.8
4	3	1-Apr T%		90.8	94	98	98.4	98.6	98.8	98.9	99	99.2	99.3
5	4	1-May T%		87.7	92.2	97.5	98.1	98.3	98.5	98.6	98.8	98.9	99.2
6	5	1-Jun T%		90.1	93.9	98	98.4	98.6	98.7	98.8	98.9	99	99.1
7	6	1-Jul T%		90.5	93.8	97.8	98.2	98.4	98.5	98.6	98.7	98.8	99
8	7	1-Aug T%		91.9	94.9	98.2	98.5	98.6	98.7	98.8	98.9	99	99.1
9	8	1-Sep T%		93	95.5	98.1	98.4	98.5	98.6	98.7	98.8	98.8	98.9
10	9	1-Oct T%		94	96.1	98.3	98.6	98.7	98.8	98.8	98.9	99	99.1
11	10	1-Nov T%		93.8	96.1	98.3	98.6	98.7	98.8	98.8	99	99	99.1
12	11	1-Dec T%		94.6	96.6	98.4	98.7	98.8	98.8	98.9	99	99	99.1

4. โปรแกรมจะทำการคำนวณค่า DE และค่าความเข้มข้นในหน่วยเอดีเอ็ม ใอมาให้ผ่านทางเวิร์คชีท ADMI

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Xs	Ys	Zs	Vxs	Vys	Vzs	DE	ADMI
2	40	95.49083	97.62	110.9098	9.8	9.81	9.66	0.064253	92.52479
3	35	90.28384	93.03	92.85804	9.59	9.63	9	0.262603	378.1485
4	30	91.5194	94.18	96.65033	9.64	9.67	9.14	0.22055	317.5924
5	25	92.40194	95.01	102.2029	9.67	9.71	9.35	0.15571	224.2228
6	20	92.75495	95.21	101.9312	9.69	9.71	9.34	0.155607	224.0748
7	15	93.22564	95.66	102.9826	9.71	9.73	9.38	0.146727	211.2869
8	10	93.34331	95.75	107.85	9.71	9.73	9.55	0.084337	121.446
9	5	93.85323	96.21	104.4121	9.73	9.75	9.43	0.134068	193.058
10	4	93.86303	96.42	104.7311	9.73	9.76	9.44	0.135354	194.9105
11	3	94.82402	97.1	107.0467	9.77	9.79	9.53	0.108886	156.7954
12	2	96.38317	98.62	111.7486	9.84	9.85	9.69	0.065789	94.73679

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ตารางที่ ข-1 ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอน โดยพอลิออลูมิเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ PACI (mg/L)	ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)				ค่าซีไอดี (mg/L)				
	1	2	เฉลี่ย	SD	1	2	3	เฉลี่ย	SD
0	154	156	155	1.4	1836	1836	1671	1781	94.9
300	156	152	154	2.8	1507	1753	1507	1589	142.4
500	92	88	90	2.8	1425	1589	1589	1534	94.9
700	122	116	119	4.2	1671	1753	1753	1726	47.5
900	122	126	124	2.8	1918	2082	2000	2000	82.2

ตารางที่ ข-2 ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอน เมื่อใช้พอลิออลูมิเนียมคลอไรด์ที่แปรค่าพีเอชต่างๆ

พีเอช	ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)				ค่าซีไอดี (mg/L)				
	1	2	เฉลี่ย	SD	1	2	3	เฉลี่ย	SD
0	92	96	94	2.8	1216	1299	1299	1271	48
4	94	90	92	2.8	1183	1116	1116	1139	38
5	76	66	71	7.1	1017	1083	1017	1039	38
6	100	118	109	12.7	1150	1183	1150	1161	19
7	134	120	127	9.9	1183	1183	1846	1183	383
8	120	136	128	11.3	1249	1315	1282	1282	33
9	132	146	139	9.9	1129	1192	1286	1194	79
10	180	160	170	14.1	1318	1282	1255	1282	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ภายใต้การคุ้มครองตามกฎหมาย ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ผลการศึกษาการสร้างและรวมตะกอน เมื่อใช้สารช่วยรวมตะกอน คือ แอนไอออนพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของ Anion Polymer (mg/L)	ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)				ค่าซีไอดี (mg/L)				
	1	2	เฉลี่ย	SD	1	2	3	เฉลี่ย	SD
0	88	72	80	11.3	1004	1098	1035	1046	47.9
2	90	90	90	0.0	1537	1318	1412	1422	110.2
4	50	58	54	5.7	1045	920	951	972	65.3
6	94	64	79	21.2	1098	1098	1098	1098	0.0
8	96	138	117	29.7	1098	1129	1129	1119	18.1
10	100	100	100	0.0	1320	1386	1353	1353	33.0

