



ความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน
กับประสิทธิภาพการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

โดย

ชเรศ ศรีสติตย์, Ph.D. (Savoie; France)

ปัทมาพร ยอดสันติ, M.Sc. (Chulalongkorn)

อนันต์ วีระณรงค์, B.Sc. (Srinakharinvirote)

โครงการวิจัยเลขที่ 155 – ENV – 2541

ทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์


คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ ๑

มกราคม 2544

จพ
วท 15
010359



สถาบันวิจัยและพัฒนาของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ไม่รับผิดชอบ
ต่อผลเสียใด ๆ อันอาจเกิดจากการนำความคิดเห็นในเอกสาร
ฉบับนี้ไปใช้ ความคิดเห็นที่ปรากฏในเอกสารเป็นความคิดเห็น
ของผู้เขียนซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นความคิดเห็นของสถาบัน ฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน
กับประสิทธิภาพการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา



โดย

ธเรศ ศรีสถิตย์, Ph.D. (Savoie; France)

ปัทมาพร ยอดสันติ, M.Sc. (Chulalongkorn)

อนันต์ วีระณรงค์, B.Sc. (Srinakarinvirote)

โครงการวิจัยเลขที่ 155 – ENV – 2541

ทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ ฯ

มกราคม 2544



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด
ในด้านการลดค่า BOD ของน้ำเสียบกับปริมาณแคลเซียม ตะกั่ว ปรอทในกากตะกอนจากโรงบำบัด
น้ำเสียบี่พระยา โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียบ (pH ความสกปรกในรูป
ของ BOD COD ประสิทธิภาพการบำบัดในด้านการลดค่า BOD ปริมาณของแข็งแขวนลอย
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณแคลเซียม ตะกั่ว และปรอทในน้ำเสียบก่อนและหลัง
บำบัด) เพื่อสร้างสมการเส้นตรงในการทำนายปริมาณแคลเซียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอน
รวมทั้งศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากตะกอน เพื่อนำกากตะกอนจากโรงบำบัด
น้ำเสียบไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม โดยการเก็บตัวอย่างน้ำเสียบจำนวน 27 ตัวอย่าง และตัวอย่าง
กากตะกอน 27 ตัวอย่าง ที่โรงบำบัดน้ำเสียบี่พระยา ทุกๆ 7 วัน ติดต่อกัน ผลการศึกษาพบว่า ที่
ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ สมการเส้นตรงที่ใช้คาดการณ์ปริมาณแคลเซียม ตะกั่ว และ
ปรอทในกากตะกอน ได้แก่ $Y_{Cd} = 0.010TDS - 3.267$ $Y_{Pb} = 0.0432 - 98.952Pb_{eff} +$
 $0.0018SS$ และ $Y_{Hg} = 0.463$ pH - 3.11 ตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้ได้เฉพาะโรงบำบัดน้ำเสียบี่พระยา
เท่านั้น ในกรณีที่ต้องการทราบค่าปริมาณโลหะหนัก (Cd, Pb และ Hg) ที่อยู่ในกากตะกอน กาก
ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียบี่พระยามีความเหมาะสมในการเกษตรกรรม เพราะมีอินทรีย์วัตถุและ
ธาตุอาหารสูงและมีโลหะหนักอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณโลหะหนักทั้งสาม (แคลเซียม 3.27 มิลลิกรัมต่อ
กิโลกรัม ตะกั่ว 1.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปรอท 0.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ชนิดในกากตะกอน
อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ในดินที่ใช้ในการเกษตรกรรมของกลุ่มประเทศในยุโรป (แคลเซียม 1.0 - 3.5
มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่ว 100 - 550 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปรอท 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่: ลพ
- 0015
เลขทะเบียน 010359
วันเดือนปี 26 ก.พ. 44

Abstract

The objective of this research is to study relationship between removal efficiency and some heavy metal contents in sludge from Sri Phraya Wastewater Treatment Plant with respect to physical and chemical properties (pH, BOD, COD, removal efficiency, SS, TDS, cadmium, lead and mercury). Multiple linear regression is used to establish correlational equation for forecasting some heavy metals contents in sludge. In order to suggestion the feasible utilization of sludge from the municipal wastewater treatment plant, therefore sludge characteristics was analyzed, eg pH, moisture content, volatile solid, ash content, heating value, sulfur, nitrogen, phosphorus, potassium, organic matter, organic carbon, cadmium, lead and mercury. Totally 27 wastewater samples and 27 sludge samples are collected from Sri Phraya Wastewater Treatment Plant in each 7 days per sample. Results shown that at P-value < 0.05 cadmium, lead and mercury contents in sludge significantly related with some physical and chemical wastewater characteristics. The correlational equations are $Y_{Cd} = 0.0101TDS - 3.267$, $Y_{Pb} = 0.0432 - 98.952Pb_{eff} + 0.0018SS$ and $Y_{Hg} = 0.4623pH - 3.11$ respectively. Sludge from Sri Phraya Wastewater Treatment Plant is considered suitable for agriculture because of high organic matter and low of some heavy metals contamination. The level of cadmium (3.27 mg/kg) lead (1.00 mg/kg) and mercury (0.51 mg/kg) contaminated in sludge is low and is in allowable level of soils criteria which declared by the European countries (cadmium 1.0 – 3.5 mg/kg, lead 100 – 550 mg/kg and mercury 0.3 mg/kg).

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความกรุณา ความช่วยเหลือ และการสนับสนุนจากหลาย ๆ ท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่อำนวยความสะดวกในการทำงานและการใช้ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่โรงพยาบาลเสี๋ยเสี๋ยที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำและกากตะกอน เจ้าหน้าที่กองวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ AAs เพื่อใช้วิเคราะห์โลหะหนัก รวมทั้งพนักงานขับรถของคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเดินทาง เพื่อการเก็บตัวอย่างน้ำและกากตะกอน จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ที่สำคัญที่ลืมไม่ได้ คือ คณะกรรมการอ่านผลงานวิจัยฉบับนี้ที่กรุณาใช้เวลาอ่านและแนะนำข้อคิดเห็นที่มีประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

		หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
	กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
	สารบัญ.....	ช
	สารบัญตาราง.....	ฅ
	สารบัญรูป.....	ฉ
	บทที่	
1	บทนำ.....	1
	1.1 ความเป็นมา.....	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
	1.3 สมมติฐาน.....	2
	1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2	ทบทวนเอกสาร.....	4
	2.1 ลักษณะน้ำเสียชุมชน.....	4
	2.2 การบำบัดน้ำเสียชุมชนของกรุงเทพมหานคร.....	6
	2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบตะกอนเร่ง.....	11
	2.4 โลหะหนัก.....	14
	2.5 กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน.....	27
3	การดำเนินการวิจัย.....	37
	3.1 ขั้นตอนการวิจัย.....	37
	3.2 การรวบรวมข้อมูล.....	37
	3.3 วิธีการวิจัย.....	37
4	ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล.....	46
	4.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียชุมชน.....	46
	4.2 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกากตะกอน.....	49

	หน้า
4.3 ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน จากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา	52
4.4 การนำสมการไปใช้	54
4.5 การจัดการกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา	55
4.6 วิเคราะห์ผลการวิจัย	57
5 สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ	60
5.1 สรุปผลการวิจัย	60
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป	61
รายการอ้างอิง	62
ภาคผนวก ก	66
ภาคผนวก ข	71

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสกปรกของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณกรุงเทพมหานคร และ 3 จังหวัด (นนทบุรี ปทุมธานี และสมุทรปราการ) ในรูปของบีโอดีตามแหล่งกำเนิดหลักปี พ.ศ. 2540	5
2.2 ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนในประเทศไทย	5
2.3 ลักษณะน้ำทิ้งจากอาคารประเภทต่าง ๆ ของชุมชนในประเทศไทย	6
2.4 ปริมาณน้ำเสียจำแนกตามประเภทผู้ใช้น้ำในเขตประปานครหลวง	7
2.5 โรงบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในความดูแลของกรมควบคุมน้ำเสีย สำนักระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2540	8
2.6 ที่มาของโลหะหนักจากน้ำเสียชุมชน โดยแยกตามประเภทของผลิตภัณฑ์	17
2.7 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักของระบบตะกอนเร่ง	25
2.8 องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	32
2.9 ข้อมูลเปรียบเทียบธาตุอาหารของปุ๋ยกับกากตะกอน	33
2.10 ปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร	34
2.11 ปริมาณโลหะหนักในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช	34
2.12 ข้อจำกัดของการนำกากตะกอน ไปทิ้งในพื้นที่ต่าง ๆ	35
2.13 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่มีได้ในกากตะกอนที่นำไปใส่ในพื้นที่ป่า	36
2.14 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมให้มีในการนำกากตะกอนไปทิ้งในพื้นที่ต่าง ๆ	36
3.1 จำนวนตัวอย่างและลักษณะสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำเสีย	40
3.2 จำนวนตัวอย่างและลักษณะสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ในตัวอย่างกากตะกอน	40
3.3 วิธีรักษาคุณสมบัติของน้ำเสียก่อนนำไปวิเคราะห์	41
3.4 วิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของน้ำเสีย	42
3.5 วิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของกากตะกอน	43

ตารางที่	หน้า
4.1	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเฉลี่ยจากโรงบำบัดน้ำเสีย สี่พระยา 47
4.2	ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสีย สี่พระยา 49
4.3	ลักษณะสมบัติของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย สี่พระยา 52
4.4	เกณฑ์สำหรับการจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน 56
4.5	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยหมัก จากมูลฝอยชุมชน 58



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของ โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา	10
2.2	แหล่งที่มาและเส้นทางของโลหะหนักสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย	16
2.3	ปรอทรูปต่าง ๆ ที่พบในอากาศ น้ำ และตะกอนหรือดิน	22
3.1	แผนผังแสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียและกากตะกอน	38
3.2	แผนผังการดำเนินงาน	39
3.3	ขั้นตอนการวิเคราะห์กากตะกอน	42



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



1.1 ความเป็นมา

คุณสมบัติสำคัญของโลหะหนักที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ คือโลหะหนักไม่สามารถย่อยสลายได้และคงทนอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน ด้วยคุณสมบัติทั้งสองข้อนี้จึงทำให้ปริมาณโลหะหนักสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเท่า ๆ กับปริมาณการใช้โลหะหนักของมนุษย์

โลหะหนักถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง ทั้งทางด้านอุตสาหกรรมและการแพทย์ ไม่เว้นแม้แต่การดำรงชีวิตประจำวันในปัจจุบันของมนุษย์ โดยมีการใช้โลหะหนักเป็นส่วนประกอบของเครื่องใช้ในการอุปโภคบริโภคต่าง ๆ เช่น เครื่องสำอาง ยา ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด ยาง พลาสติก ถ่านไฟฉาย เป็นต้น จึงมีโอกาสเป็นไปได้อย่างมากที่โลหะหนักเหล่านี้จะปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม แหล่งรองรับการปนเปื้อนของโลหะหนักที่สำคัญแหล่งหนึ่งได้แก่ น้ำทิ้งชุมชน โดยโลหะหนักอาจจะปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้ง และกากตะกอนซึ่งเกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งนั้น ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้การจัดการกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนมีความสำคัญเพิ่มขึ้นเท่า ๆ กับการจัดการน้ำเสียชุมชน มีการคาดการณ์ว่าในปีหนึ่ง ๆ กรุงเทพมหานครจะมีกากตะกอนเกิดขึ้นประมาณ 100,000 - 120,000 ตัน ปริมาณของกากตะกอนนี้จะเพิ่มขึ้นตาม จำนวนประชากรของกรุงเทพมหานครซึ่งมีประมาณ 5.6 ล้านคนในปี พ.ศ. 2541 และจำนวนโรงบำบัดน้ำเสียที่เปิดดำเนินการ 10 แห่งซึ่งอยู่ในความดูแลของกองควบคุมน้ำเสีย สำนักงานระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร (สำนักงานสถิติแห่งชาติ , 2542)

กากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชน เป็นกากตะกอนที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก ดังนั้นการกำจัดกากตะกอนซึ่งได้แก่ การเผา การนำกากตะกอนไปถมที่ หรือการนำกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น การนำมาทำปุ๋ย จึงควรคำนึงถึงความเป็นพิษของโลหะหนักเป็นสำคัญ โดยเฉพาะโลหะหนักชนิดที่ไม่จำเป็นและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท ดังนั้นถ้าสามารถทำนายปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทที่ปนเปื้อนในกากตะกอน โดยอาศัยคุณสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดได้ จะทำให้สามารถนำกากตะกอนไปกำจัดหรือนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัยมากขึ้น โดยเฉพาะกากตะกอนที่มีคุณค่าแก่การเพาะปลูกพืชหรือการนำมาใช้ประโยชน์อื่น ๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาปริมาณแคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) ในน้ำเสี้ยวและกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสี้ยวสี่พระยา
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสี้ยวกับปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอน จากโรงบำบัดน้ำเสี้ยวสี่พระยา โดยพิจารณาจากค่าความเป็นกรด - ด่าง ความสกปรกในรูปของ BOD และ COD ประสิทธิภาพการบำบัด ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอท จากน้ำเสี้ยวก่อนและหลังการบำบัด เพื่อใช้ทำนายปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสี้ยว
3. ศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีและกายภาพของกากตะกอน เพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมในอนาคต

1.3 สมมติฐาน

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสี้ยวมีความสัมพันธ์กับปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสี้ยวสี่พระยา และสามารถทำนายปริมาณโลหะหนักดังกล่าวด้วยลักษณะสมบัติของน้ำเสี้ยวที่เข้าสู่ระบบบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสี้ยวได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. หาค่าความสกปรกในรูปของ BOD และ COD ค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท ในน้ำเสี้ยวทั้งก่อนและหลังการบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสี้ยวสี่พระยา และหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสี้ยวของโรงบำบัด โดยเทียบกับค่า BOD ที่ลดลง
2. หาค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งที่ไหม้ไฟ ปริมาณเถ้า ค่าความร้อน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และปริมาณอินทรีย์วัตถุทั้งหมด ในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสี้ยวสี่พระยา
3. หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพระบบบำบัดกับปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 9.0 และใช้ตัวสถิติ regression เพื่อการทำนายการปนเปื้อนของแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียม ตะกั่ว และปรอท ในน้ำเสียบและกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา อันจะนำไปสู่การออกแบบระบบที่สามารถควบคุมปริมาณโลหะหนักให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้
2. สามารถคาดการณ์ปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนได้ โดยใช้สมการที่สร้างขึ้น เพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจใช้และการจัดการกากตะกอนในอนาคต
3. เสนอแนะวิธีการกำจัดกากตะกอน และการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ตามลักษณะสมบัติของกากตะกอนและไม่ทำลายสภาพแวดล้อม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 ลักษณะของน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียได้แก่น้ำที่ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ แล้วถูกระบายทิ้ง น้ำเสียมีสิ่งเจือปนซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โลหะหนัก หรือสารมีพิษต่าง ๆ ทำให้น้ำนั้นไม่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้อีก และประเภทของน้ำเสียที่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติมากที่สุด ได้แก่ น้ำเสียจากชุมชน ดังตารางที่ 2.1 แสดงถึงความสกปรกของน้ำในรูปบีโอดีในแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณกรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี และสมุทรปราการ ซึ่งส่วนใหญ่ความสกปรกเหล่านี้มาจากแหล่งชุมชน เท่ากับ 367,547 กิโลกรัมต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 72.6

น้ำเสียชุมชน มีแหล่งกำเนิดจากบ้านเรือน หมู่บ้านจัดสรร อาคารชุด ตลาดสด ศูนย์การค้า ภัตตาคาร โรงพยาบาล ฯลฯ น้ำเสียชุมชนมักจะปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์จากเศษอาหาร น้ำทิ้งจากการอาบน้ำและสารต่าง ๆ ที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดเสื้อผ้า รถยนต์ บ้านเรือน เช่น ผงซักฟอก สารประกอบจำพวกน้ำมันและไขมัน

ลักษณะของน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไป จะมีสีน้ำตาลเทา มีลักษณะเป็นกลาง ค่าความเป็นกรด - ด่างไม่ต่างจาก 7 มากนัก ปริมาณน้ำจริง (water content) ในน้ำเสียมีสูงมาก (99.9% หรือมากกว่า) ซึ่งหมายความว่า ค่าจำนวนของของแข็งทั้งหมดในน้ำเสียมีอยู่เพียง 0.1% หรือน้อยกว่านั้น ของแข็งเหล่านี้ประกอบด้วยเยื่อกระดาษ เศษอาหาร สบู่ ไขมันต่าง ๆ และอื่น ๆ ซึ่งรวมไปถึงสารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ได้แก่ ทราช กรวด หิน

ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของน้ำเสียชุมชนเป็นสารอินทรีย์ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ลิกนิน (เป็นสารที่ประกอบไปด้วย C, H, O ซึ่งพบในไม้ต่าง ๆ) ไขมัน สบู่ ผงซักฟอกต่าง ๆ ซึ่งจะมีทั้งชนิดที่ยากแก่การย่อยสลายทางชีววิทยา (hard detergent) และชนิดที่สามารถย่อยสลายทางชีววิทยาได้ (soft detergent) และสำหรับสารอนินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียประกอบไปด้วยเกลือ และแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น กรวด ทราช คลอไรด์ ซัลเฟต เกลือที่ละลายได้และอื่น ๆ

น้ำเสียชุมชนในแต่ละแห่งจะมีความสกปรกแตกต่างกันตามลักษณะของกิจกรรมในบริเวณนั้น ดังในตารางที่ 2.2 – 2.3 ซึ่งแสดงถึงลักษณะน้ำเสียจากอาคารประเภทต่าง ๆ จากชุมชนในประเทศไทย ซึ่งจะเห็นได้ว่า ตลาด ร้านค้า และสะพานปลา จะมีค่าความสกปรกสูงกว่ากิจกรรมประเภทอื่นๆ

ตารางที่ 2.1 ความสกปรกของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณกรุงเทพมหานคร และ 3 จังหวัด (นนทบุรี ปทุมธานี และสมุทรปราการ) ในรูปของบีโอดี ตามแหล่งกำเนิดหลักปี พ.ศ. 2540

แหล่งกำเนิด	ความสกปรกในรูปบีโอดี	
	กิโลกรัม / วัน	ร้อยละ
ชุมชน	367,547	72.6
อุตสาหกรรม	105,370	20.8
เกษตรกรรม	23,928	4.7
การค้าและการบริการ	9,574	1.9
รวม	506,420	100.0

ที่มา : สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม 2542.

ตารางที่ 2.2 ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนในประเทศไทย

ตัวชี้วัด	เทศบาลตำบล ท่าใหม่	เทศบาลเมือง จันทบุรี	เทศบาลเมือง แพร่	สุขาภิบาล ชุมแสง	เทศบาลตำบล กบินทร์บุรี
pH	8.0	7.6	7.62	6.84	-
อุณหภูมิ (°C)	27	25	-	-	-
BOD (mg/l)	90	24	78	54.60	120
COD (mg/l)	49.6	397	169	102.96	239
SS (mg/l)	24.7	1.9	416	119.50	36
TDS (mg/l)	382	1,084	414	269	-
TKN (mg/l)	47.20	45.63	-	6.44	134
NH ₃ (mg/l)	28.92	33.16	-	5.71	-
Total Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	24 x 10 ⁶	2400 x 10 ⁶	-	11 x 10 ⁶	-
Oil & Grease (mg/l)	5.4	1.4	10.4	48.7	14.8

ที่มา : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2542.

ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำทิ้งจากอาคารประเภทต่าง ๆ ของชุมชนในประเทศไทย

ประเภทอาคาร	pH	TS (mg/l)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)
สถานที่ราชการ	7.1 - 7.3	312 - 718	25 - 28	8 - 27	13.9 - 17.08
อาคารชุด	7.1 - 7.6	596 - 712	44 - 194	34 - 163	15.4 - 55
โรงแรม	7.0 - 7.8	494 - 532	16 - 84	14 - 190	8.40 - 23.0
โรงพยาบาล	7.4 - 8.0	740 - 1020	26 - 69	21 - 170	14.2 - 27.6
อาบอบนวด	6.62	-	11.7	44.6	14.0
ตลาด	6.5 - 6.7	1878 - 1973	242 - 551	487 - 1123	53.9 - 71.3
บ้านจัดสรร	7.4	-	34	38	18.1
ร้านอาหาร	5.2 - 6.5	2841 - 3670	324 - 416	919 - 2350	55.1 - 84.5
ศูนย์การค้า	7.51	732	61	81	66.8
โรงเรียน	6.8 - 7.2	588	58	94 - 106	24 - 34.3
หอพัก	7.78	-	29	75	19.2
สะพานปลา	6.1	25022	2260	6000	320

ที่มา : ไชยยุทธ์ กลิ่นสุคนธ์ 2536.