ตารางที่ ข-4 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังการสร้างและรวมตะกอน

ตัวอย่าง	ค่าสภาพต่าง (mg/L ในรูปของ CaCO ₃)					ค่าบีไอดี (mg/L)	BOD ₅ /COD	ค่าการนำ ไฟฟ้า (ms/cm)
	1	2	3	เฉลี่ย	SD			
น้ำเสียเริ่มต้น	5217	5360	5283	5287	71.2	240	0.0993	12.9
น้ำเสียหลังรวม ตะกอน	82	79	80	80	1.5	103	0.1060	13.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ปริมาณไอโซนและอัตราการผลิตของไอโซน

เวลา (min)	ปริมาณไอโซน (mg)					อัตราการผลิตของไอโซน (mg/min)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	
0	0	0	0	0	0.0	0.00
10	312	307.2	316.8	312	4.8	31.20
15	422.4	412.8	403.2	412.8	9.6	27.52
20	537.6	532.8	542.4	537.6	4.8	26.88
25	676.8	672	681.6	676.8	4.8	27.07
30	840	849.6	830.4	840	9.6	28.00
35	964.8	960	969.6	964.8	4.8	27.57
40	1075.2	1060.8	1089.6	1075.2	14.4	26.88
45	1123.2	1118.4	1128.0	1123.2	4.8	24.96
50	1204.8	1204.8	1209.6	1206.4	2.8	24.13

ตารางที่ ข-6 ปริมาณไอโซนที่ละลายน้ำและอัตราการละลายน้ำของไอโซน

เวลา (min)	ปริมาณ ไอโซนที่ ผลิตได้ (mg)	ปริมาณไอโซนไม่ละลายน้ำ (mg)			ค่าเฉลี่ย	SD	ปริมาณไอโซน ละลายน้ำ (mg)		อัตราการละลาย น้ำของไอโซน (mg/L-hr)
		1	2	3			mg	mg/L	
0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0
10	312	292.8	297.6	264.0	284.8	18.2	27.2	13.6	81.60
15	412.8	355.2	350.4	345.6	350.4	4.8	62.4	31.2	124.80
20	537.6	453.2	470.4	388.8	437.5	43.0	100.1	50.1	150.20
25	676.8	556.8	523.2	547.2	542.4	17.3	134.4	67.2	161.28
30	840	748.8	561.6	734.4	681.6	104.2	158.4	79.2	158.40
35	964.8	854.4	633.6	873.6	787.2	133.4	177.6	88.8	152.23
40	1075.2	964.8	705.6	964.8	878.4	149.6	196.8	98.4	147.60
45	1123.2	998.4	782.4	974.4	918.4	118.4	204.8	102.4	136.53
50	1206.4	1012.8	883.2	998.4	964.8	71.0	241.6	120.8	144.96

ตารางที่ ข-7 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการโอโซนชั้นแบบครึ่ง

เวลา สัมผัส (min)	pH 5				pH 7				pH 9				pH 11			
	ค่าซีโอดี (mg/L)	ค่าดีไอซี (mg/L)	ค่าสี (ADMI)	ค่าบีไอดี (mg/L)	ค่าซีโอดี (mg/L)	ค่าดีไอซี (mg/L)	ค่าสี (ADMI)	ค่าบีไอดี (mg/L)	ค่าซีโอดี (mg/L)	ค่าดีไอซี (mg/L)	ค่าสี (ADMI)	ค่าบีไอดี (mg/L)	ค่าซีโอดี (mg/L)	ค่าดีไอซี (mg/L)	ค่าสี (ADMI)	ค่าบีไอดี (mg/L)
0	927	238	825	103	870	256	872	97	759	216	745	79	814	215	740	76
5	883	211	378	-	702	223	397	-	607	218	452	-	748	193	544	-
10	861	209	318	-	702	214	346	-	607	212	194	-	716	185	342	-
15	861	196	224	-	632	212	228	-	599	206	153	-	656	198	263	-
20	855	204	224	-	604	200	170	-	586	199	116	-	640	201	187	-
25	828	202	211	-	575	204	138	-	569	193	106	-	618	202	146	-
30	817	190	201	-	547	196	121	-	537	197	94	-	602	181	126	-
40	662	186	193	-	519	175	106	-	532	192	78	-	564	190	97	-
50	519	175	195	-	449	178	72	-	504	179	52	-	532	193	84	-
60	530	180	157	71	435	166	58	72	472	171	57	55	542	183	73	58
75	541	179	181	-	407	160	47	-	461	180	47	-	510	174	68	-
90	538	178	178	-	407	155	43	-	439	178	29	-	504	181	73	-

ตารางที่ ข-8 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการโอโซนชั้นแบบต่อเนื่อง

ระยะเวลา (min)	ค่าซีไอดี (mg/L)		ค่าดีไอซี (mg/L)		ค่าความขุ่นสี (ADMI)		ค่าบีไอดี (mg/L)	
	Column 1	Column 2	Column 1	Column 2	Column 1	Column 2	Column 1	Column 2
0	910	936	209	197	992	976	87	103
2.5	703	936	201	197	455	872	-	-
5	662	936	202	197	322	771	-	-
10	579	936	195	216	207	798	-	-
15	538	890	185	269	172	738	-	-
20	517	807	176	215	149	755	-	-
25	497	807	177	221	138	706	-	-
30	476	786	172	224	130	705	-	-
40	476	745	162	211	118	632	-	-
50	455	724	160	260	115	475	-	-
60	455	683	160	262	107	374	78	69
75	434	641	157	202	106	309	-	-
90	455	621	154	189	106	207	-	-
105	476	600	152	257	77	191	-	-
120	455	579	147	255	84	111	81	95

ตารางที่ ข-9 ค่าการนำไฟฟ้าของการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการ โอโซนชั้นแบบครั้งและแบบต่อเนื่อง

น้ำตัวอย่าง	โอโซนชั้นแบบครั้ง (Batch Mode)				โอโซนชั้นแบบต่อเนื่อง (Continuous Mode)	
	pH 5	pH 7	pH 9	pH 11	column 1	column 2
ก่อนบำบัด	13.8	13.8	13.5	13.9	13.8	14.2
หลังบำบัด	14.0	14.5	14.0	14.0	15.6	15.4

ตารางที่ ข-10 ผลการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ (BOD₅/COD) ของการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการ โอโซนชั้นแบบครั้งและแบบต่อเนื่อง

น้ำตัวอย่าง	โอโซนชั้นแบบครั้ง (Batch Mode)				โอโซนชั้นแบบต่อเนื่อง (Continuous Mode)	
	pH 5	pH 7	pH 9	pH 11	column 1	column 2
ก่อนบำบัด	0.111	0.112	0.104	0.093	0.096	0.110
หลังบำบัด	0.134	0.166	0.117	0.107	0.178	0.164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
รูปภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอน
ร่วมกับกระบวนการไอโซเนชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รูปภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างและรวมตะกอนร่วมกับกระบวนการโอโซนเนชัน