สำหรับกรุงเทพมหานคร จากการศึกษารายงานของ บริษัท โปรเกรส เทคโนโลยี คอนซัลแตนท์ ร่วมกับ บริษัท Metcalf & Eddy Internation ในปี พ.ศ.2542 ได้พบว่า ประเภทของแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดน้ำเสียมากที่สุด คือน้ำเสียจากแหล่งที่อยู่อาศัย โดยมีสัดส่วนถึงร้อยละ 54 ของปริมาณน้ำเสียทั้งหมด ส่วนตลาดสดและภัตตาคาร ถึงแม้ว่าจะก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณที่น้อยกว่า แต่มีความสกปรกมากกว่าน้ำเสียจากแหล่งที่อยู่อาศัย ดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.2 การบำบัดน้ำเสียชุมชนของกรุงเทพมหานคร

ปัจจุบันกรุงเทพมหานครได้แก้ไขปัญหาน้ำเสียจากชุมชน โดยการจัดสร้างโรงบำบัดน้ำเสียและดำเนินการบำบัดน้ำเสียทั่วกรุงเทพมหานคร เพื่อลดความสกปรกของน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา โดยมีโรงบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในความดูแลของกองควบคุมน้ำเสีย สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ทั้งสิ้น 10 แห่ง ดังแสดงในตารางที่ 2.5 โดยที่แต่ละโรงบำบัดน้ำเสียได้ทำการบำบัดน้ำเสียให้ได้มาตรฐานก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา

ตารางที่ 2.4 ปริมาณน้ำเสียจำแนกตามประเภทผู้ใช้น้ำในเขตประปานครหลวง

แหล่งกำเนิดน้ำเสีย	ปริมาณน้ำเสีย (ร้อยละ)	ค่าตัวคูณ (ปริมาณความสกปรก)	ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยต่อวัน น้ำหนัก (ร้อยละ)
ที่อยู่อาศัย	54.12	1	49.17
ราชการ รัฐวิสาหกิจ ธุรกิจ	36.50	1	33.16
โรงพยาบาล	0.84	2	1.52
โรงแรม	3.99	2	7.26
ห้างสรรพสินค้า	1.37	1	1.25
ตลาดสด	0.35	12	3.80
ภัตตาคาร	0.28	6	1.53
สถานอาบอบนวด	0.36	1	0.32
อุตสาหกรรม	2.19	1	1.99
รวม	100.00		100.00

ที่มา : บริษัท โปรเกรสเทคโนโลยีคอนซัลแตนท์ และ Metcalf & Eddy Internation , Inc. 2542.

โรงบำบัดน้ำเสียที่สำคัญแห่งหนึ่งของกรุงเทพมหานคร ได้แก่ โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยานี้ดำเนินการก่อสร้างโดยบริษัทไฮโครเทคและบริษัท เอส. ที. การช่าง ก่อสร้างเสร็จเมื่อวันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2536 ที่ตั้งของโรงงานบำบัดอยู่บริเวณปากคลองผดุงกรุงเกษม ระบบที่ใช้ในการบำบัดคือ กระบวนการตะกอนเร่งแบบสัมผัสและย่อยสลาย (Activated Sludge with Contact Stabilization) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูงสุด 30,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน รองรับพื้นที่บางส่วนของเขตสัมพันธวงศ์ ป้อมปราบศัตรูพ่าย และบางรัก คิดเป็นพื้นที่ 2.7 ตารางกิโลเมตร สำหรับประชากร 120,000 คน

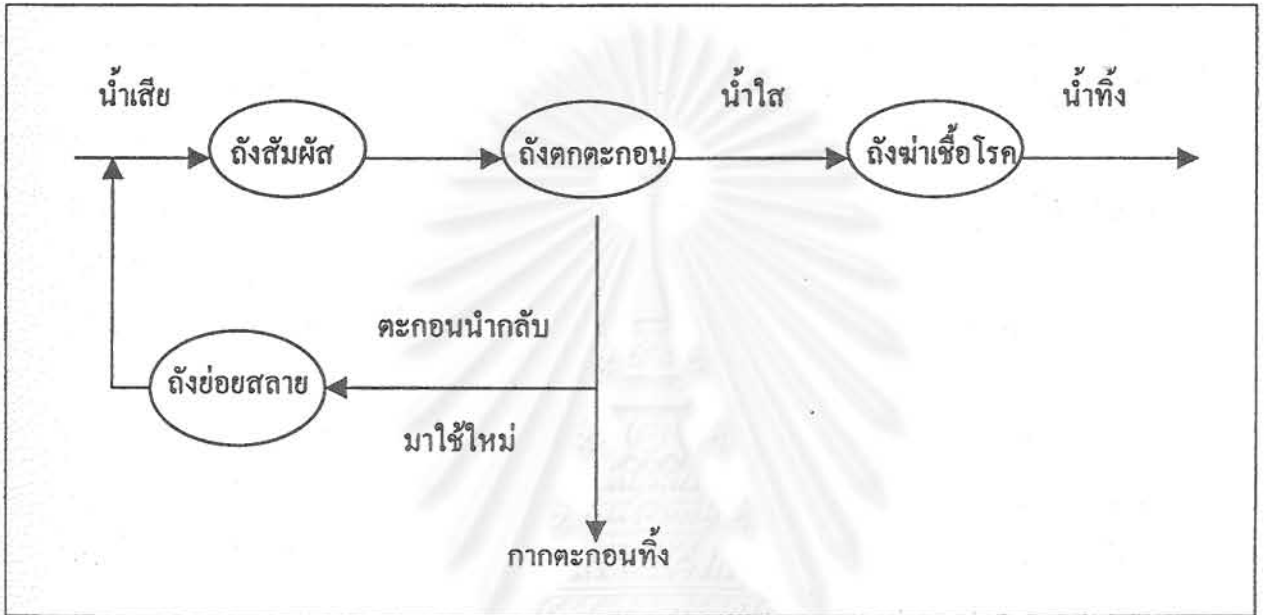
กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาเริ่มจากน้ำเสียจากแหล่งที่อยู่อาศัยจะไหลลงในท่อระบายน้ำ และไหลมารวมกันในท่อรวบรวมน้ำเสีย (interceptor) ซึ่งท่อรวบรวมน้ำเสียที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่โรงบำบัดสี่พระยานี้มี 2 สาย คือ ท่อรวบรวมน้ำเสียถนนกรุงเกษม โดยเลียบมาตามคลองผดุงกรุงเกษม อีกสายหนึ่งมาตามถนนสี่พระยา เมื่อน้ำเสียมาถึงบริเวณโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาจะต้องผ่านเครื่องดักขยะหยาบและเครื่องดักขยะละเอียด

ข้อมูลเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย	โรงบำบัดน้ำเสีย									
	อ่อนนุช	พระราม 9	พุทธมณฑลสาย 2	ห้วยขวาง	เคหะชุมชนบางนา	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง 1	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง 2	สีพระยา	เคหะชุมชนคลองจั่น	เคหะชุมชนรามอินทรา
ระบบที่ใช้	Chemical treatment	Biological treatment	Aerated lagoon	Activated Sludge	Activated Sludge	Aerated lagoon	Activated Sludge	Combined System	Activated Sludge	Activated Sludge
ที่ตั้งระบบ	ซอยอ่อนนุช 86 ถ.สุขุมวิท 77	บริเวณคลองลาดพร้าวบรรจบกับคลองแสนแสบ	คูข้างถ.พุทธมณฑลสาย 2 ตัดถนนเพชรเกษม	เคหะชุมชนห้วยขวาง	เคหะชุมชนบางนา	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง	ปากคลองผดุงกรุงเกษม	ชุมชนคลองจั่น	ชุมชนรามอินทรา
พื้นที่ระบบ	20,000 ตรม.	84,800 ตรม.	102,400 ตรม.	5,200 ตรม.	3,524 ตรม.	9,330 ตรม.	1,240 ตรม.	2,080 ตรม.	7,200 ตรม.	2,106 ตรม.
ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่โรงงาน (ลบม. / วัน)	2,400	-	2,700	1,075	350 - 550	-	-	-	4,000 - 5,000	600 - 700
ความสามารถในการบำบัด (ลบม. / วัน)	1,920	-	3,500	3,400	-	-	-	30,000	-	-
คุณภาพน้ำเสียก่อนเข้าโรงบำบัด (mg/l)										
1. pH	8.00	7.18	-	7.38	7.43	7.30	7.15	7.30	7.00	7.00
2. DO	-	-	-	-	-	0.50	0.00	-	-	-
3. BOD	310	117	103	195	128	109	164	85	140	170
4. COD	1,091	29	-	-	220	119	164	103	-	-
5. SS	-	71	-	-	82.9	55	289	90	50	57
6. TKN	-	-	-	-	34.6	31	132	-	-	-
7. NH ₃ - N	-	-	-	-	26.8	25.8	52.2	-	-	-
8. T - P	-	-	-	-	2.9	4.42	39.8	-	-	-
9. NO ₃ - N	-	-	-	-	0.2	-	5.17	-	-	-
10. NO ₂ - N	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-

ข้อมูลเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย	โรงบำบัดน้ำเสีย									
	อ่อนนุช	พระราม 9	พุทธมณฑลสาย 2	ห้วยขวาง	เคหะชุมชนบางนา	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง 1	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง 2	สีพระยา	เคหะชุมชนคลองจั่น	เคหะชุมชนรามอินทรา
ระบบที่ใช้	Chemical treatment	Biological treatment	Aerated lagoon	Activated Sludge	Activated Sludge	Aerated lagoon	Activated Sludge	Combined System	Activated Sludge	Activated Sludge
ที่ตั้งระบบ	ซอยอ่อนนุช 86 ถ.สุขุมวิท 77	บริเวณคลองลาดพร้าวรอบกับคลองแสนแสบ	ข้างอ.พุทธมณฑลสาย 2 ตัดถนนเพชรเกษม	เคหะชุมชนห้วยขวาง	เคหะชุมชนบางนา	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง	ปากคลองผดุงกรุงเกษม	ชุมชนคลองจั่น	ชุมชนรามอินทรา
พื้นที่ระบบ	20,000 ตรม.	84,800 ตรม.	102,400 ตรม.	5,200 ตรม.	3,524 ตรม.	9,330 ตรม.	1,240 ตรม.	2,080 ตรม.	7,200 ตรม.	2,106 ตรม.
ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่โรงงาน (ลบม. / วัน)	2,400	-	2,700	1,075	350 - 550	-	-	-	4,000 - 5,000	600 - 700
ความสามารถในการบำบัด (ลบม. / วัน)	1,920	-	3,500	3,400	-	-	-	30,000	-	-
คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (mg/l)										
1. pH	5.60	7.23	-	7.00	7.07	7.54	7.42	7.00	7.00	7.00
2. DO	-	3.80	3.80	-	2.00	6.40	4.20	-	-	-
3. BOD	72.00	27.00	27	14	2.00	20.00	53.00	6.00	11.00	-
4. COD	462	-	-	-	8.00	47.00	84.00	15.00	-	-
5. SS	-	-	-	-	7.00	25.00	28.00	17.00	17.00	24.00
6. TKN	-	-	-	-	26.90	26.90	30.90	-	-	-
7. NH ₃ - N	-	-	-	-	20.60	20.60	26.40	-	-	-
8. T - P	-	-	-	-	2.10	3.00	3.48	-	-	-
9. NO ₃ - N	-	-	-	-	1.40	0.30	0.67	-	-	-
10. NO ₂ - N	-	-	-	-	0.02	0.23	0.40	-	-	-

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ 2542.

หลังจากนั้นน้ำเสียจะไปรวมกันที่บ่อรวบรวมน้ำเสียซึ่งมีความจุ 900 ลูกบาศก์เมตร และภายในบ่อรวบรวมน้ำเสีย จะมีเครื่องกวนให้น้ำเสียมีคุณสมบัติทั่วกัน คุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจะมีค่า BOD ประมาณ 70 – 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอยประมาณ 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดค่า (pH) 6 – 7



รูปที่ 2.1 แผนภูมิขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

น้ำในบ่อจะถูกสูบเข้าไปในกระบวนการโดยแยกเป็น 3 สาย เพื่อทำการบำบัดในแต่ละสายจะใช้กระบวนการเหมือนกันทั้งหมด โดยขั้นตอนแรกน้ำจะเข้าสู่ถังดักกรวด – ทราย (aerated grit chamber) เพื่อแยกกรวดและทรายออกจากน้ำเสีย ในขณะที่เดียวกันจะเริ่มเติมอากาศและทำให้น้ำเกิดการปั่นป่วนในแนวตั้ง เพื่อให้กรวดทรายตกลงสู่ก้นถังที่เป็นรูปกรวย น้ำเสียจะอยู่ในขั้นตอนนี้ประมาณ 20 นาที

หลังจากนั้นน้ำเสียจะเข้าสู่ถังสัมผัส(contact tank)เพื่อให้น้ำเสียได้สัมผัสกับจุลินทรีย์เพื่อให้จุลินทรีย์ทำการดูดซับหรือดูดซึมสิ่งสกปรก เมื่อเวลาผ่านไปจุลินทรีย์จะมีน้ำหนักรวมขึ้นและพร้อมจะตกตะกอน น้ำเสียจะอยู่ในขั้นตอนนี้ประมาณ 30 นาที ต่อจากถังสัมผัส น้ำเสียจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน (clarifier tank) ลักษณะเป็นบ่อเหลี่ยมยาว ก้นบ่อทำเป็นรูปกรวยเพื่อรวบรวมตะกอน ในขั้นตอนนี้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำเสีย ทำให้เกิดเป็นชั้น 2 ชั้น คือ ชั้นตะกอนด้านล่าง ชั้นน้ำใสอยู่ด้านบน

น้ำใสที่ได้จากการตกตะกอนจะไหลล้นออกไปสู่ถังฆ่าเชื้อโรค (chlorination contact tank) โดยการเติมคลอรีนก่อนจะปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ โดยมีค่า BOD ประมาณ 4 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าสารแขวนลอยประมาณ 4-5 มิลลิกรัมต่อลิตร

บริเวณก้นถังตกตะกอนจะมีเครื่องกวาดตะกอนให้จมลงก้นถัง เพื่อแยกตะกอนออก ตะกอนส่วนหนึ่งจะส่งเข้าสู่ถังย่อยสลาย อีกส่วนหนึ่งเป็นตะกอนส่วนเกินต้องนำไปทิ้ง ความเข้มข้นของตะกอนที่ก้นถังนี้มีประมาณ 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเสียใช้เวลาอยู่ในชั้นตอนนี้ประมาณ 4 ชั่วโมง ในส่วนตะกอนที่นำกลับมาใช้ใหม่ จะถูกส่งเข้าสู่ถังย่อยสลาย (stabilization tank) 4 ชั้นตอนต่อถึงกัน ภายในแต่ละชั้นต้องมีหัวจ่ายอากาศ เพื่อให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์ สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายไปเรื่อย ๆ จากชั้นที่ 1 ไปจนชั้นที่ 4 กินเวลารวม 4 ชั่วโมงครึ่ง ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ในถังนี้มีปริมาณ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำกลับเข้าไปใช้ในกระบวนการใหม่ โดยเข้าไปสู่ถังสัมผัส

ตะกอนอีกส่วนหนึ่งเป็นตะกอนส่วนเกิน จะต้องส่งเข้าถังเพิ่มความเข้มข้นของตะกอน (sludge thickener tank) ภายในถังนี้จะเติมสารพอลิเมอร์ประเภทประจุบวก เพื่อช่วยให้ตะกอนจับตัวตกลงมาได้ง่ายขึ้น หลังจากนั้นก็สูบตะกอนไปสู่ถังเก็บและย่อยตะกอน (sludge storage tank) และปล่อยให้มีการย่อยสลายอีกครั้ง ตะกอนในช่วงนี้จะมีลักษณะเหลวเหมือนเลน ชั้นตอนต่อมาคือการรีดตะกอนเหลว ๆ ให้มีลักษณะเป็นกึ่งของแข็งกึ่งของเหลวเหมือนดินเหนียว วิธีการคือส่งผ่านเข้าไปในเครื่องรีดตะกอน (sludge dewatering machine) ที่มีลักษณะเป็นสายพานบีบตะกอนไล่น้ำออก เมื่อป้อนเข้าไป น้ำจะซึมผ่านสายพานออกไป ส่วนตัวตะกอนจะตกค้างอยู่ ชั้นนี้มีการใช้พอลิเมอร์ตัวเดิมเพื่อช่วยในการจับตัวของตะกอนด้วย ตะกอนที่ได้คือ กากตะกอน (sludge cake) เป็นตะกอน

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบตะกอนเร่ง

โรงบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในความดูแลของกองควบคุมน้ำเสีย สำนักงานระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ส่วนใหญ่เป็นระบบตะกอนเร่งซึ่งการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบตะกอนเร่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสารอินทรีย์ในน้ำให้มากที่สุดในช่วงเวลาอันสั้นโดยวิธีทางชีววิทยา ซึ่งโดยทั่วไปกระบวนการนี้จะมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงถึงร้อยละ 90 และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะสามารถทิ้งลงแหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม แต่มีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบเช่นกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบทำงานได้ลดลง ได้แก่

1. ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบตะกอนเร่ง ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำที่ออกจากระบบขุ่น และมีค่าสารอินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออยู่สูง หรืออาจจะเกิดขึ้นในทำนองตรงกันข้าม คือ มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ (มีอาหารน้อย) จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็ก ๆ ตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนขุ่น

2. อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งนำมาใช้เป็นพลังงาน ปกติแร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียชุมชน แต่อาจจะไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างก้อนตะกอนเติบโตได้ไม่ดี จนทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใยเจริญเติบโตได้ดีมากกว่า ซึ่งจะทำการก้อนตะกอนที่เกิดขึ้นตกตะกอนได้ยากและเกิดเป็นชั้นอัดขึ้นมาสูงในถังตกตะกอน และอาจไหลล้นออกมากับน้ำทิ้ง จนระบบไม่สามารถทำงานได้ต่อไป นอกจากนั้น การที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญเติบโตได้ไม่ดี จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่าง ๆ ของระบบต่ำลงอีกด้วย

3. ออกซิเจนที่ละลายน้ำ

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูง จุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็ต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนั้น ที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอึดตัวต่ำ จึงทำให้ต้องใช้ออกซิเจนมาก เมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูง ในทำนองกลับกัน หากอุณหภูมิต่ำ ก็จะทำให้มีความต้องการการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

4. ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเดิมอากาศ จะต้องมีมากพอเพียงที่ จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ หากมีระยะเวลาดำเนินไปสารอินทรีย์ที่ย่อยสลาย ยาก ๆ จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มีค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก

สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนก็เช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้การตกตะกอนเกิดขึ้นไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปก็จะทำให้ก้อนตะกอนขาดออกซิเจนและเน่าได้

5. ค่าพีเอช

ค่าพีเอช (pH) เป็นค่าแสดงความเป็นกรด - ด่าง ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ถือว่า เป็นกลาง ถ้าน้อยกว่า 7 ถือว่าเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 ถือว่าเป็นด่าง

แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชระหว่าง 6.5 - 8.5 ถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 ว่าจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงและก้อนตะกอนจะตกตะกอนได้ไม่ดี ส่วนที่ค่าพีเอชสูงก็จะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกมาจากน้ำและจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีเช่นกัน แต่ถ้าพีเอชมีค่าต่ำมากหรือสูงมากจุลินทรีย์ก็จะตาย ไม่สามารถดำรงชีวิตต่อไปได้

6. สารเป็นพิษ

สารเป็นพิษแบ่งออกได้เป็นสองจำพวก คือ แบบพิษเฉียบพลัน ซึ่งจุลินทรีย์ จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง และแบบพิษออกฤทธิ์ช้า ซึ่งใช้เวลานานและค่อย ๆ ตาย

พิษเฉียบพลันสามารถสังเกตดูได้ง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็ว สารพิษ จำพวกนี้ได้แก่ ไซยาไนด์ อาร์เซนิก เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และโลหะ หนักต่าง ๆ จุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด นอกจากนั้นอาจจะ เกิดจากสารอินทรีย์ก็ได้ เช่น แอมโมเนียซึ่งมีความเข้มข้นสูงเกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น

7. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ใน กระบวนการตะกอนเร่ง โดยทั่ว ๆ ไปการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10°C จะทำให้จุลินทรีย์เจริญ เติบโตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิประมาณ 37°C จากนั้นอุณหภูมิจะร้อนเกินไป จนจุลินทรีย์ เจริญเติบโตน้อยลงอย่างรวดเร็ว

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิยังมีผลต่อการทำงานในถังตกตะกอนชั้นสอง โดยพบว่าหากอุณหภูมิต่ำตะกอนจะตกได้ดีกว่าอุณหภูมิสูง และถ้าอุณหภูมิในถังตกตะกอนมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันเกิน 2°C จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำเนื่องจากมีความหนาแน่นแตกต่างกัน เรียกว่า density current