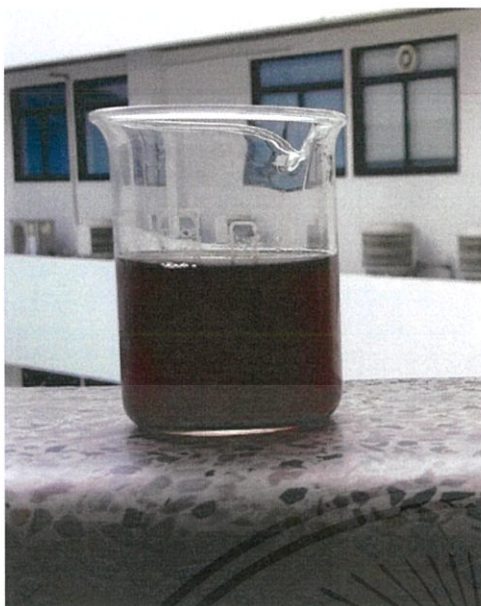
(ก)



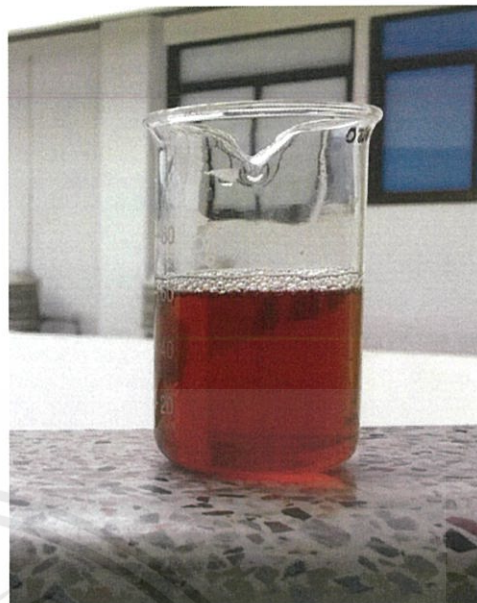
(ข)

รูปที่ ค-1 กระบวนการ โอโซนเนชัน (ก) การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยโอโซนเนชันแบบครึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (ข) การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยโอโซนเนชันแบบต่อเนื่อง
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

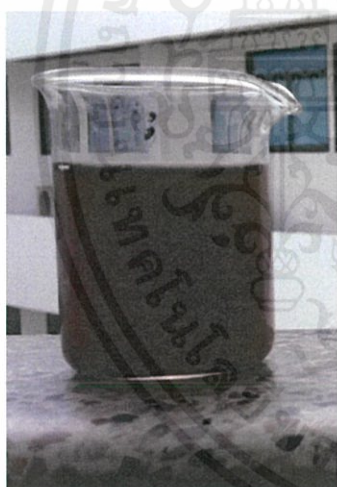


(ก)



(ข)

รูปที่ ค-2 น้ำชะมูลฝอยเริ่มต้น (ก) น้ำชะมูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ
(ข) น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ค-3 การเปรียบเทียบสีของน้ำชะมูลฝอยที่ไม่ผ่านและผ่านการบำบัดด้วยการสร้างและรวม
ตะกอนร่วมกับโอโซน (ก) น้ำชะมูลฝอยก่อนการบำบัด (ข) น้ำชะมูลฝอยหลังการสร้างและรวม
ตะกอน (ค) น้ำชะมูลฝอยหลังกระบวนการโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณ

ง-1 ปริมาณก๊าซโอโซนที่ใช้ในระบบ

- ปริมาณ โอโซนที่ผลิตได้

$$\text{โอโซนที่ผลิตได้} = 1.56 \text{ กรัมต่อชั่วโมง}$$

$$\text{อัตราการไหลของน้ำเสีย} = 2.5 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณโอโซนที่ใช้} &= \frac{1.56 \text{ กรัม} \times \text{ชั่วโมง}}{\text{ชั่วโมง} \times 2.5 \text{ ลิตร}} \\ &= 0.624 \text{ กรัมต่อลิตร} \\ &= 624 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

ง-2 อัตราการไหลของน้ำเสียที่เหมาะสม

- อัตราการไหลของบ่อบำบัด 108.15 ลิตรต่อชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลที่เหมาะสมที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์} &= \frac{\text{ปริมาณน้ำ (ลิตร)}}{\text{เวลาที่เหมาะสม (ชั่วโมง)}} \\ &= \frac{2.5 \text{ ลิตร}}{1 \text{ ชั่วโมง}} \\ &= 2.50 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้