สำหรับในประเทศไทย อุณหภูมิในฤดูร้อนและฤดูหนาวไม่แตกต่างกันมากนัก อุณหภูมิจึงไม่มีความสำคัญมากนักต่อการทำงานของระบบตะกอนเร่ง

8. การกวน

ภายในถังเดิมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัด โดยใช้เป็นอาหารและลดสารอินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้งจะได้จับตัวกันเป็นก้อนตะกอนที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจรและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูง การกวนที่สมบูรณ์ในถังเดิมอากาศ จะต้องมีค่า MLSS และค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอทั่วถึง

9. อัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งมาเข้าระบบบำบัดมีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยาและในถังตกตะกอน หากน้ำเสียมีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น จนทำให้มีระยะเวลาในการบำบัดน้อยลง มีค่าสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการตกตะกอนในถังตกตะกอนชั้นที่สองลดลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงด้วย ส่วนอัตราการไหลที่น้อยเกินไปก็มีผลเสียเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้มีการส่งน้ำเสียเข้ามาบำบัดอย่างสม่ำเสมอ ในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบเอาไว้ เช่น อาจจะทำเป็นบ่อพักเก็บกัก เป็นต้น

2.4 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 - 92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งหมด 68 ธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความเป็นมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางด้านเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์

(organometallic compound) ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร โลหะเหล่านี้จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ ผักและผลไม้ จากนั้น จะเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้ ตัวอย่างของโลหะหนักที่สำคัญในน้ำเสีย ชุมชน เช่น อลูมิเนียม แคลเซียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่วปรอท สังกะสี เป็นต้น

2.4.1 โลหะหนักในน้ำเสียชุมชน

โลหะหนักที่พบในน้ำเสียก่อนบำบัด ขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย เช่น ตำแหน่งที่ตั้ง ของโรงบำบัดน้ำเสีย ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย ลักษณะน้ำเสียจากแต่ละชุมชน

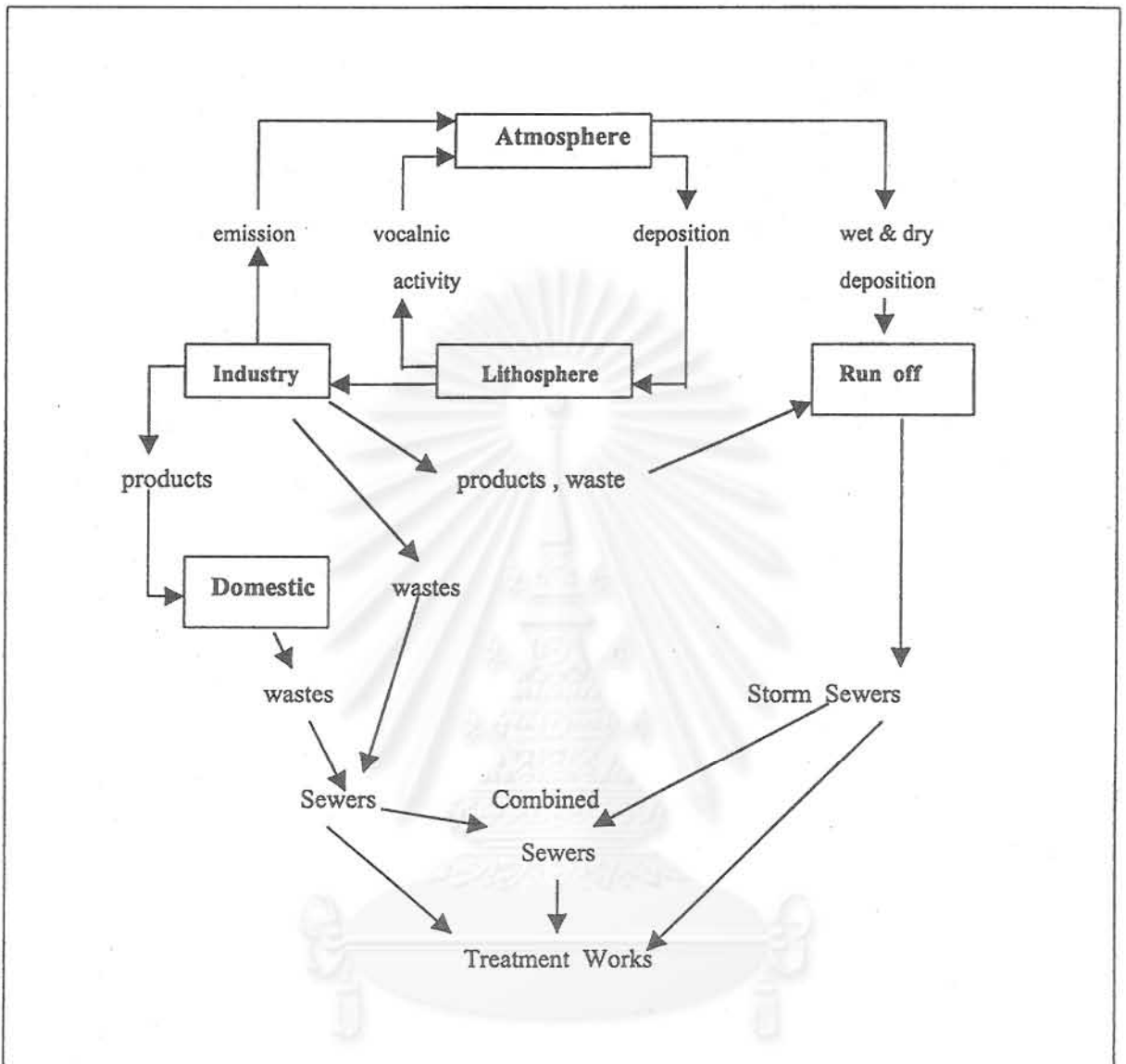
แหล่งของโลหะหนักที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย สามารถจำแนกได้ 5 ประเภท คือ น้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม การไหลบ่า บรรยากาศ และพื้นดิน โดยน้ำเสียจากชุมชนและ อุตสาหกรรมเป็นแหล่งของโลหะหนักที่สำคัญที่สุด โดยรูปที่ 2.2 แสดงถึงแหล่งที่มาที่สำคัญและ เส้นทางผ่านของโลหะหนักสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

โลหะหนักที่ปรากฏในน้ำเสียชุมชนมาจากพื้นที่ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัย และรวมถึงการ บริการต่าง ๆ เช่น ร้านซ่อมเครื่องยนต์ อู่ซ่อมรถ ร้านอาหาร ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ การอาบน้ำ แปรงฟัน สระผม การทำความสะอาดต่าง ๆ โดยในกิจกรรมต่าง ๆ นั้นต้องเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่มีโลหะหนักเป็นส่วนผสมทั้งสิ้น ดังในตารางที่ 2.6 ซึ่งแสดงที่มาของโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนตามประเภทของผลิตภัณฑ์

2.4.1.1 แคลเซียม

แคลเซียมเป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม II B ของตารางพีริออดิก เช่นเดียวกับ สังกะสีและปรอท และเป็นโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว มีคุณสมบัติเบา อ่อน ดัดงอได้ง่าย และทนต่อการกัดกร่อน

แคลเซียมเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก และละลาย ได้ในกรดไฮโดรคลอริกอย่างช้า ๆ สารประกอบของแคลเซียม เช่น cadmium sulfate ($CdSO_4$) , cadmium chloride ($CdCl_2$) และ cadmium nitrate ($Cd(NO_3)_2$) เป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและละลาย



รูปที่ 2.2 แหล่งที่มาและเส้นทางของโลหะหนักสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย
ที่มา : Lester 1987.

น้ำได้ดี นอกจากนี้แคดเมียมสามารถรวมกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะเมื่อรวมกับ cyanides และ amines

ปฏิกิริยาทางเคมีของแคดเมียมในแหล่งน้ำ

1) การแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำ (Hydrolysis)

แคดเมียมตามแหล่งน้ำในธรรมชาติ มีอยู่ด้วยกันหลายรูป เช่น ในรูปของไอออน สารประกอบของโลหะ - อนินทรีย์ หรือโลหะ - อินทรีย์ แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ divalent cadmium ion และปัจจัยสำคัญที่ทำให้แคดเมียมอยู่ในรูปอื่น คือ pH และ

ตารางที่ 2.6 ที่มาของโลหะหนักจากน้ำเสียชุมชน โดยแยกตามประเภทของผลิตภัณฑ์

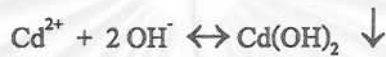
โลหะหนัก	Al	Sb	As	Be	Bi	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Pb	Mn	Hg	Mo	Ni	Se	Ag	Sn	Ti	Zn
ผลิตภัณฑ์																				
ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด	X						X		X	X									X	X
เครื่องสำอาง	X			X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
น้ำยาฆ่าเชื้อ													X							
เครื่องมือคัปลึง	X						X			X										X
เชือกเพลิง				X					X		X									
ยางฆ่าแมลง	X		X			X	X		X	X	X	X	X	X						X
น้ำหมัก	X								X											X
น้ำมันเครื่อง				X			X				X			X						X
ยา	X	X	X		X			X	X	X										X
น้ำมัน				X					X		X									X
ขี้ผึ้ง	X				X			X	X				X							X
สีทาบ้าน	X		X	X			X	X		X	X	X	X						X	X
อุปกรณ์การถ่ายรูป	X						X			X	X		X				X	X		
วัตถุที่ทำให้เกิดสี	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X
น้ำยาซักผ้า	X			X					X								X		X	X
แป้ง	X									X										X
สารกันบูด										X	X									X

ที่มา : Atkins and Hawley 1978.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณสารอินทรีย์ เนื่องจากอิออนของแคดเมียมจะรวมตัวเป็นสารประกอบกับสารหรืออิออนอื่น ๆ ที่อยู่ในน้ำตามลำดับก่อนหลังในแง่ของการจับตัว คือ $\text{humic acid} > \text{CO}_3^{2-} > \text{OH}^- \geq \text{Cl}^- \geq \text{SO}_4^{2-}$

ในการเปลี่ยนแปลงรูปโดยปฏิกิริยาของน้ำ แคดเมียมจะรวมตัวเป็นสารประกอบกับ hydroxyl group (OH^-) เช่น CdOH^+ , $\text{Cd}(\text{OH})_2$, $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$ และ $\text{Cd}(\text{OH})_3^{2-}$ แคดเมียมที่ละลายน้ำเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของอิออนบวกที่มีวาเลนซ์ 2 แต่เมื่อน้ำมี pH สูงขึ้น (pH มากกว่า 9) แคดเมียมจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ คือ $\text{Cd}(\text{OH})_2$ โดยปฏิกิริยาข้างล่างนี้



2) การรวมตัว (Sorption)

ในกระบวนการรวมตัว โดยที่แคดเมียมติดอยู่กับผิวของเกลือแร่ หรือ hydrous metal oxides หรือสารอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นการขจัดเอาแคดเมียมออกมาได้มากกว่าการทำให้ตกตะกอน ปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการรวมตัวคือ ค่า pH กล่าวคือ ในสถานะที่เป็นค่า การรวมตัวจะเพิ่มมากขึ้น และเมื่อ pH ลดลงต่ำกว่า 6 หรือ 7 จะทำให้แคดเมียมที่รวมตัวอยู่บนสารเหล่านั้นหลุดออกมา

3) การระเหยเป็นไอ (Evaporation)

แคดเมียมจากแหล่งน้ำไม่สามารถระเหยกลายเป็นไอเพื่อทำปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นรูปอื่นซึ่งแตกต่างไปจากปรอท ทั้ง ๆ ที่แคดเมียมอยู่ลดลงมาในคอลัมน์เดียวกันของตารางพีริออดิก ดังนั้นปฏิกิริยาเคมีจึงคล้ายคลึงกัน แต่ปฏิกิริยาทางชีวะ เช่น การเกิดเมทิลเลชันของแคดเมียมกลับไม่เกิดขึ้น

4) การเปลี่ยนไปโดยปฏิกิริยาของออกซิเจน (Oxidation)

เมื่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมากขึ้น ค่า pH จะลดลง มีผลทำให้มีแคดเมียมละลายในน้ำเพิ่มขึ้น โดยอยู่ในรูปของ hydrated divalent cations, soluble Cl^- และ SO_4^{2-}

2.4.1.2 ตะกั่ว

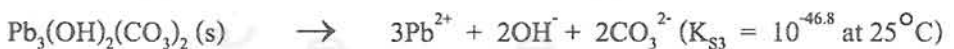
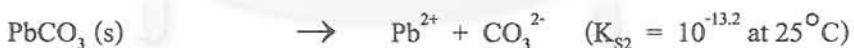
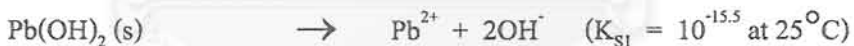
ตะกั่วเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่ง เป็นที่อยู่ในหมู่ IV A ของตารางพีริออดิก ในสภาวะปกติมีสถานะเป็นของแข็ง สีเงินปนเทา มีจุดหลอมเหลวต่ำและมีจุดเดือดสูงพอสมควร จัดเป็นโลหะหนักที่มีความอ่อนตัวค่อนข้างสูง มีความสามารถในการนำไฟฟ้าไม่ดี และสามารถผสมกับโลหะต่าง ๆ เป็นโลหะผสมได้หลายชนิด ตะกั่วไม่ละลายในน้ำ แต่สามารถละลายได้ในกรดไนตริก และกรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ร้อน

ตะกั่วที่พบทั่วไปในแหล่งน้ำจะสะสมอยู่ในรูปของแข็ง ได้แก่ สารแขวนลอยและตะกอน หรืออาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ เช่น สารประกอบโมเลกุลชนิดต่าง ๆ หรือไอออนอิสระ โดยสามารถจำแนกรูปแบบของตะกั่วในน้ำได้เป็น 3 รูปแบบ คือ ตะกั่วที่ละลายน้ำได้ คอลลอยด์ของตะกั่ว และอนุภาคของตะกั่ว

ปฏิกิริยาทางเคมีของตะกั่วในแหล่งน้ำ

1) การละลาย (Solubility)

สารประกอบตะกั่ว 3 ชนิดที่อยู่ในน้ำ สามารถแตกตัวเป็นไอออนดัง
สมการ



ตะกั่วไอออน (Pb^{2+}) มีแนวโน้มจะเกิดไอออนคู่ เช่น PbHCO_3^+ และ PbCO_3^0 รูปแบบเหล่านี้จะไปลดความเข้มข้นของตะกั่วไอออน (Pb^{2+}) และสมดุลจะเลื่อนไปทางขวา ตะกั่วจึงละลายน้ำได้มากขึ้น และตะกั่วสามารถละลายได้มากขึ้นอีก เมื่อสารประกอบอินทรีย์เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับตะกั่วไอออน (Pb^{2+})

ตะกั่วคาร์บอเนตที่อยู่ในดินตะกอนในแหล่งน้ำธรรมชาติ สามารถหาปริมาณของตะกั่วได้จากสมดุลการละลาย ถ้าตะกั่วที่อยู่ในน้ำเป็นตะกั่วคาร์บอเนต หรือ ตะกั่วไฮดรอกไซด์แล้วการลด pH ของน้ำลง จะทำให้ตะกั่วอยู่ในรูปที่ละลายน้ำมากขึ้น

2) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) สามารถเคลื่อนย้ายตะกั่วออกจากสารละลายไปยังสารแขวนลอยได้และได้มีการศึกษาพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนของ ตะกั่วในแหล่งน้ำ พบว่าสัดส่วนการแลกเปลี่ยนไอออนนอกจากจะขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำแล้ว ยังขึ้นอยู่กับ competing cation เช่น Ca^{2+} , Na^+ ด้วย

3) การดูดซับ (Adsorption)

ในสภาวะที่มีออกซิเจน ตะกั่วส่วนใหญ่จะถูกดูดซับอยู่บนสารแขวนลอย และในดินตะกอน ส่วนที่จมลงจะเกิดจากคอลลอยด์ของ hydrous ferric และ manganese oxide กระบวนการดูดซับนี้จะเป็นไปอย่างรวดเร็วและไม่สามารถผันกลับได้ นอกจากนั้นจะเกิดเพิ่มมากขึ้นเมื่อ pH ของน้ำสูงขึ้น แต่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน hydrous ferric และ manganese oxide จะลดลงและทำให้ตะกั่วละลายได้มากขึ้น

4) การตกตะกอนทางเคมี (Precipitation)

การตกตะกอนของตะกั่วเป็นเกลือตะกั่วที่ละลายน้ำได้น้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนลบ (anion) และ pH โดย pH ที่ตะกั่วตกตะกอนที่ดีมีค่าอยู่ในช่วง 9.2–9.5

2.4.1.3 ปรอท

ปรอทเป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม II B ของตารางพีริออดิก มีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้เล็กน้อย ระเหิดได้

สารปรอทในธรรมชาติมีปรากฏอยู่ในรูปของธาตุซึ่งปกติปนอยู่ในสินแร่ดิน หิน น้ำ ตลอดจนสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ สารประกอบของปรอทสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) สารปรอทอินทรีย์ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

ก. กลุ่มเอริลเมอร์คิวรี (Arylmercury) เป็นกลุ่มที่มีความคงทนอยู่ในธรรมชาติ

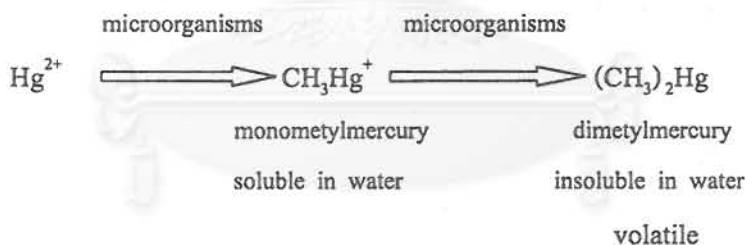
ข. กลุ่มอัลคิลเมอร์คิวรี (Alkylmercury) เป็นกลุ่มที่มีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิต และมีพิษมากกว่ากลุ่มเอริลเมอร์คิวรี

2) สารปรอทอนินทรีย์ มักอยู่ในรูปของธาตุปรอท (elemental mercury : Hg^0) สารประกอบของเมอร์คิวรัสไอออน (mercurous ion : Hg^+) หรือ เมอร์คิวริกไอออน (mercuric ion : Hg^{2+})

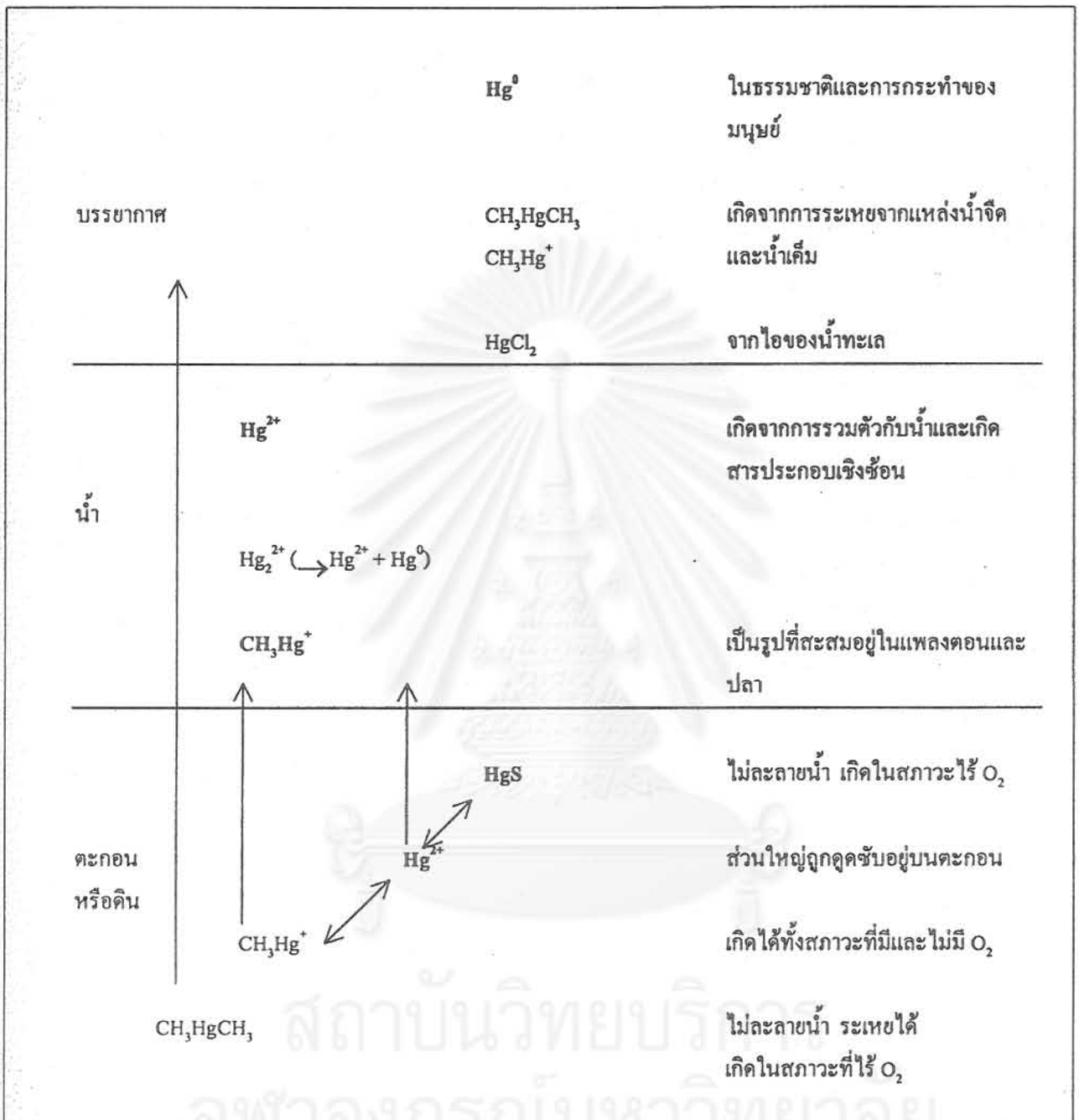
ในแหล่งน้ำปรอทสามารถอยู่ในรูปต่าง ๆ ได้ และสามารถเปลี่ยนไปมาตามเงื่อนไขของสภาวะแวดล้อม ปรอทที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำส่วนใหญ่อยู่ในรูปต่าง ๆ ดังนี้

- 1) inorganic divalent mercury : Hg^{2+}
- 2) metallic mercury : Hg^0
- 3) phenylmercury : $C_6H_5Hg^+$
- 4) methylmercury : CH_3Hg^+
- 5) alkoxy-alkylmercury : $CH_3O-CH_2-CH_2-Hg^+$

ปัญหาสำคัญในระบบนิเวศน์เมื่อมีสารปรอทตกค้าง คือ จุลินทรีย์บางชนิดสามารถเปลี่ยน Hg^{2+} ให้เป็น CH_3Hg^+ ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ ที่เรียกว่ากระบวนการเมทิลเลชัน (methylation) ดังปฏิกิริยาข้างล่างนี้



จากกระบวนการเมทิลเลชันจุลินทรีย์ทำการเปลี่ยน Hg^{2+} ให้เป็น CH_3Hg^+ ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี และจากนั้นจุลินทรีย์ได้เปลี่ยน CH_3Hg^+ ให้เป็น $(CH_3)_2Hg$ โดยมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำและสามารถระเหยได้ ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเมทิลเลชัน คือ ค่า pH ถ้า น้ำมี pH สูงจะมีการสร้าง $(CH_3)_2Hg$ มากขึ้นซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณปรอทในบรรยากาศ แต่ถ้า pH ในน้ำต่ำ CH_3Hg^+ จะถูกสร้างมากขึ้น นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังก่อให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายของปรอทในดินหรือตะกอน น้ำ และอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



ที่มา : O'Neill 1990,1991.

หมายเหตุ ตัวพิมพ์หนาแสดงถึงรูปของปรอทที่พบมากในแต่ละภูมิภาค

รูปที่ 2.3 ปรอทรูปต่าง ๆ ที่พบในอากาศ น้ำ และตะกอนหรือดิน

2.4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักของระบบตะกอนเร่ง

การกำจัดโลหะหนักในกระบวนการบำบัดแบบตะกอนเร่ง เกิดขึ้นเนื่องจากการดูดซับโลหะหนักของกลุ่มแบคทีเรียและจุลินทรีย์ต่าง ๆ ภายในระบบตะกอนเร่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ดั่งปฏิกิริยา และดังตกตะกอน ในดังปฏิกิริยาจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่ใช้ ออกซิเจน และจะออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่อยู่ในสภาพที่ละลายน้ำและแขวนลอย ให้เปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เซลล์จุลินทรีย์ใหม่ และทำให้น้ำสะอาดขึ้น โดยแบคทีเรียและจุลินทรีย์จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ในลักษณะที่เรียกว่า ฟลอคคูเลชัน (flocculation) ต่อจากนั้นกลุ่มของแบคทีเรียและจุลินทรีย์ที่ดูดซับสารอินทรีย์ไว้แล้วจะผ่านเข้าสู่ดังตกตะกอน และถูกแยกออกจากน้ำโดยการตกตะกอน แล้วถูกนำกลับสู่ดังปฏิกิริยาอีกครั้ง น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ สารอินทรีย์หรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ถูกดูดซับหรือดูดซึม โดยกลุ่มของแบคทีเรียและจุลินทรีย์จะถูกกำจัดออกจากน้ำโดยผ่านกระบวนการบำบัดนี้ กระบวนการที่สารอินทรีย์ถูกดูดซึมหรือดูดซับโดยจุลินทรีย์ที่รวมเป็นกลุ่ม และการตกตะกอนนี้ เป็นกระบวนการที่สำคัญในการกำจัดโลหะหนักของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Lester , 1987) โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนและการรวมเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์และแบคทีเรีย เช่น ปริมาณน้ำเสีย องค์ประกอบของอาหารเสริมที่ใส่ลงไป (Kiff, 1978) การกวน และค่า Sludge Volume Index (SVI) (Magara , Numbo และ Utosowa , 1976)

Forstner (1976) ได้อธิบายการรวมตัวและการตกผลึกของโลหะหนักในระบบทางชีวภาพว่า จากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นโมเลกุลเล็ก ๆ แล้วโมเลกุลเล็ก ๆ นี้จะรวมตัวกับอนุภาคโลหะหนักเป็นสารประกอบโลหะหนักได้ดีและผลจากปฏิกิริยาชีวเคมีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระบบ เช่น pH สูงขึ้น โลหะหนักจะตกตะกอนได้มากขึ้น

Alabaster and Lloyd (1980) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการตกตะกอนของสารประกอบจำพวกคาร์บอนेट ซัลเฟต คลอไรด์ และไฮดรอกไซด์ของแคลเซียม ในน้ำเสียพบว่า ในช่วง pH ที่สูงขึ้นคือระหว่าง 8.5 – 11 แคลเซียมคาร์บอนेटจะตกตะกอนลงมากที่สุด และพบว่าประสิทธิภาพกำจัดแคลเซียมขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากแคลเซียมส่วนที่ละลายน้ำได้จะถูกดูดซับไปบนของแข็งหรืออนุภาคของสารอินทรีย์

Demayo et al. (1982) ศึกษาถึงความสามารถในการละลายของตะกั่วในน้ำที่ค่า pH ต่าง ๆ กัน พบว่า ที่ค่า pH สูงกว่า 6 ตะกั่วจะละลายได้น้อยลง ตะกั่วส่วนที่ไม่ละลายจะตกตะกอน และถูกดูดซับ โดยของแข็งแขวนลอย

นอกจากสภาพทางกายภาพที่มีผลต่อการกำจัด โลหะหนักในระบบตะกอนเร่งแล้วยังมีแบคทีเรียที่สร้างแคปซูลบางพวกสร้างสารที่ช่วยในการยึดเกาะอนุภาคของโลหะหนัก (Brown and Lester, 1979) ทำให้อนุภาคของโลหะหนักแยกออกจากน้ำเสีย และ Yamada et al (1959), Magos et al (1964) พบว่ามีจุลินทรีย์บางชนิด เช่น *Clostridium cochlearium* สามารถเปลี่ยนปรอทในรูป Hg^{2+} ให้เป็น monomethylmercury (CH_3Hg^+) ซึ่งละลายในน้ำ และ dimethylmercury ($(CH_3)_2Hg$) ซึ่งไม่ละลายในน้ำ แต่ปรอททั้งสองรูปนี้สามารถระเหยสู่บรรยากาศได้

นอกจากปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้นแล้ว ประสิทธิภาพการกำจัด โลหะหนักในระบบตะกอนเร่ง ยังแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะหนัก ดังแสดงในตารางที่ 2.7 ซึ่งเป็นการศึกษา ประสิทธิภาพการกำจัด โลหะหนักจากระบบตะกอนเร่งในสถานที่ต่าง ๆ และในลักษณะต่างกัน ได้แก่ ระบบบำบัดที่ดำเนินการจริง (full - scale works) ระบบบำบัดที่ใช้ทดสอบโดยเฉพาะ (pilot plants) และระบบบำบัดที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ (laboratory simulation) โดยผลการทดลองพบว่า โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียม จะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักที่เข้าสู่ระบบบำบัดกับประสิทธิภาพการกำจัด แต่สำหรับแบเรียมและนิกเกิล ประสิทธิภาพการกำจัด โลหะหนักจะลดลงเมื่อ ความเข้มข้นที่เข้าสู่ระบบบำบัดเพิ่มขึ้น

2.4.3 ผลกระทบของโลหะหนักต่อระบบตะกอนเร่ง

โลหะหนักที่ปนเปื้อนในระบบตะกอนเร่ง จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียและยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารอินทรีย์ มีหลายวิธีที่ใช้วัดความเป็นพิษของโลหะหนักต่อแบคทีเรียในระบบ ได้แก่ การดูดซึมกลูโคสของกากตะกอน การลดลงของค่า BOD การลดลงของค่า COD ความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบ

ผลกระทบของความเป็นพิษของโลหะหนักที่แสดงต่อแบคทีเรียในระบบตะกอนเร่ง มีหลายรูปแบบ เช่น การเปลี่ยนแปลงกลุ่มของจุลินทรีย์ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่น้อยลง โดยวัดจากการใช้ออกซิเจน เช่น วานาเดียมซึ่งมีความเข้มข้น 20 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลให้การใช้ออกซิเจนลดลงและประชากรของจุลินทรีย์เริ่มเปลี่ยนไป และที่ความเข้มข้นมากกว่า 80

ตารางที่ 2.7 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักของระบบตะกอนเร่ง

โลหะหนัก	ปริมาณของโลหะหนักที่ ออกจากระบบ ($\mu\text{g/l}$)	ช่วงของประสิทธิภาพการ กำจัด (%)	ประสิทธิภาพการกำจัด เฉลี่ย (%)
อลูมิเนียม (Aluminium)			
● FS	500 – 1750	70 – 98	92
● PP	250 – 350		51
บิสมัท (Bismuth)			
● LS	3	57 – 79	70
แคดเมียม (Cadmium)			
● FS	0 – 120	0 – 100	46
● PP	4 – 44		52
● LS	4 – 12	42 – 88	53
โครเมียม (Chromium)			
● FS	10 – 38000	0 – 99	63
● PP	31 – 47000	5 – 65	46
● LS	20 – 120	10 – 95	64
โคบอลต์ (Cobalt)			
● LS	17 – 79	< 0 – 17	14
ทองแดง (Copper)			
● FS	0 – 160	0 – 98	65
● PP	23 – 25000	75 – 79	63
● LS	106 – 54500	0 – 92	53
เหล็ก (Iron)			
● FS	457 – 2950	87 – 98	86
ตะกั่ว (Lead)			
● FS	10 – 1100	0 – 100	63
● PP	4 – 95		64
● LS	37 – 25500	< 0 – 99	45



ตารางที่ 2.7 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักของระบบตะกอนเร่ง (ต่อ)

โลหะหนัก	ปริมาณของโลหะหนัก ที่ออกจากระบบ ($\mu\text{g/l}$)	ช่วงของประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ประสิทธิภาพการกำจัด เฉลี่ย (%)
แมงกานีส (Manganese)			
● FS	20 – 100	25 – 31	17
● PP	67		25
● LS	89 – 101	0 – 17	5
ปรอท (Mercury)			
● FS	0.2 – 9	68 – 100	62
● PP	0.5 -1		69
โมลิบดีนัม (Molybdenum)			
● LS	11 – 15	< 0 – 93	33
นิกเกิล (Nickel)			
● FS	20 – 1600	0 – 100	28
● PP	77 – 10000		21
● LS	96 – 25300	0 – 65	24
เงิน (Silver)			
● PP	< 5		44
● LS	< 5 – 10	< 0 – 94	55
ทอลเลียม (Thallium)			
● LS	4	0 – 28	12
สังกะสี (Zinc)			
● FS	180 – 8940	0 – 99	55
● PP	275 - 20000	74 – 96	62
● LS	382 - 680	0 - 52	33

ที่มา : Lester 1987.

หมายเหตุ FS : Full – Scale works , PP : Pilot Plants , LS : Laboratory Simulation

มิลลิกรัมต่อลิตร จุลินทรีย์พวกโรติเฟอร์จะตายไป และจะมีโปรโตซัวที่มีชีวิตเกิดขึ้นแทนในจำนวนมาก และที่ความเข้มข้นที่ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร โปรโตซัวพวกที่มีแฟลกเจลลาจะเพิ่มขึ้น และจะเหลืออยู่ในปริมาณที่สูงจนถึงขั้นสุดการทดลอง (Kunz et al, 1976)

ทองแดงและปรอท ที่เป็นพิษในระบบตะกอนเร่งจะมีผลทำให้จุลินทรีย์ในระบบมีความหลากหลายน้อยลง ก่อให้เกิดความไม่เสถียร และทำให้ความยืดหยุ่นของระบบลดลง จึงทำให้การมีอยู่หรือการหายไปของจุลินทรีย์บางชนิดสามารถชี้ถึงระดับความเป็นพิษของโลหะหนักได้ (Singleton and Gothric, 1977)

สังกะสี แคลเซียม และปรอท ที่ถูกเติมลงไปในระบบ ที่ความเข้มข้น 0 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้การรวมตัวเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์น้อยลง โดยวัดจากปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบ (Neufeld, 1976)

2.5 กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา เป็นกระบวนการที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายประเภท หลักของการบำบัดน้ำเสีย คือ การแยกเอาส่วนของเสียต่างๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำออกมา แล้วปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำ ส่วนของเสียที่ถูกแยกออกมา เรียกว่า กากตะกอน โดยกากตะกอนนี้สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. กากตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ กากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงงานผลิตเบตเตอรี โรงงานอุตสาหกรรมเคมี ที่มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต และ/หรือ ในการชะล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์
2. กากตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ กากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน การปศุสัตว์ หรือโรงงานแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิธีทางชีวภาพในการบำบัด

กากตะกอนเหล่านั้นมีสภาพไม่คงตัว ถ้าทิ้งลงในแหล่งน้ำหรือพื้นดิน จะยังคงย่อยสลายได้อีก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการบำบัดกากตะกอน จนได้กากตะกอนที่มีสภาพที่ไม่ย่อยสลาย จึงนำไปกำจัดด้วยวิธีต่างๆ ต่อไป

2.5.1 ที่มาของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ที่มาของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน คือ น้ำเสียจากแหล่งชุมชน ซึ่งจำเป็นต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำต่อไป และในกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ว่าจะโดยวิธีการใด ย่อมจะมีกากตะกอนเกิดขึ้นเสมอ จึงกล่าวได้ว่าต้นกำเนิดของกากตะกอนก็ คือ สิ่งต่าง ๆ เช่น ของแข็ง สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ เกลือแร่ต่าง ๆ ตลอดจนจุลินทรีย์หลายชนิด

โดยทั่วไปปริมาณของแข็งในน้ำเสียอยู่ในช่วง 500 - 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งประมาณ 25 % มีอยู่ในน้ำประปาเค็ม และ 75 % เพิ่มมาจากชุมชน ปริมาณของแข็งแขวนลอยจะมีประมาณหนึ่งในสามของของแข็งทั้งหมด และประมาณหนึ่งในสามถึงหนึ่งในสองของของแข็งแขวนลอยนี้ มีขนาดของอนุภาค และความถ่วงจำเพาะ ที่จะทำให้ตัวมันแยกออกมาจากของเหลวเมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ของแข็งที่ตกตะกอนลงมาเองได้นี้เรียกว่า settleable solids และส่วนที่ไม่สามารถตกตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้ เรียกว่า Nonsettleable Solids สำหรับของแข็งในน้ำที่สามารถผ่านกระดาษกรองจะประกอบด้วยของแข็งที่ละลายน้ำได้ และคอลลอยด์ (สมใจ กาญจนวงศ์, 2535)

กากตะกอนได้จากขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียบางขั้นตอน โดยทั่วไปการบำบัดน้ำเสีย แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้ คือ

1. ขั้นตอนเตรียมการก่อนบำบัด เป็นขั้นตอนที่ต้องการคัดแปลงหรือปรับปรุงสภาพน้ำทิ้งให้เหมาะสมกับการบำบัดในลำดับต่อไป อาศัยกระบวนการทางกายภาพเป็นส่วนใหญ่ คือ แยกสิ่งแขวนลอยขนาดใหญ่โดยอาศัยตะแกรงกักเอาไว้ คูม้อตราการไหลให้มีอัตราค่อนข้างสม่ำเสมอ และแยกน้ำมันหรือไขมันออกจากน้ำ สำหรับในขั้นแรกนี้ยังไม่มีตะกอนเกิดขึ้น จะมีก็เพียงสิ่งแขวนลอยขนาดใหญ่ที่ถูกแยกออกมา

2. การบำบัดขั้นต้น เป็นการทำให้ของแข็งส่วนที่ตกตะกอนได้ให้แยกตัวออกจากน้ำ โดยอาศัยการตกตะกอน โดยแรงโน้มถ่วงในตกตะกอนในถังตกตะกอน และการบำบัดขั้นต้นนี้มุ่งให้สารส่วนที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ ตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นต้น สำหรับสารส่วนที่จุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ได้ ได้แก่ วัตถุประเภทกรด ทราบ หิน เมล็ดผลไม้ เศษกระดูก จะถูกแยกให้ตกตะกอนในถังอีกใบหนึ่ง การบำบัดในขั้นนี้อาศัยกระบวนการทางเคมีแทน เช่น การทำให้

เป็นกลาง (neutralization) การสังเคราะห์แก๊สตะกอนและการรวมตะกอน (coagulation and flocculation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสารที่มีขนาดเล็กมากซึ่งละลายอยู่ในน้ำ และไม่สามารถตกตะกอนได้ ถูกทำให้เป็นกลางจนเกิดตะกอนเบาเล็ก ๆ ซึ่งสามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนจนสามารถตกตะกอนโดยน้ำหนักของตัวเอง

3. การบำบัดขั้นที่สอง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นยังมีความสกปรกในสภาพของสารอินทรีย์ (soluble organics) จึงต้องเปลี่ยนสารละลายอินทรีย์ให้กลายเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ และนำเซลล์เหล่านั้นไปแยกออกจากน้ำโดยการตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นที่สอง การบำบัดขั้นที่สองจึงอาศัยกระบวนการทางชีวภาพเป็นหลัก และระบบที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ระบบเลี้ยงตะกอน (activated sludge) ระบบลานกรอง (trickling filters หรือ biofilter) ระบบคลองวงเวียน (oxidation ditch) ระบบบ่อเติมอากาศ (aerated lagoons) และระบบบ่อกดตัว (stabilization ponds)

4. การบำบัดขั้นสุดท้าย โดยทั่วไปถือว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองแล้วจะมีค่าความสกปรกต่ำ และสามารถปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำได้ การบำบัดในขั้นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ เช่น ฟีนอล ดีเทอร์เจนต์ สารเร่งการเจริญเติบโตของพืชน้ำ เช่น ไนเตรท ฟอสเฟต คลอโรเจนสี โลหะต่าง ๆ ของแข็งแขวนลอย (suspended solids) ซึ่งก่อให้เกิดความขุ่น (ศุภฤกษ์ สีนสุพรรณ , 2526)

กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียมักเกิดขึ้นจากขั้นตอนการบำบัดขั้นต้นและการบำบัดขั้นที่สอง และจะต้องนำมาบำบัดต่อไป เพราะถือว่าเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะ ถ้าไม่ได้ผ่านการบำบัดก่อนนำไปทิ้ง เพราะกากตะกอนเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นตะกอนอินทรีย์ (organic sludge) ที่ได้จากถังตกตะกอนขั้นต้น และขั้นที่สองซึ่งยังมีสภาพไม่คงตัว

การบำบัดกากตะกอนมีขั้นตอนหลักอยู่ 2 ขั้นตอน คือ

1. ลดส่วนที่เป็นน้ำ (water content) ที่มีอยู่ในกากตะกอนเพื่อให้กากตะกอนมีความแน่นมากขึ้น ถ้าการลดส่วนที่เป็นน้ำทำในขั้นตอนก่อนการนำกากตะกอนเข้าสู่กระบวนการบำบัด เรียกว่า concentration หรือ thickening แต่ถ้าทำการลดส่วนที่เป็นน้ำหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว เรียกว่า dewatering ส่วนสาเหตุที่จำเป็นต้องทำการลดส่วนที่เป็นน้ำ ได้แก่

- 1) เมื่อกากตะกอนมีน้ำคือน้อยลง ปริมาตรของกากตะกอนจะน้อยลงด้วย จึงทำให้สะดวกและประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งกากตะกอนเพื่อนำไปกำจัด
- 2) ในงานดักกวาดหรือเคลื่อนย้ายกากตะกอนที่มีปริมาณน้ำน้อย จะดำเนินการได้ง่ายกว่ากากตะกอนที่มีปริมาณน้ำมากกว่า
- 3) กากตะกอนที่จะนำเข้าเตาเผา ควรที่จะมีปริมาณน้ำน้อยที่สุดในกากตะกอน ทั้งนี้เพื่อลดการใช้พลังงานในการเผา
- 4) ในการหมักทำปุ๋ย ควรที่จะเตรียมกากตะกอนให้มีลักษณะค่อนข้างแห้ง ซึ่งจะเหมาะสมกับการนำไปกองเพื่อทำการหมักทำปุ๋ยต่อไป
- 5) กากตะกอนที่มีปริมาณน้ำน้อยจะมีกลิ่นน้อยกว่า กากตะกอนที่เปียก
- 6) กากตะกอนที่จะนำไปฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล ถ้าเป็นกากตะกอนที่ค่อนข้างแห้งอยู่แล้วจะเกิดปัญหาน้ำในกากตะกอนซึมลงได้คือน้อยลง

2. เปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์ของกากตะกอนให้อยู่ในสภาวะคงตัว คือ ไม่มีการย่อยสลายอีกต่อไป โดยอาศัยการย่อยสลายซึ่งแบ่งเป็นการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (anaerobic digestion) ซึ่งใช้กันเป็นส่วนใหญ่ และการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (aerobic digestion) (สุภฤกษ์ สิ้นสุพรรณ , 2526)

2.5.2 องค์ประกอบของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนอยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว (semi – solids) มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ หากยังอยู่ในรูปที่ไม่คงตัวจะมีกลิ่นเหม็น มีก๊าซและความร้อนจากการย่อยสลายกากตะกอนของจุลินทรีย์ องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจะขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเสีย ซึ่งจริง ๆ แล้วองค์ประกอบของกากตะกอน ก็คือองค์ประกอบของน้ำเสีย โดยองค์ประกอบบางอย่างก็สามารถถูกกำจัดหรือทำให้มีปริมาณน้อยลงไปในช่วงขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย แต่องค์ประกอบบางอย่างก็ไม่สามารถถูกกำจัดไปได้หมด หรือบางครั้งอาจมีความเข้มข้นในกากตะกอนสูงกว่าในน้ำเสียก็ได้

องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอน นอกจากขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเสียแล้วยังขึ้นกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียและกระบวนการบำบัดกากตะกอน ซึ่งโดยทั่วไปองค์ประกอบของกากตะกอนแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม (ศิริณี ศิริสุขโขดม , 2535) คือ

1. ธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และจุลธาตุอาหารพืช ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี
2. สารโลหะหนัก สารอินทรีย์เคมี จุลินทรีย์และหนอนพยาธิต่าง ๆ

ดังการศึกษาอรรถธรรม ศิริรัตนพิริยะ (2529) ศิราณี ศิริสุขโขดม (2535) อรรถพร หอมจันทร์ (2535) กัลยา สุนทรวงศ์สกุล (2537) ได้รายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง การเคหะแห่งชาติ และจิมรัฐดา วัดคำ และปวีณา ด้านกุล (2540) ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.8

2.5.3 การจัดการกากตะกอน

กากตะกอนมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็น สารประกอบเชิงซ้อน โลหะหนักเกลือของโลหะต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งที่เป็นประโยชน์และโทษต่อระบบนิเวศน์ ในด้านที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ สามารถปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น มีแร่ธาตุที่เป็นอาหารของพืช ส่วนในด้านที่เป็นโทษคือ กากตะกอนที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ที่สามารถสะสมในดิน และแพร่กระจายสู่ระบบนิเวศน์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการและวางแผนที่ดีเพื่อป้องกันการเกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

การจัดการกากตะกอนที่ผ่านการบำบัดแล้วมีหลายรูปแบบ ได้แก่

1. การนำไปทิ้งบนพื้นดิน (land dumping)
2. นำไปถมพื้นที่โดยตะกอนอยู่ในรูปตะกอนแห้ง (landfill)
3. การเผา (incineration)
4. การหมักทำปุ๋ย (composting)

โดยการจะเลือกวิธีการจัดการแบบใดต้องคำนึงถึง องค์ประกอบของกากตะกอน ความสมดุลของระบบนิเวศน์ ผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม รวมถึงค่าใช้จ่าย ความเหมาะสมในแต่ละประเทศ และที่สำคัญที่สุดต้องคำนึงถึงความปลอดภัย และการยอมรับของประชาชน

วิธีการกำจัดกากตะกอนโดยการเผา เป็นวิธีที่มีความสะดวกในการจัดการ เนื่องจากสามารถทำให้ ณ จุดกำเนิดของกากตะกอน แต่มีต้นทุนในการจัดการสูงกว่าวิธีอื่น ๆ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากโดยเฉพาะมลภาวะทางอากาศ

ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

องค์ประกอบ	โรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง การเคหะแห่งชาติ				โรงบำบัดน้ำเสียสะพาน
	อรชร (2529)	ศิริ (2535)	อรชร (2535)	กัลยา (2537)	จันทรา และ ปวีณา (2540)
พีเอช	7.00	7.00	6.62	6.44	6.80
อินทรีย์คาร์บอน	30.40 %	12.27 %	16.07 %	17.70 %	1.1364 %
อินทรีย์วัตถุ	52.29 %	21.16 %	27.64 %	30.44 %	1.9592 %
ไนโตรเจนทั้งหมด	2.87 mg/kg	1.92 mg/kg	1.98 mg/kg	1.82 mg/kg	0.0495 %
แอมโมเนียไนโตรเจน	800 mg/kg	1158 mg/kg	889.13 mg/kg	-	-
ไนเตรทไนโตรเจน	636 mg/kg	308 mg/kg	47.51 mg/kg	-	-
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	-	-	-	-	-
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	167.75 mg/kg	245.83 mg/kg	295.50 mg/kg	-	640 ppm
โพแทสเซียม	-	-	-	-	-
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	690 mg/kg	440 mg/kg	310 mg/kg	-	1787.5 ppm
โซเดียม	-	-	-	-	-
เหล็ก	16176.7 mg/kg	576 mg/kg	14179.17 mg/kg	39.91	-
อลูมิเนียม	-	-	-	-	-
แมงกานีส	126 mg/kg ^A	246 mg/kg ^B	43 mg/kg ^B	17.24 mg/kg ^B	-
ทองแดง	55 mg/kg ^A	28.6 mg/kg ^B	1.22 mg/kg ^B	25.60 mg/kg ^B	-
สังกะสี	500 mg/kg ^A	850 mg/kg ^B	910 mg/kg ^B	530 mg/kg ^B	-
ตะกั่ว	3.54 mg/kg ^A	4 mg/kg ^B	0.56 mg/kg ^B	0.89 mg/kg ^B	-
แคดเมียม	0.24 mg/kg ^A	0.50 mg/kg ^B	0.20 mg/kg ^B	0.84 mg/kg ^B	-
นิกเกิล	4.40 mg/kg ^A	7.54 mg/kg ^B	12.82 mg/kg ^B	13.18 mg/kg ^B	-
โครเมียม	2070 mg/kg ^A	-	-	-	-
ปรอท	1100 mg/kg ^A	-	-	-	-

หมายเหตุ : 1) – หมายถึง ไม่มีการรายงาน

2) A หมายถึง ปริมาณ โลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน ส่วน B หมายถึง ปริมาณ โลหะหนักที่ถูกสกัดด้วย 0.005M DTPA

สำหรับประเทศไทย วิธีการกำจัดกากตะกอนที่เหมาะสม คือ การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เนื่องจากกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียกรุงเทพมหานคร มีศักยภาพความเป็นปุ๋ย และประเทศไทยเองก็มีความเหมาะสม เนื่องจาก มีสภาพภูมิศาสตร์ที่มีอุณหภูมิสูง มีแสงแดดจ้าตลอดปี ซึ่งเป็นผลดีต่อการลดปัญหาเรื่องพยาธิวิทยาของกากตะกอน อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในกากตะกอนว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่

2.5.4 การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การนำกากตะกอน จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมีความน่าสนใจ มีความเป็นไปได้ กลุ่มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีอื่น ๆ และส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อย (Webber et al., 1984) กากตะกอนมีคุณสมบัติในการเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และปริมาณอินทรีย์วัตถุ ซึ่งมีอยู่มากในกากตะกอน ร่วมกับความสามารถในการสลายตัวของกากตะกอน ทำให้กากตะกอนนั้น มีศักยภาพในความเป็นปุ๋ยสูง ดังในตารางที่ 2.9 เป็นการเปรียบเทียบธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยทั่ว ๆ ไปกับกากตะกอน จะเห็นได้ว่ากากตะกอนมีธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณที่มากพอสมควรเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยโดยทั่วไป

ตารางที่ 2.9 ข้อมูลเปรียบเทียบธาตุอาหารของปุ๋ยกับกากตะกอน

	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โพแทสเซียม (%)
ปุ๋ยทั่วไป	5	10	10
กากตะกอน	3.3	2.3	0.3

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์ 2539.

ความเสี่ยงในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรนั้นสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ (Webber et al., 1984) คือ

1. ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นชั่วคราว ได้แก่ กลิ่นรบกวนของกากตะกอน การปนเปื้อนของจุลินทรีย์และพยาธิที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของโรค การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากไนเตรทไนโตรเจน
2. ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นถาวร ได้แก่ การเพิ่มการสะสมโลหะหนักในดิน ในพืช และห่วงโซ่อาหาร แต่ความเสี่ยงนี้สามารถป้องกันได้ โดยการเติมกากตะกอนในปริมาณที่

เหมาะสม เพื่อให้ปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐาน และไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ดังตารางที่ 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.10 ปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร

ประเทศที่กำหนด	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)							
	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd	Hg
อังกฤษ	500	280	140	500	35	550	3.5	0.3
เยอรมัน	-	300	100	-	50	100	3.0	-
ฝรั่งเศส	-	300	100	-	50	100	2.0	-
เนเธอร์แลนด์	-	100	50	-	20	100	1.0	-
ช่วงของทั้ง 4 ประเทศ	500	100-280	50-140	500	20-50	100-550	1.0-3.5	0.3

ที่มา : Webber et al. 1984 ; Oosthoek and Vam 1986,1987 ; Bardos , Hardly and Kendle 1992.

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่มีการรายงาน

ตารางที่ 2.11 ปริมาณโลหะหนักในพืช ณ ระดับปกติและระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ระดับปกติ	ระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช
แมงกานีส (Mn)	15 – 150	400 – 2,000
สังกะสี (Zn)	15 – 150	500 – 1,500
ทองแดง (Cu)	3 – 20	25 – 40
โครเมียม (Cr)	-	-
นิกเกิล (Ni)	0.1 – 5	50 – 100
ตะกั่ว (Pb)	2 – 5	-
แคดเมียม (Cd)	0.1 – 1	5 – 700
ปรอท (Hg)	-	-

ที่มา : Chaney 1982.

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่มีการรายงาน

2.5.5 การนำกากตะกอนไปทิ้งบนพื้นที่ต่าง ๆ

การนำกากตะกอนไปทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก จำเป็นต้องมีกากตะกอนที่ได้คุณภาพ คือ มีความปลอดภัยต่อคนและสัตว์ ไม่ก่อมลพิษ ซึ่งต้องพิจารณาถึง สารอินทรีย์ สารอาหาร เชื้อโรค โลหะหนัก และสารพิษต่าง ๆ ว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด การนำกากตะกอนไปทิ้งบนพื้นที่ต่าง ๆ จะมีข้อจำกัดต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 ข้อจำกัดของการนำกากตะกอนไปทิ้งในพื้นที่ต่าง ๆ

พื้นที่	ระยะเวลาในการทิ้ง	อัตราการทิ้ง (kg/m ³)
เกษตรกรรม	รอบปี	0.2 – 7
ป่าไม้	ครั้งเดียวหรือทุก ๆ 3 – 5 ปี	0.9 – 22
ปรับสภาพพื้นที่มาใช้	ครั้งเดียว	0.7 – 45
พื้นที่ทิ้งเฉพาะงานนี้	รอบปี	22 – 90

ที่มา : Barnes 1998.

ในประเทศอังกฤษ ได้นำกากตะกอนไปใส่ลงในพื้นที่ป่า เพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้กับต้นไม้ในป่า โดยเฉพาะไม้เศรษฐกิจต่าง ๆ อัตราการเติมสูงสุดเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์สำหรับกากตะกอนที่ของเหลว ระยะเวลาที่เหมาะสมกับการใส่กากตะกอนคือ ช่วงฤดูกาลเจริญเติบโตของต้นไม้ และช่วงเวลาที่ไม่มีฝนตกหนักหรือมีลมแรง บริเวณป่าที่ทำการเติมกากตะกอนควรอยู่ห่างจากแหล่งน้ำสำหรับอุปโภคบริโภคอย่างน้อย 50 เมตร และควรมีแนวป้องกัน (buffer zone) อย่างน้อย 20 เมตรก่อนถึงถนนในป่า

ในด้านของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกากตะกอน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสมบัติของดิน และสิ่งมีชีวิตในป่า ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญและต้องระมัดระวังให้มีการปนเปื้อนอยู่ในระดับที่ไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตารางที่ 2.13

ประเทศออสเตรเลีย ได้กำหนดปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนที่จะใส่ลงในพื้นที่เกษตรกรรม โดยแบ่งคุณภาพของกากตะกอนออกเป็น 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.14 โดยกากตะกอนระดับ A เป็นกากตะกอนที่มีคุณภาพดี มีการปนเปื้อนของโลหะหนักน้อย เหมาะสมจะนำไปใส่ในพื้นที่ประเภทสวนดอกไม้หรือแปลงผักในบ้าน กากตะกอนระดับ B เป็นกากตะกอนที่

สามารถนำไปใส่ในพื้นที่ต่าง ๆ ได้ เนื่องจากมีโลหะหนักอยู่ในปริมาณที่ไม่เป็นอันตราย ส่วนระดับ C และ D สามารถนำไปใส่ในพื้นที่ป่า แต่กากตะกอนที่มีการปนเปื้อนมากกว่าระดับ D ควรจะนำไปทำการฝังกลบ

ตารางที่ 2.13 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่มีได้ในกากตะกอนที่นำไปใส่ในพื้นที่ป่า

ธาตุ	อัตราการเติมเฉลี่ย (kg/ha ต่อปี)	ปริมาณสูงสุดในดิน (mg/kg น้ำหนักแห้ง)
แคลเซียม	0.15	3
โครเมียม	15	400
ทองแดง	7.5	80
ตะกั่ว	15	300
ปรอท	0.1	1
นิกเกิล	3	50
สังกะสี	15	200

ที่มา : Forestry Commission 1992.

ตารางที่ 2.14 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมให้มีในการนำกากตะกอนไปทิ้งในพื้นที่ต่าง ๆ

สารเคมี	ความเข้มข้น (mg/kg น้ำหนักแห้ง)			
	ระดับ A	ระดับ B	ระดับ C	ระดับ D
อาร์เซนิก	20	20	20	30
แคลเซียม	3	5	20	32
โครเมียม	100	250	500	600
ทองแดง	100	375	2,000	2,000
ตะกั่ว	150	150	420	500
ปรอท	1	4	15	19
นิกเกิล	60	125	270	300
เซลีนียม	5	8	50	90
สังกะสี	200	700	2,500	3,500

ที่มา : NSW EPA 1995.

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์หาลักษณะสมบัติด้านกายภาพและด้านเคมีของน้ำเสียชุมชนและกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยา เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด กับปริมาณแอมโมเนียม ตะกั่ว และปรอท ในกากตะกอนโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

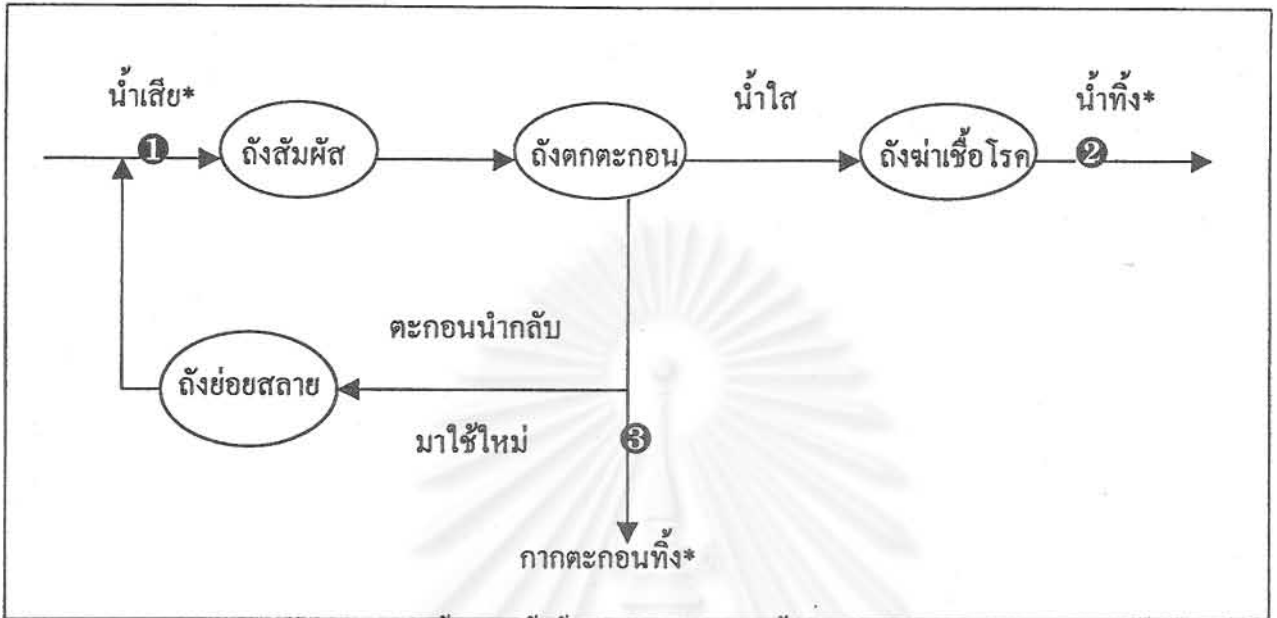
1. ศึกษารายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยา
2. ศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำเสียชุมชนและกากตะกอนทั้งด้านกายภาพและด้านเคมีของโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยา
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด กับปริมาณแอมโมเนียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 9.0

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ข้อมูลปฐมภูมิ ซึ่งได้จากโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยา สังกัดกองควบคุมคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

3.3 วิธีการวิจัย

ทำการสุ่มตัวอย่างน้ำเสียและกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียในเวลาช่วงเช้า โดยเก็บทุก ๆ สัปดาห์เป็นเวลา 27 สัปดาห์ เพื่อที่จะให้ได้ปริมาณข้อมูลที่พอเพียงในการนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมด 54 ตัวอย่าง (ก่อนเข้าและออกจากระบบบำบัด) แบ่งเป็น ตัวอย่างน้ำเสียก่อนทำการบำบัด 27 ตัวอย่างจากบริเวณบ่อรวบรวมน้ำเสียก่อนที่จะเข้าสู่ถังสัมผัส (จุดที่ 1) และตัวอย่างน้ำทิ้งหลังทำการบำบัด 27 ตัวอย่างจากบริเวณท่อระบายน้ำทิ้งหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อโรคแล้ว (จุดที่ 2) ส่วนกากตะกอนจะทำการเก็บตัวอย่าง 27 ตัวอย่าง โดยใช้กากตะกอนที่ทำการรีดน้ำออกแล้ว (จุดที่3)

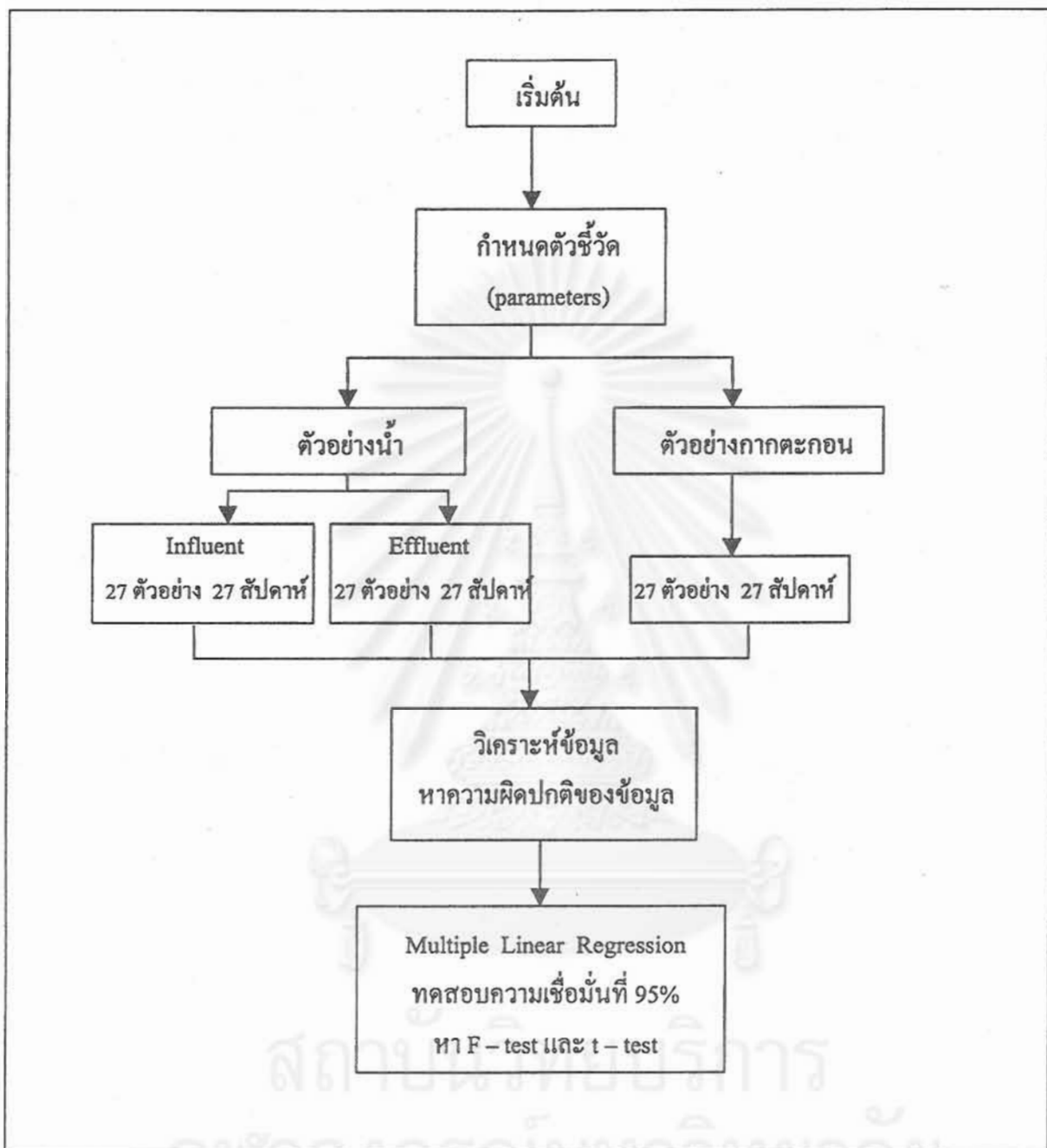


หมายเหตุ : * การเก็บตัวอย่างน้ำเสียบ, น้ำทิ้ง และกากตะกอนทิ้ง เก็บตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง/สัปดาห์ เป็นเวลา 27 สัปดาห์

รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียบและกากตะกอน

เพื่อนำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ของน้ำเสียบและกากตะกอน แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 9.0 และเลือกใช้ตัวสถิติ multiple linear regression เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำเสียบและปริมาณโลหะหนัก (Pb, Cd และ Hg) ในกากตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และจำนวนตัวอย่างน้ำเสียบและกากตะกอนแสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 จำนวนตัวอย่างและลักษณะสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำเสีย

ลักษณะสมบัติ	จำนวนตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ต่อแห่ง		จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์
	น้ำเสียก่อนบำบัด	น้ำเสียหลังบำบัด	
1. ค่าความเป็นกรด - ด่าง	27	27	54
2. ค่าความสกปรกในรูป BOD	27	27	54
3. ค่าความสกปรกในรูป COD	27	-	27
4. ปริมาณของแข็งแขวนลอย	27	-	27
5. ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ	27	-	27
6. แคลเซียม	27	27	54
7. ตะกั่ว	27	27	54
8. ปรอท	27	27	54

ตารางที่ 3.2 จำนวนตัวอย่างและลักษณะสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ในตัวอย่างกากตะกอน

ลักษณะสมบัติ	จำนวนตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์	จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรด - ด่าง	27	27
2. ปริมาณความชื้น	27	27
3. ปริมาณของแข็งที่ไหม้ไฟ	27	27
4. ปริมาณเถ้า	27	27
5. ค่าความร้อน	27	27
6. ไนโตรเจน	27	27
7. ฟอสฟอรัส	27	27
8. โปแตสเซียม	27	27
9. แคลเซียม	27	27
10. ตะกั่ว	27	27
11. ปรอท	27	27
12. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน	27	27
13. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	27	27

3.3.1 วิธีการเก็บตัวอย่าง

3.3.1.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ในการเก็บตัวอย่างน้ำ จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 2 จุด คือ จุดที่หนึ่งทำการเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณบ่อพักน้ำเสีย และให้เป็นตัวแทนของน้ำที่ยังไม่ผ่านการบำบัด จุดที่สองทำการเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณบ่อพักน้ำทิ้ง และให้เป็นตัวแทนของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยทั้งสองจุดทำการเก็บแบบจ้วง ทำการเก็บตัวอย่างในเวลาเช้า สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 27 สัปดาห์ ดังนั้นจะมีจำนวนตัวอย่างแต่ละจุด 27 ตัวอย่าง ซึ่งเริ่มเก็บตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 10 มิถุนายน 2542 ไปจนถึงวันที่ 15 ธันวาคม 2542 ตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บได้นั้นจะต้องทำการรักษาคุณสมบัติของน้ำเสียให้มีลักษณะเหมือนเดิมก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ โดยวิธีรักษาคุณสมบัติของน้ำเสียแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 วิธีรักษาคุณสมบัติของน้ำเสียก่อนนำไปวิเคราะห์ตามวิธีของ Standard method for the examination of water and wastewater

ลักษณะสมบัติ	วิธีรักษาคุณสมบัติของน้ำเสีย
1. ค่าความสกปรกในรูป BOD	แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C
2. ค่าความสกปรกในรูป COD	เติม Conc. H ₂ SO ₄ ให้มี pH < 2 , แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C
3. ปริมาณของแข็งแขวนลอย	แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C
4. ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ	แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C
5. แคลเมียม	เติม Conc. HNO ₃ ให้มี pH < 2 , แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C
6. ตะกั่ว	เติม Conc. HNO ₃ ให้มี pH < 2 , แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C
7. โปรอท	เติม Conc. HNO ₃ ให้มี pH < 2 , แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C

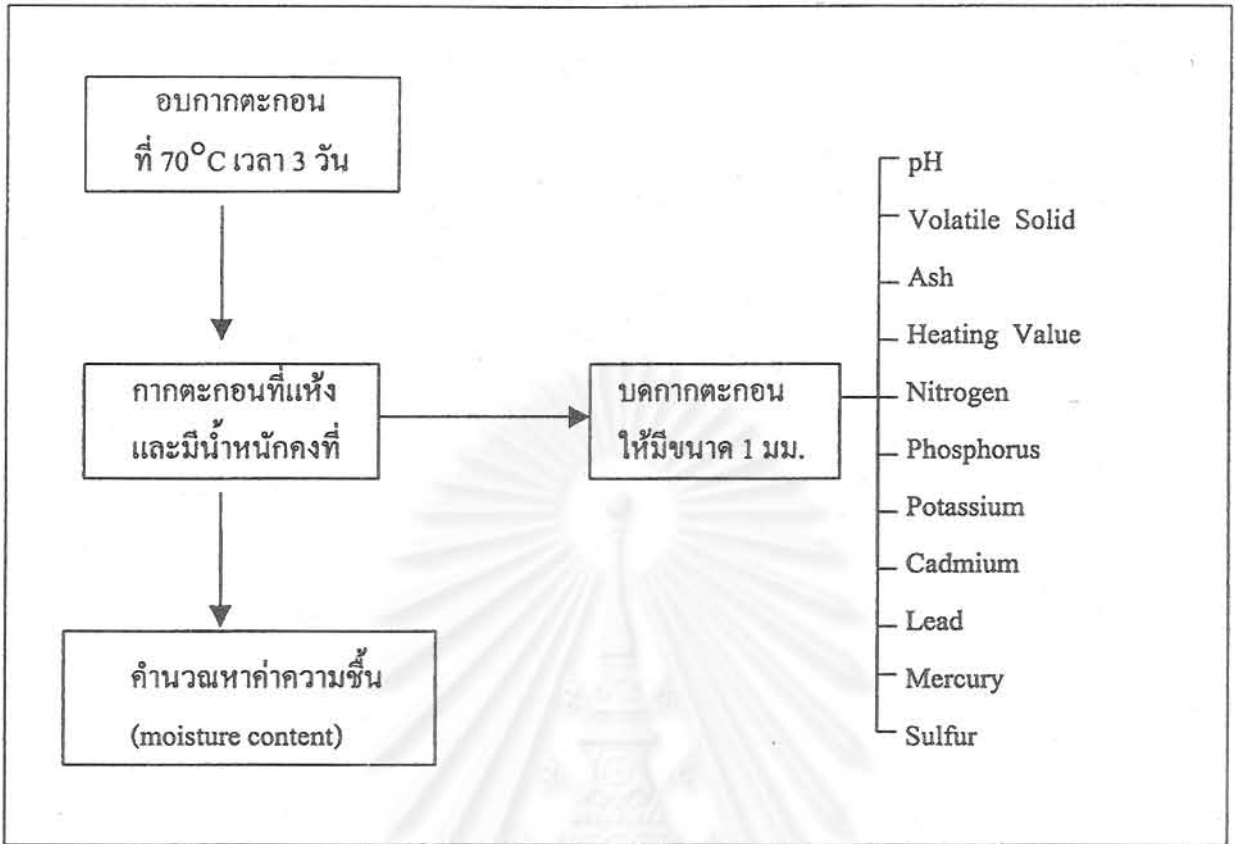
ที่มา : American Publish Health Association 1995.

3.3.1.2 การเก็บตัวอย่างกากตะกอน

ในการเก็บตัวอย่างกากตะกอน จะทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอนที่รีดน้ำออกแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยเก็บในวันและเวลาเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย แล้วนำกากตะกอนไปทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่อไป ดังรายละเอียดในรูปที่ 3.3

3.3.1.3 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่าง ๆ

หลังจากการเก็บตัวอย่างน้ำและกากตะกอนแล้ว จะนำไปวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.4 และตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์กากตะกอน

ตารางที่ 3.4 วิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่างๆ ของน้ำเสียตามวิธีของ Standard method for the examination of water and wastewater

ลักษณะสมบัติ	วิธีวิเคราะห์
1. pH	pH meter
2. ค่าความสกปรกในรูป BOD	Azide Modification of the Iodometric method
3. ค่าความสกปรกในรูป COD	Closed Reflux , Titrimetric method
4. ปริมาณของแข็งแขวนลอย	Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
5. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด	Total Dissolved Solids Dried at 180°C
6. แคดเมียมและตะกั่ว	Atomic Absorption Spectrometric method
7.ปรอท	Cold - Vapor Atomic Absorption method

ที่มา : American Publish Health Association 1995.

ตารางที่ 3.5 วิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของกากตะกอนตามวิธีของ Method of soil analysis

ลักษณะสมบัติ	วิธีวิเคราะห์
1. pH (อัตราส่วนตัวอย่าง : น้ำ = 1:2.5)	pH meter
2. ปริมาณความชื้น	Gravimetric method
3. ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้	Gravimetric method
4. ปริมาณเถ้า	Gravimetric method
5. ค่าความร้อน	Bomb Calorimeter
6. ชัลเฟอร์	Bomb Calorimeter
7. ไนโตรเจน	Kjeldahl method
8. ฟอสฟอรัส	Extraction , Spectrophotometer method
9. โพแทสเซียม	Extraction , Atomic Absorption Spectrometric method
10. แคลเซียมและตะกั่ว	Extraction , Atomic Absorption Spectrometric method
11. โปรอท	Extraction , Cold - Vapor Atomic Absorption method
12. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน	จากการคำนวณ
13. ปริมาณอินทรีย์วัตถุทั้งหมด	จากการคำนวณ

ที่มา : Page , A.L. , Miller , R.H. and Keeny , D.R. 1984.

3.3.2 การวิเคราะห์ผลการวิจัย

3.3.2.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียม ตะกั่ว และโปรอทในกากตะกอน กับประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของน้ำเสียบก่อนการบำบัด เลือกตัวสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ multiple linear regression ทำการทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรแต่ละตัวและสมการด้วยสถิติ t - test และ F - test ตามลำดับ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และเสนอสมการความสัมพันธ์ของการคาดการณ์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนที่เหมาะสมที่สุด รูปแบบของสมการจะเป็นดังสมการที่ (1)

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + eX_4 + fX_5 + gX_6 + hX_7 + iX_8 \dots\dots(1)$$

เมื่อ	Y	=	ปริมาณแคะเมียม ตะกั่ว พรอท ในกากตะกอน (mg/kg)
	X_1	=	ค่า pH ของน้ำเสียก่อนบำบัด
	X_2	=	ค่า BOD ของน้ำเสียก่อนบำบัด (mg/l)
	X_3	=	ค่า COD ของน้ำเสียก่อนบำบัด (mg/l)
	X_4	=	ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบน้ำเสีย (การลดค่าของ BOD) (%)
	X_5	=	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนบำบัด (mg/l)
	X_6	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำเสียก่อนบำบัด (mg/l)
	X_7	=	ปริมาณแคะเมียมหรือตะกั่วหรือพรอทในน้ำเสียก่อนบำบัด (mg/l)
	X_8	=	ปริมาณแคะเมียมหรือตะกั่วหรือพรอทในน้ำเสียหลังบำบัด (mg/l)
	a, b, c, \dots, i	=	ค่าคงที่ใด ๆ

จากรูปแบบของสมการ (1) จะสามารถประยุกต์ได้เป็น 3 สมการ สำหรับหาปริมาณแคะเมียม ตะกั่ว และพรอทในกากตะกอนโดย

1. สมการทำนายปริมาณแคะเมียมในกากตะกอน

โดยกำหนดให้

Y_{cd} คือ ปริมาณแคะเมียมในกากตะกอน

X_7 และ X_8 คือ ปริมาณแคะเมียมในน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด ตามลำดับ

2. สมการทำนายปริมาณตะกั่วในกากตะกอน

โดยกำหนดให้

Y_{pb} คือ ปริมาณตะกั่วในกากตะกอน

X_7 และ X_8 คือ ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด ตามลำดับ

3. สมการทำนายปริมาณพรอทในกากตะกอน

โดยกำหนดให้

Y_{hh} คือ ปริมาณพรอทในกากตะกอน

X_7 และ X_8 คือ ปริมาณพรอทในน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด ตามลำดับ

สำหรับตัวแปรอื่น ๆ ซึ่งได้แก่ X_1 ถึง X_6 จะแทนค่าด้วยตัวแปรเช่นเดียวกับที่กำหนดไว้ในสมการ (1) และคำนวณค่าที่แทนค่าลงไปในสมการที่ (1) จำนวน 27 ตัวอย่าง ($n = 27$) หรือจำนวน 27 ครั้งของทุกๆ พารามิเตอร์ เพื่อนำไปให้ความสัมพันธ์แบบ multiple linear regression โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 9.0 ในการหาสมการที่เหมาะสมที่สุด

3.3.2.2 เสนอแนะวิธีการกำจัดกากตะกอนตามเกณฑ์ที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากลักษณะสมบัติของกากตะกอน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียชุมชน

ในการสุ่มตัวอย่างน้ำเสียชุมชนก่อนและหลังการบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ตั้งแต่วันที่ 10 มิถุนายน ถึง วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2542 พบว่าน้ำเสียก่อนทำการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีลักษณะใส มีสารแขวนลอยอยู่ในปริมาณน้อย ไม่มีกลิ่นเหม็น เมื่อนำน้ำเสียไปทำการบำบัดแล้ว น้ำเสียจะมีลักษณะใสมากขึ้น ส่วนลักษณะต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพและเคมี รวมถึงปริมาณโลหะหนักนั้นได้ผลดังต่อไปนี้

4.1.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

4.1.1.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS)

ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา จะใสและมีตะกอนแขวนลอยน้อย จึงส่งผลให้ค่า SS ที่ได้มีค่าน้อย โดยค่า SS เฉลี่ยจากน้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาเท่ากับ 74.90 ± 87.70 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง 1.0 – 287.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.1)

4.1.1.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Dissolved Solids :TDS)

ค่า TDS เฉลี่ยของน้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่าเท่ากับ 291.10 ± 82.30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง 116.7 – 443.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.1)

4.1.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี

4.1.2.1 ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ค่า pH ของน้ำเสียก่อนบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีค่าเท่ากับ 6.75 ± 0.41 โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง 5.65 – 7.52 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยจัดอยู่ในสภาพที่เป็นกลาง (ตารางที่ 4.1)

สำหรับค่า pH ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเท่ากับ 6.96 ± 0.16 โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง 6.50 – 7.30 ซึ่งจัดอยู่ในสภาพที่เป็นกลาง และไม่มีค่าแตกต่างไปจากค่า pH ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดมากนัก

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเฉลี่ยจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

คุณลักษณะของน้ำเสีย	ค่าเฉลี่ย	ช่วง
pH		
● ก่อนบำบัด	6.75 ± 0.41	5.65 – 7.52
● หลังบำบัด	6.96 ± 0.16	6.50 – 7.30
SS (mg/l) (ก่อนบำบัด)	74.90 ± 87.70	1.0 – 287.5
TDS (mg/l) (ก่อนบำบัด)	291.10 ± 82.30	116.7 – 443.3
BOD (mg/l)		
● ก่อนบำบัด	81.75 ± 64.67	23.136 – 289.680
● หลังบำบัด	8.75 ± 6.00	0.6012 – 23.6703
% Removal Efficiency	87.68 ± 7.48	69.3683 – 98.269
COD (mg/l) (ก่อนบำบัด)	140.37 ± 97.66	52.846 – 394.40

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสมบัติต่าง ๆ ในตารางคิดจากจำนวนตัวอย่างน้ำเสีย 27 ตัวอย่าง

4.1.2.2 ค่าความสกปรกในรูป BOD

น้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีลักษณะที่ใส มีความสกปรกน้อยเมื่อดูด้วยสายตา เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า BOD จะได้ว่าค่า BOD ของน้ำเสียก่อนบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.75 ± 64.67 มิลลิกรัมต่อลิตร มีช่วงอยู่ระหว่าง 23.136 – 289.680 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วนั้น ค่า BOD เฉลี่ยเท่ากับ 8.75 ± 6.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.6012 – 23.6703 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าประสิทธิภาพการบำบัด (Removal Efficiency) ของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา เท่ากับ 87.68 ± 7.48 % มีช่วงอยู่ระหว่าง 69.3683 – 98.2690 % (ตารางที่ 4.1)

4.1.2.3 ค่าความสกปรกในรูป COD

ค่า COD เฉลี่ยของน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่าเท่ากับ 140.37 ± 97.66 มิลลิกรัมต่อลิตร มีช่วงอยู่ระหว่าง 52.846 – 394.400 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.1)

จากลักษณะสมบัติต่าง ๆ ข้างต้น แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียชุมชนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีความสกปรกน้อย ซึ่งเนื่องมาจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1) น้ำเสียที่เข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการรวมของน้ำเสียจากชุมชนและน้ำฝน ซึ่งน้ำเสียที่มาจากชุมชนนั้น ได้ผ่านบ่อเกรอะบ่อซึมจากอาคารบ้านเรือนมาแล้ว จึงทำให้ความสกปรกของน้ำลดลง

2) น้ำเสียที่จะเข้าสู่โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาจะถูกระบายลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะที่ใช้สำหรับระบายน้ำทั้งน้ำเสียและน้ำฝน ซึ่งลักษณะของท่อมี่ขนาดใหญ่ มีความลาดชันน้อย รวมถึงระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงโรงบำบัดที่ไกล ทำให้น้ำเสียในท่อไหลช้าและเกิดการตกตะกอน ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลง นอกจากนี้ยังเป็นการลดค่า BOD ในส่วนที่เป็นของแข็งลงอีกด้วย ในฤดูฝน น้ำฝนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความสกปรกของน้ำเสียลดลง

4.1.3 โลหะหนัก

4.1.3.1 แคลเซียม

ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยของน้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาเท่ากับ 0.0600 ± 0.0574 mg/l มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.0125 – 0.2531 mg/l แต่เมื่อผ่านการบำบัดแล้วปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยลดลงเหลือ 0.0473 ± 0.0364 mg/l มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.0143 – 0.1510 mg/l คิดเป็นปริมาณแคลเซียมที่ถูกกำจัดออกไปจากน้ำเสียเท่ากับ 21.17 % (ตารางที่ 4.2)

4.1.3.2 ตะกั่ว

ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียก่อนการบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาเท่ากับ 0.0024 ± 0.0026 mg/l มีช่วงอยู่ระหว่าง 0 – 0.0103 mg/l แต่เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 0.0013 ± 0.0017 mg/l มีช่วงอยู่ระหว่าง 0 – 0.0059 mg/l คิดเป็นปริมาณตะกั่วที่ถูกกำจัดไปจากน้ำเสียเท่ากับ 46.91 % (ตารางที่ 4.2)

4.1.3.3 พรอท

ปริมาณพรอทของน้ำเสียจาก โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่ามากกว่า น้ำเสียที่ยังไม่ได้บำบัด โดยปริมาณพรอทของน้ำเสียก่อนบำบัดมีค่าเฉลี่ย 0.0131 ± 0.0106 mg/l มีช่วงอยู่ระหว่าง 0 – 0.0964 mg/l และหลังบำบัดมีค่าเฉลี่ย 0.0155 ± 0.0098 mg/l มีช่วงอยู่ระหว่าง 0 – 0.0661 mg/l (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักเฉลี่ยในน้ำเสี้ยวของโรงบำบัดน้ำเสี้ยวสี่พระยา

คุณลักษณะของน้ำเสี้ยว	เฉลี่ย	ช่วง
Cadmium (mg/l)		
● ก่อนบำบัด	0.0600 ± 0.0574	0.0125 – 0.2531
● หลังบำบัด	0.0473 ± 0.0364	0.0143 – 0.1510
Lead (mg/l)		
● ก่อนบำบัด	0.0024 ± 0.0026	0.0 – 0.0103
● หลังบำบัด	0.0013 ± 0.0017	0.0 – 0.0059
Mercury (mg/l)		
● ก่อนบำบัด	0.0131 ± 0.0106	0.0 – 0.0964
● หลังบำบัด	0.0154 ± 0.0098	0.0 – 0.0661

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสมบัติต่างๆ ในตารางคิดจากจำนวนตัวอย่างน้ำเสี้ยว 27 ตัวอย่าง

จากการผลการศึกษาปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทจากน้ำเสี้ยวก่อนและหลังการบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสี้ยวสี่พระยา พบว่า กระบวนการบำบัดน้ำเสี้ยวของโรงบำบัดน้ำเสี้ยวสี่พระยาสามารถบำบัดแคดเมียม และตะกั่ว ได้ แต่สำหรับปรอทนั้น จากการศึกษพบว่า ปริมาณปรอทในน้ำเสี้ยวที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าปริมาณปรอทในน้ำเสี้ยวก่อนการบำบัด เนื่องจากจุลินทรีย์ในน้ำเสี้ยวจะทำให้ปรอทอยู่รูปของ CH_3Hg^+ ซึ่งละลายน้ำได้ในสภาวะไร้อากาศของบ่อตกตะกอนที่มีปรอทจับกับตะกอนจมอยู่ก้นบ่อซึ่งมีจำนวนมาก และเมื่อมีการสูบลูกตะกอนกลับไปยังบ่อเดิมอากาศก็จะทำให้เกิดการตกตะกอนของปรอทได้อีก จึงทำให้พบปริมาณปรอทที่ตกตะกอนออกมาสูงกว่าปรอทที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งเป็นข้อสันนิษฐานของผู้วิจัยเองและเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นพอจะอธิบายผลโดยอาศัยวัฏภาคของปรอทในรูปที่ 2.3 เป็นข้อมูล

4.2 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกากตะกอน

ในการสุ่มตัวอย่างกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสี้ยวสี่พระยา ช่วงเวลาเดียวกันกับการเก็บตัวอย่างน้ำเสี้ยว คือ ตั้งแต่วันที่ 10 มิถุนายน ถึง วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2542 แล้วนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ได้ผลดังนี้

4.2.1 คุณลักษณะทางกายภาพ

4.2.1.1 ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ค่า pH เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่าเท่ากับ 6.76 ± 0.09 และจากการศึกษาพบว่าค่า pH ของกากตะกอนจะมีความสัมพันธ์กับค่า pH ของน้ำเสีย (ตารางที่ 4.3)

4.2.1.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีค่าเท่ากับ $82.36 \pm 2.18 \%$ (ตารางที่ 4.3)

4.2.1.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $17.65 \pm 2.17 \%$ (ตารางที่ 4.3)

4.2.1.4 ปริมาณของแข็งที่ไหม้ไฟ (Volatile Solids)

ปริมาณของแข็งที่ไหม้ไฟเฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่าเท่ากับ $8.95 \pm 1.01 \%$ (ตารางที่ 4.3)

4.2.1.5 ปริมาณเถ้า (Ash content)

ปริมาณเถ้าเฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่าเท่ากับ $8.70 \pm 1.36 \%$ (ตารางที่ 4.3)

4.2.2 คุณลักษณะทางเคมี

4.2.2.1 ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม

ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม เฉลี่ยในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีค่าเท่ากับ $2.37 \pm 0.14 \%$, $0.06 \pm 0.01 \%$ และ $0.16 \pm 0.01 \%$ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3)

4.2.2.2 อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ จากกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีค่าเท่ากับ 8.94 ± 1.01 % (ตารางที่ 4.3)

4.2.2.3 อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีค่าเท่ากับ 4.97 ± 0.56 % (ตารางที่ 4.3)

4.2.2.4 ค่าความร้อน (Heating value)

ค่าความร้อนเฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา เท่ากับ 2385.60 ± 172.19 cal/g (ตารางที่ 4.3)

4.2.2.5 ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulfur)

ปริมาณซัลเฟอร์เฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา และห้วยขวาง เท่ากับ 0.0759 ± 0.0727 % (ตารางที่ 4.3)

4.2.3 โลหะหนัก

4.2.3.1 แคลเซียม

ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ยในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา เท่ากับ 3.27 ± 1.57 mg/kg (ตารางที่ 4.3)

4.2.3.2 ตะกั่ว

ปริมาณตะกั่วเฉลี่ยในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา เท่ากับ 1.00 ± 0.39 mg/kg (ตารางที่ 4.3)

4.2.3.3 ปรอท

ปริมาณปรอทเฉลี่ยของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีค่าเท่ากับ 0.51 ± 0.48 mg/kg (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

คุณลักษณะของกากตะกอน	เฉลี่ย	ช่วง
pH	6.76 ± 0.09	6.60 – 6.98
Moisture content (%)	82.36 ± 2.18	74.96 – 85.09
Total Solids (%)	17.65 ± 2.17	14.91 – 25.04
Volatile Solids (%)	8.95 ± 1.01	7.43 – 11.87
Ash content (%)	8.70 ± 1.36	6.54 – 13.17
Nitrogen (%)	2.37 ± 0.14	2.02 – 2.59
Phosphorus (%)	0.06 ± 0.01	0.04 – 0.07
Potassium (%)	0.16 ± 0.01	0.15 – 0.18
Organic Matter (%)	8.94 ± 1.01	7.39 – 11.87
Organic Carbon (%)	4.97 ± 0.56	4.13 – 6.59
Heating value (cal/g)	2,385.60 ± 172.19	2,009.55 – 2,654.10
Sulfur (%)	0.076 ± 0.073	0.00 – 0.36
Cadmium (mg/kg)	3.27 ± 1.57	1.43 – 16.40
Lead (mg/kg)	1.00 ± 0.39	0.32 – 1.66
Mercury (mg/kg)	0.51 ± 0.48	0.01 – 1.76

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสมบัติต่าง ๆ ในตารางคิดจากจำนวนตัวอย่างกากตะกอน 27 ตัวอย่าง

4.3 ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

นำผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสีย และกากตะกอนทั้งด้านกายภาพและเคมีของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามาหาความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 9.0 โดยเลือกใช้ตัวสถิติ multiple linear regression ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาประกอบด้วย ค่า pH ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด ค่าความสกปรกในรูป BOD และ COD ของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด ประสิทธิภาพการบำบัด (ลดค่า BOD) ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียก่อนบำบัด ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว และความเข้มข้นของโลหะหนักในกากตะกอน ให้ปริมาณแคะเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนเป็นตัวแปรตาม และลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของน้ำเสียที่กล่าวข้างต้นเป็นตัวแปรอิสระ โดยศึกษาความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$ ซึ่งรายละเอียดและที่มาในการวิเคราะห์ทางสถิติได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข ซึ่ง

ซึ่งสมการสำหรับการคาดการณ์ปริมาณ โลหะหนักทั้งสามชนิดในกากตะกอนมีดังนี้

$$Y_{Cd} = 0.010TDS_{(t=2.916)} \quad ; F = 8.505 , R^2 = 0.262 \quad \dots\dots(2)$$

$$Y_{Pb} = 0.971 - 98.952Pb_{eff(t=-2.554)} + 0.0018SS_{(t=2.334)} \quad \dots\dots(3)$$

$$; F = 8.002 , R^2 = 0.400$$

$$Y_{Hg} = 0.463 pH_{(t=2.139)} \quad ; F = 4.577 , R^2 = 0.160 \quad \dots\dots(4)$$

เมื่อ	Y_{Cd}	=	ความเข้มข้นของแคดเมียมในกากตะกอน (mg/kg)
	Y_{Pb}	=	ความเข้มข้นของตะกั่วในกากตะกอน (mg/kg)
	Y_{Hg}	=	ความเข้มข้นของปรอทในกากตะกอน (mg/kg)
	TDS	=	ของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียก่อนบำบัด(mg/l)
	Pb_{eff}	=	ตะกั่วในน้ำเสียหลังบำบัด (mg/l)
	SS	=	ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนบำบัด (mg/l)
	pH	=	ค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำเสียก่อนบำบัด
	R^2	=	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ช่วยในการตัดสินใจ

หมายเหตุ : ความสัมพันธ์ข้างต้นจะใช้ได้ในช่วง pH 6.5 – 8.5 เท่านั้น เพราะเป็นช่วง pH ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

จากความสัมพันธ์ทั้งสามความสัมพันธ์ข้างต้น ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณ แคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียก่อนการบำบัด และตะกั่วในน้ำเสียหลังบำบัด สำหรับตัวพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ไม่ได้ปรากฏในสมการก็เพราะไม่มีความสัมพันธ์ที่อยู่ในช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ดังนั้นในโปรแกรมการคำนวณจึงได้ถูกกำจัดทิ้งออกไป สำหรับเหตุผลความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ในสมการ (2) (3) และ (4) สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1) แคดเมียม

ในช่วง pH ระหว่าง 6.5 – 8.5 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด แคดเมียมจะอยู่ในรูปไอออนละลายน้ำ (Cd^{2+}) และเมื่อเข้าสู่กระบวนการบำบัด บางส่วนจะเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำกับมเลกุลสารอินทรีย์ตกตะกอน บางส่วนจะถูกดูดซับหรือดูดซึมอยู่ในตะกอนด้วย ดังนั้นปริมาณแคดเมียมในตะกอนจึงแปรตามปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียที่เข้า ซึ่งอยู่ในรูปของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ



2) ตะกั่ว

จากผลการวิเคราะห์จะพบว่า มีซัลเฟอร์ในกากตะกอนมีปริมาณที่สูง แต่จากลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียพบว่า ไม่มีกลิ่นเหม็น ดังนั้นซัลเฟอร์ที่พบควรจะอยู่ในรูปของซัลเฟตอิออน (SO_4^{2-}) ซึ่งเมื่อมีตะกั่วอยู่ด้วยจะเกิดเป็นตะกอนขนาดเล็กของสารประกอบตะกั่วซัลเฟต (PbSO_4) แขนงลอย อยู่ เมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดตะกอนแขวนลอยดังกล่าวจะถูกดูดซับและดูดซึมให้ตกตะกอนร่วมกับก้อนตะกอน ทำให้มีความสัมพันธ์ของปริมาณของแข็งแขวนลอยมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณตะกั่วในกากตะกอน แต่ตะกั่วบางส่วนที่ไม่เกิดการตกตะกอนกับซัลเฟต จะอยู่ในรูปของตะกั่วอิออน (Pb^{2+}) ซึ่งในช่วง pH ที่ใช้ในการบำบัด (6.5 – 8.5) ไม่สามารถทำให้ตะกั่วตกตะกอนในรูปของตะกั่วไฮดรอกไซด์ได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ของตะกั่วอิออนในน้ำออกจากระบบบำบัดจึงมีความสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณตะกั่วในกากตะกอน

3) ปรอท

ในกระบวนการบำบัดนี้ การบำบัดปรอทจะใช้จุลินทรีย์ในน้ำเปลี่ยนปรอทอิออน (Hg^{2+}) เป็นปรอทในรูปสารอินทรีย์ 2 ชนิด คือ Monomethyl mercury (CH_3Hg^+) ซึ่งละลายน้ำกับ Dimethyl mercury (CH_3HgCH_3) ซึ่งไม่ละลายน้ำ โดยที่สารประกอบทั้งสองชนิดจะสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นอีกชนิดได้ ขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำ กล่าวคือ เมื่อเป็นกรดจะมีปริมาณของ CH_3Hg^+ มาก และ $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ น้อย เมื่อเป็นด่างจะมี $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ มาก และมี CH_3Hg^+ น้อย ดังนั้นเมื่อ pH สูงจะมี $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ มาก ซึ่งสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำจึงถูกดูดซับหรือดูดซึมกับก้อนตะกอน ความสัมพันธ์ของความเป็นกรดด่าง จึงเป็นไปในทางบวกกับปริมาณปรอทในกากตะกอน

4.4 การนำผลการไปใช้

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอน กับลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของน้ำเสียก่อนบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในหัวข้อ 4.3 แล้ว สมการที่ (2) (3) และ (4) มีการปรับแก้สมการเพื่อหาความสัมพันธ์ที่ถูกต้องโดยการทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียและกากตะกอนอีกครั้งในเดือนมกราคม พ.ศ.2543 แล้วนำไปวิเคราะห์หาลักษณะสมบัติต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ในสมการ (2) (3) และ (4) ได้แก่

ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TDS) ของน้ำเสีย ก่อนบำบัด	=	0.3267 mg/l
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำเสีย ก่อนบำบัด	=	0.0240 mg/l
ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของน้ำเสียก่อนบำบัด	=	6.72

ส่วนปริมาณตะกั่ว และปรอทในกากตะกอน และแคดเมียมในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วและในกากตะกอน มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้หลังจากนั้นนำไปแทนค่าในสมการที่ (2) (3) และ (4) แล้วทำการปรับสมการให้ถูกต้อง จะได้ความสัมพันธ์ใหม่และได้สมการที่สามารถนำไปทำนายปริมาณแคดเมียม ตะกั่วและปรอทได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นดังต่อไปนี้

$$Y_{Cd} = 0.010TDS - 3.267 \dots\dots\dots (5)$$

$$Y_{Pb} = 0.0432 - 98.952Pb_{eff} + 0.0018SS \dots\dots\dots (6)$$

$$Y_{Hg} = 0.463 pH - 3.111 \dots\dots\dots (7)$$

เมื่อ	Y_{Cd}	=	ความเข้มข้นของแคดเมียมในกากตะกอน (mg/kg)
	Y_{Pb}	=	ความเข้มข้นของตะกั่วในกากตะกอน (mg/kg)
	Y_{Hg}	=	ความเข้มข้นของปรอทในกากตะกอน (mg/kg)
	TDS	=	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำเสียก่อนบำบัด(mg/l)
	Pb_{eff}	=	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (mg/l)
	SS	=	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนบำบัด (mg/l)
	pH	=	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำเสียก่อนบำบัด

ดังนั้นการนำสมการไปใช้เพื่อการทำนายปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาแนะนำให้เลือกใช้สมการที่ (5) (6) และ (7) โดยเป็นสมการที่ปรับแก้ไข (Calibration) แล้ว

4.5 การจัดการกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากตะกอนพบว่า กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม

เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม อยู่ในระดับที่สูงมาก เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยกากตะกอนนี้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 8.9442 % ซึ่งมากกว่า 4.5 % ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในกากตะกอนมีปริมาณเท่ากับ 0.0603 % (603 ppm) และ 0.1629 % (1629 ppm) ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า 45 ppm และ 120 ppm ตามลำดับ และค่าไนโตรเจนในกากตะกอนก็มีมากถึง 2.37 % เมื่อเทียบกับปริมาณต่ำสุดที่ควรมีในปุ๋ยหมัก คือ 0.5% (ปรัชญา ชาญญาติ, พิทยกร ลีมหอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวโรจน์ , 2535)

ตารางที่ 4.4 เกณฑ์สำหรับการจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ระดับที่บ่งบอก	อินทรีย์วัตถุ (%)	ฟอสฟอรัส (ppm)	โพแทสเซียม (ppm)
ต่ำมาก	<0.5	<3	<30
ต่ำ	0.5 – 1.0	3 – 6	30 – 60
ต่ำปานกลาง	1.0 – 1.5	6 – 10	-
ปานกลาง	1.5 – 2.0	10 – 15	60 – 90
สูงปานกลาง	2.5 – 3.5	15 – 25	-
สูง	3.5 – 4.5	25 – 45	90 – 120
สูงมาก	> 4.5	> 45	> 120

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่มีการรายงาน

ที่มา : ปรัชญา ชาญญาติ , พิทยกร ลีมหอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวโรจน์ 2535.

สำหรับปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนสามารถนำไปเติมในดินที่ใช้ทำการเกษตรได้ตามปริมาณแคดเมียมที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรของประเทศอังกฤษเท่านั้นเนื่องจากแคดเมียมในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีเท่ากับ 3.27 mg/kg ซึ่งเกณฑ์ของประเทศอังกฤษกำหนดไว้ไม่เกิน 3.50 mg/kg แต่ปริมาณแคดเมียมของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาอยู่ในระดับที่ไม่ก่อความเป็นพิษต่อพืช(5-700 mg/kg) ถึงแม้จะอยู่ในปริมาณที่เกินระดับปกติ (0.1-1mg/kg) และไม่ควรนำกากตะกอนนี้ไปใส่ลงในพื้นที่ป่าเนื่องจากกากตะกอนมีค่าเกิน 3 mg/kg ตามที่กำหนดไว้ของประเทศอังกฤษ สำหรับเกณฑ์ในประเทศออสเตรเลีย กากตะกอนนี้สามารถนำไปใส่ในพื้นที่ต่าง ๆ ยกเว้นพื้นที่ประเภทสวนดอกไม้และแปลงผักสวนครัว

ปริมาณตะกั่วในกากตะกอนมีปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรของประเทศในยุโรป ได้แก่ อังกฤษ เยอรมัน ฝรั่งเศส และเนเธอร์แลนด์ ซึ่งกำหนดให้มีตะกั่วได้ถึง 100 – 550 mg/kg แต่ตะกั่วในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีเพียง 1.00 mg/kg เท่านั้น ซึ่งจัดอยู่ในระดับปกติที่พบในพืช และสามารถนำกากตะกอนนี้ไปใส่ในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น ในพื้นที่ป่า สวนดอกไม้ ได้ตามเกณฑ์ของประเทศอังกฤษและประเทศออสเตรเลีย

ปริมาณปรอทในกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาเท่ากับ 0.51 mg/kg ซึ่งมีปริมาณเกินเกณฑ์ที่จะขอมให้นำไปใส่ในดินเพื่อการเกษตรกรรมของประเทศอังกฤษ แต่สามารถนำกากตะกอนนี้ไปใส่ในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น ในพื้นที่ป่า สวนดอกไม้ ได้ตามเกณฑ์ของประเทศอังกฤษและประเทศออสเตรเลีย

ถึงแม้ว่ากากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา จะมีโลหะหนักบางชนิดที่มีปริมาณเกินมาตรฐานของประเทศในยุโรปบางประเทศ แต่คุณสมบัติโดยทั่วไป กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาก็ยังมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน โดยการเติมลงไป ในดิน หรือนำไปทำปุ๋ยหมักซึ่งปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่ยอมรับให้มีได้ในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 สำหรับปัญหาด้านโลหะหนักในกากตะกอน Parkpin , Sirisukhodom และ Carbonell – Barrachina (1998) ได้ทำการศึกษาโลหะหนักและธาตุอาหารในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาผสมกับดิน พบว่ากากตะกอนมีความเหมาะสมในการเกษตรกรรม เมื่อเติมกากตะกอนลงไป ในดิน จะเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน ส่วนความเป็นพิษของโลหะหนักในกากตะกอนจะลดลง เมื่อเวลาผ่านไป 12 สัปดาห์

การนำกากตะกอนไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็นวิธีการจัดการอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งกากตะกอนมีค่าความร้อนเท่ากับ 2385.60 cal/g ซึ่งให้ความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 3220.42 Btu/lb แต่เมื่อเผาไหม้แล้วจะเหลือปริมาณเถ้าประมาณ 8.70 % ของน้ำหนักเปียก

4.6 วิจารณ์ผลการวิจัย

4.6.1 แนวคิดของงานวิจัยนี้คือ ประสิทธิภาพการบำบัดมีความสัมพันธ์กับปริมาณแคลเซียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา และสามารถทำนายปริมาณโลหะหนักดังกล่าวได้ด้วยลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด และเมื่อทำการวิจัยพบว่าแนวคิดนี้ไม่เป็นจริง คือ ปริมาณแคลเซียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนไม่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเชื่อมั่น 95% แต่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณของแข็งแขวนลอย

ตารางที่ 4.5 ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในพืชผักจากมูลนิธิชุมชน

ประเทศที่กำหนด	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)								รายการอ้างอิง
	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd	Hg	
ออสเตรเลีย	1200	1500	1000	300	200	900	6	4	Lutz (1984)
อังกฤษ	-	1000	400	-	100	250	10	2	Bardos , Hadley and Kendle (1992)
สหรัฐอเมริกา									
• มินเนโซตา	-	1000	500	1000	100	500	10	5	Gurkewiz (1989) ; Robert (1994)
• นิวเจอร์ซีย์	-	2500	1000	1000	200	250	10	-	Robert (1994)
แคนาดา									
• ออนตาริโอ	-	500	60	50	60	150	3	-	Robert (1994)
เนเธอร์แลนด์ (แยกประเภทของมูลฝอย)	-	240	40	30	10	160	1	0.5	De Bertodi , Civilini and Comi (1990)
สวีตเซอร์แลนด์	-	300	100	-	-	100	3	1	Krauss , Blessing and Korherr (1986 , 1987)
อิตาลี	-	-	600	500	200	500	10	-	Genevini , Mezzanotte and Gabarino (1987)
กลุ่มประชาคมยุโรป									
• สำหรับไม้ผล	-	1000	300	150	50	750	5	5	De Bertodi , Civilini and Comi (1990)
• สำหรับไม้ประดับ	-	1500	500	200	100	1000	5	5	
ช่วงของทุกประเทศ	1200	240-2500	60-1000	30-1000	10-200	160-1000	1-10	1-5	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และค่าความเป็นกรด - ด่าง และมีความสัมพันธ์ทางลบกับ ปริมาณตะกั่วในน้ำทิ้ง อาจมีสาเหตุเนื่องจากน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่าความ สกปรกน้อย และค่าความสกปรกมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลเนื่องมาจากการเจือจางของน้ำฝน ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และค่าความเป็นกรด - ด่าง มีความสัมพันธ์กับปริมาณแคลเซียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนมากกว่าประสิทธิภาพการบำบัด และค่าความสกปรกในรูป BOD ของระบบบำบัด หรือพารามิเตอร์อื่นๆ

4.6.2 จากการศึกษาพบว่า น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามี ค่าความสกปรกในรูปของ BOD เท่ากับ 81.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า ความสกปรกในรูปของ BOD เท่ากับ 8.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าความสกปรกในรูปของ BOD ของ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ซึ่ง กำหนดให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าความสกปรกในรูปของ BOD ได้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นทางโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาสามารถลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียสำหรับบางขั้นตอนได้ เช่น การเติมอากาศเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ถังดักกรวดและทราย จากเดิมน้ำเสียจะอยู่ในถังนี้ประมาณ 20 นาที ในขณะที่เดียวกันจะมีการเติมอากาศตลอดเวลา เพื่อเป็นการประหยัดไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการ เติมอากาศอาจลดเวลาในกระบวนการนี้ลง หรืออาจลดปริมาณพอลิเมอร์ประเภทประจุบวกที่ใช้ช่วย ให้ตะกอนจับตัวกันแล้วตกลงสู่ก้นถัง ซึ่งตัวอย่างที่เสนอไปนั้นสามารถทำได้แต่ค่าความสกปรกใน รูปของ BOD ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะต้องไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.6.3 ในกรณีที่มีปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในกากตะกอนมากจนอาจก่อให้เกิด อันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ สามารถนำความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน และลักษณะ สมบัติต่าง ๆ ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดทั้งสองแห่งนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อลดปริมาณโลหะหนักใน กากตะกอนได้ สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียสี่พระยา สามารถลดการปนเปื้อนโลหะหนักทั้งสามชนิด ในกากตะกอนของได้โดย การปรับสภาพน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดให้เป็นกรดมากขึ้น (ทำให้ค่า pH น้อยลง) เพื่อลดปริมาณตะกั่วและปรอทในกากตะกอน และทำให้น้ำเสียมีความสะอาดมากขึ้น โดยมีของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลง (ทำให้ค่า SS และ TDS ลดลง) เพื่อลด ปริมาณแคลเซียมและตะกั่วที่ปนเปื้อนในกากตะกอน แต่ในความเป็นจริงแล้วปริมาณโลหะหนักทั้ง สามชนิดในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมี ชีวิต อย่างไรก็ตามหากได้มีการลดปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนลงก็ย่อมทำให้ผู้ที่นำกากตะกอน ไปใช้มีความมั่นใจในการนำไปใช้มากขึ้น และจะไม่เกิดการสะสมในดินมากเกินไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

สมการที่ใช้คาดการณ์ปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทในกากตะกอนของ โรงบำบัดน้ำเสียสีพระยา คือ

$$Y_{Cd} = 0.010TDS - 3.267 \dots\dots\dots(5)$$

$$Y_{Pb} = 0.0432 - 98.952Pb_{eff} + 0.0018SS \dots\dots\dots(6)$$

$$Y_{Hg} = 0.463 \text{ pH} - 3.111 \dots\dots\dots(7)$$

เมื่อ	Y_{Cd}	=	ความเข้มข้นของแคดเมียมในกากตะกอน (mg/kg)
	Y_{Pb}	=	ความเข้มข้นของตะกั่วในกากตะกอน (mg/kg)
	Y_{Hg}	=	ความเข้มข้นของปรอทในกากตะกอน (mg/kg)
	TDS	=	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำเสียก่อนบำบัด(mg/l)
	Pb_{eff}	=	ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียหลังการบำบัด (mg/l)
	SS	=	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียก่อนบำบัด (mg/l)
	pH	=	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำเสียก่อนบำบัด

กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม เนื่องจากมีธาตุอาหาร และอินทรีย์วัตถุมาก ส่วนปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และปรอทนั้นมีอยู่ในปริมาณน้อย สามารถนำไปใส่ในดินเพื่อเป็นสารปรับปรุงคุณภาพดินสำหรับการเพาะปลูกได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ตามเกณฑ์ที่กำหนดปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อใช้ในการเพาะปลูกของประเทศอังกฤษ ฝรั่งเศส เยอรมัน และเนเธอร์แลนด์

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

5.2.1 ควรให้มีการศึกษาถึงปริมาณ โลหะหนักกับปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ต่าง ๆ (coagulant) ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ตกตะกอนในตอนแรกของระบบตะกอนเร่ง ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีความสัมพันธ์กันและสามารถนำไปใช้สร้างสมการเพื่อการคาดการณ์ปริมาณ โลหะหนักได้

5.2.2 ควรมีการศึกษาเพื่อลดปริมาณ โลหะหนักในกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กัลยา สุนทรวงศ์สกุล . 2537 . อิทธิพลของโลหะหนักต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดินและความเสี่ยงต่อเชื้อ
ซาลโมเนลลา เนื่องจากการนำกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการ
เกษตร . วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ . 2539 . การบำบัดน้ำเสีย . กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์ .
- จิณัฐดา วัดคำ และ ปวีณา ค่านกุล . 2540 . การศึกษาคุณสมบัติของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำ
เสียชุมชนเพื่อใช้ปรับปรุงดิน . โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชา
วิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .
- ไชยบุทธิ์ กลิ่นสุคนธ์ . 2536 . ข้อพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทย . ใน ธงชัย
พรรณสวัสดิ์ มีนา พิทยโสภณกิจ และปราณี พันธุมสินชัย (บรรณาธิการ) , เทคโนโลยี
การควบคุมมลพิษ . กรุงเทพมหานคร : ฟ้าวันอาร์ตพับลิชชิง .
- นโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม , สำนัก . 2542 . รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2540 .
กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมูปก .
- ปรีชญา ธัญญาดี พิทยากร ลิมทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวโรจน์ . 2535 . การผลิตปุ๋ยหมักเป็น
อุตสาหกรรม ใน การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุ . กลุ่มอินทรีย์วัตถุและวัสดุเหลือ
ใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ .
- โปรเกรสเทคโนโลยีคอนซัลแทนส์จำกัดร่วมกับ Metcalf & Eddy International , Inc. และกอง
ควบคุมการระบายน้ำ สำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานคร . 2542 . โครงการศึกษาความเหมาะ
สมในการจัดเก็บค่าบริการบำบัดน้ำเสียในเขตกรุงเทพมหานคร (รายงานการศึกษาขั้นสุด
ท้าย) . (ม.ป.ท.) .
- ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . 2542 . โครงการ
ศึกษาสำรวจข้อมูลพื้นฐานเพื่อการจัดการน้ำเสีย อาคารส่วนราชการประเภทต่าง ๆ ใน
กรุงเทพมหานคร . (ม.ป.ท.) .
- ศุภฤกษ์ สีนสุพรรณ . 2526 . การประปาและการควบคุมมลภาวะ . เล่มที่ 1 : การรวบรวมและลำเลียง
น้ำและน้ำเสีย . คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น .

- ศิริณี ศิริสุขโขม . 2535 . ผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักในพืชผัก บริเวณพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดปทุมธานี . วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .
- สมใจ กาญจนวงศ์ . 2532 . การจัดการคุณภาพน้ำ . ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ .
- สถิติแห่งชาติ , สำนักงาน . 2542 . สมุดสถิติรายปีประเทศไทย 2542 (ฉบับย่อ) . กรุงเทพมหานคร : กองคลังข้อมูลและสนเทศสถิติ สำนักงานสถิติแห่งชาติ .
- อรรณพ หอมจันทร์ . 2535 . ความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิดจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อผักคะน้า (*Brassica oleracea L. Var. alboglabra Bailey*) และผักกาดหอม (*Lactuca sativa L.*) ในสภาพเรือนทดลอง . วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .
- อรรวรรณ ศิริรัตนพิริยะ . 2529 . การใช้ประโยชน์กากตะกอนของเสียในรูปของปุ๋ยสำหรับพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดฉะเชิงเทรา . กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .

ภาษาอังกฤษ

- Alabaster , J.S. and Lloyd , R. 1980 . Water Quality Criteria for Fresh water Fish . Butterworths , London .
- American Public Health Association , American Water Works Association and Water Environmental Federation . 1995 . Standard method for the examination of water and wastewater . 19th ed. Washington D.C.
- Atkins , E.D. and Hawley , J.R. 1978 . Source of Metals and Metal Levels in Municipal Waste Waters . Environment Canada , Ottawa .
- Bardos , R.P. ; Hardley , P. and Kendle , A. 1992 . Composting guidance in the United Kingdom . Biocycle . 33 : 60-62.
- Barnes , S. 1998 . Land application of biosolids – issues and guidelines . In Pollution Control Department (eds.) , International Conference and Exhibition on Pollution Prevention and Control , Queen Sirikit National Convention Center Bangkok , Thailand , Nov 12 – 16 , 1997 .

- Chaney, R.L. 1982 . Fate of toxic substances in sludge applied to crop land . Processings International Symposium Land Application of Sewage Sludge . , quoted in Kuntz , H. ; Pluquet , E. ; Strark , J.H. and Coopioia , S. Current Techniques for the Evaluation of Metal Problems Due to Sludge . In P.L'Hermite , and H.Ott (eds.) , Processing and use of sewage sludge . Holland : D.Reidal .
- De Bertoldi , M. ; Civilini , M. and Comi , G. 1990 . MSW compost standards in the European Community . Biocycle . 31 : 60-62.
- Demoya , A. ; Taylor , M.C. ; Taylor , K.W. and Hodson , P.V. 1982 . Toxic effects of lead and lead compounds on human health, aquatic life , wild life , plants and livestock . Crit. Rev. Environ. Control . 12 : 133.
- Forestry Commission . 1992 . A Manual of Good Practice for the Use of Sewage Sludge in Forestry . Bulletin 107 , HMSO , London.
- Forster , C.F. 1976 . Bioflocculation in the activated sludge process . Water SA . 10 : 71.
- Geneveni , P.L. ; Zaccheo , P. ; Garbarino , A. and Mezzanotte , V. 1984 . Utilization and agricultural value of dried digested sewage sludge from a domestic and industrial sewage plant . In P.L' Hermite and H.Ott (eds.) , Processing and use of sewage sludge . pp. 306-309.
- Gurkewitz , S. 1989 . Yard debris compost testing . Biocycle . 30 : 58 - 60 .
- Kiff , R.J. 1978 . A study of the factors affecting bioflocculation in the activated sludge process . Water Pollut. Control . 77 : 464.
- Kunz , R.G. ; Gianelli , J.F. and Stensel , H.D. 1976 . Vanadium removal from industrial waste waters . J. Water Pollut. Control Fed. . 48 : 762.
- Lester , J.N. 1987 . Heavy Metals in Wastewater and Sludge Treatment Processes . Vol 1 : Sources , Analysis and Legislation . Florida : CRC Press.
- Lutz , W. 1984 . Austria 's quality requirements for solid waste compost : effects on crop yields and soil properties . Biocycle . 2 : 89 - 92.
- Magara , Y. ; Nambu , S. and Utosawa , K. 1976 . Biochemical and physical properties of an activated sludge on setting characteristics . Water Res. . 10: 71.

- Magos , L. ; Tuffery , A.A. and Clarkson ,T.W. 1964 . Volatilization of mercury by bacteria . Br. J. Ind. Med. 21 : 294.
- Neufeld , R.D. 1976 . Heavy metals induced deflocculation of activated sludge . Water Pollut. Control Fed. . 48 : 1940.
- NSWEPA . 1995 . Draft Environment Guidelines for the Use and Disposal of Biosolids Products . Sydney , Australia.
- O'Neill , P. 1990 , 1991 . Environmental Chemistry . 2nd ed . London : Chapman & Hall.
- Oosthoek , J. and Vam , N.V. 1986 , 1987 . Extraction and dosage of heavy metals from compost amended soil . In M. De Bertoldi , M.P. Ferranti , P, L'Hermite and F, Zucconi (eds.) , Compost : production , quality and use . Elsevier Applied Science.
- Page , A.L. , Miller , R.H. and Keeney , D.R. 1984 . Method of soil analysis . 2nd ed. Soil Science Society of American , Inc.
- Pasrkpin , P. ; Sirisukhodom , S. ; and Carbonell - Barrachina , A.A. 1998 . Heavy metals and nutrients chemistry in sewage sludge amended Thai soils . Journal of Environmental Science and Health Part A -Toxic - Hazardous Substances & Environmental Engineering . 33 : 573 - 597.
- Robert , L.S. 1994 . Source seperated composts analyzed for quality . Biocycle . 35 : 30-33.
- Singleton , F.L. and Guthrie , R. K. 1977 . Aquatic bacterial populations and heavy metals . I . Composition of aquatic bacteria in the presence of copper and mercury salts . Water Res. . 11 : 639.
- Webber , M.D. ; Kloke , A. and Jell , J.C. 1984 . A review of current sludge use guideline for the control of heavy metal contamination in soils . In P.L'Hermite , and H.Ott (eds.) , Processing and use of sewage sludge . Holland : D.Reidal .
- Yamada , M. ; Dazai , M. and Tomomura , K. 1959 . Change of mercurial compounds in activated sludge . J. Ferment. Technol. . 47 : 155.



ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
คุณลักษณะน้ำเสีย	10/6/42	23/6/42	30/6/42	7/7/42	14/7/42	21/7/42	29/7/42	4/8/42	11/8/42	18/8/42	25/8/42	1/9/42	8/9/42	15/9/42
PH														
● ก่อนบำบัด (mg/l)	7.10	7.16	7.29	6.83	6.94	7.09	6.97	6.67	6.56	7.11	6.83	7.04	6.49	5.65
● หลังบำบัด (mg/l)	7.00	7.00	7.10	7.10	7.00	6.90	7.00	6.90	7.20	7.10	7.00	7.10	7.00	6.50
BOD														
● ก่อนบำบัด (mg/l)	76.9488	58.5690	62.7380	47.8130	66.1560	38.6490	95.9990	245.320	289.680	62.5020	150.303	63.3510	48.5578	90.9236
● หลังบำบัด (mg/l)	6.3437	8.0052	9.1259	8.8072	11.8880	6.8353	19.7441	8.2428	10.7761	5.2609	23.6703	19.2254	14.8862	7.7483
% Removal Efficiency	91.7560	86.3320	85.4540	81.5800	82.0304	82.3145	79.4330	96.6400	96.2800	91.5828	84.2516	69.6526	69.3683	91.4783
COD (mg/l)	128.248	71.7840	104.563	239.980	114.796	240.000	240.000	337.542	394.400	157.423	128.833	54.338	69.368	93.701
SS (mg/l)	32.7	31.8	47.3	46.0	154.9	46.9	17.0	287.5	352.4	143.5	24.5	15.0	1.0	90.0
TDS (mg/l)	332.4	314.2	154.5	371.0	304.9	280.7	307.0	440.0	242.9	352.4	443.3	288.4	414.3	345.0
Cadmium														
● ก่อนบำบัด (mg/l)	0.1053	0.1179	0.1382	0.1478	0.1661	0.0591	0.2531	0.0443	0.0146	0.0125	0.0239	0.0302	0.0349	0.0409
● หลังบำบัด (mg/l)	0.1098	0.1181	0.1327	0.1510	0.0536	0.0628	0.0280	0.0304	0.0174	0.0143	0.0292	0.0245	0.0357	0.0391
Lead														
● ก่อนบำบัด (mg/l)	0.0066	0.0022	0.0021	N.D.	0.0052	0.0021	N.D.	0.0047	0.0103	0.0044	0.0001	0.0035	0.0046	0.0030
● หลังบำบัด (mg/l)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0032	0.0059	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0034	N.D.	N.D.
Mercury														
● ก่อนบำบัด (mg/l)	0.0085	N.D.	0.0035	0.0067	0.0076	0.0066	0.020	0.0140	0.0320	0.0286	0.0964	0.0413	0.0122	0.0426
● หลังบำบัด (mg/l)	0.0175	N.D.	0.0102	0.0445	0.0661	0.0525	0.0397	0.0134	0.0421	0.0154	0.0186	0.0249	0.0257	0.0376

หมายเหตุ N.D. หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบ

ตารางที่ ก.1 คุณลักษณะน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา (ต่อ)

ตัวอย่าง	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	MEAN	SD.
คุณลักษณะน้ำเสีย	22/9/42	29/9/42	6/10/42	13/10/42	20/10/42	27/10/42	3/11/42	10/11/42	17/11/42	24/11/42	1/12/42	8/12/42	15/12/42	-	-
pH															
● ก่อนบำบัด (mg/l)	7.02	6.92	6.91	6.35	7.52	6.48	6.17	6.05	6.27	6.90	6.56	6.87	6.51	6.7504	0.4146
● หลังบำบัด (mg/l)	7.00	7.00	7.00	6.80	7.30	6.90	6.70	6.80	6.90	7.10	6.80	6.90	6.90	6.962	0.160
BOD															
● ก่อนบำบัด (mg/l)	177.980	53.7277	33.5560	73.010	38.395	81.638	31.448	119.95	55.217	33.373	53.260	23.136	34.737	81.749	64.674
● หลังบำบัด (mg/l)	7.1475	5.0050	3.5660	6.1260	4.3466	8.1638	5.1532	5.7367	3.2837	6.6647	4.3153	2.4372	0.6012	8.7527	5.9988
% Removal Efficiency	95.9841	90.6845	89.3730	91.609	88.679	89.991	83.613	95.221	94.053	80.027	91.898	89.463	98.269	87.675	7.4813
COD (mg/l)	303.600	71.400	52.846	202.21	66.974	77.440	92.376	141.99	72.129	67.120	53.312	203.06	103.48	140.37	97.656
SS (mg/l)	6.4	26.6	30.0	157.5	24.1	43.4	29.0	71.7	40.0	25.7	28.7	205.0	43.3	74.9	87.7
TDS (mg/l)	400.6	273.4	287.5	320.0	262.1	171.7	219.4	261.7	28303	214.2	211.5	116.7	246.7	291.1	82.3
Cadmium															
● ก่อนบำบัด (mg/l)	0.0432	0.0516	0.0282	0.0298	0.0302	0.0341	0.0338	0.0235	0.0267	0.0265	0.0306	0.0344	0.0332	0.0600	0.0574
● หลังบำบัด (mg/l)	0.0430	0.0546	0.0318	0.0325	0.0376	0.0248	0.0252	0.0318	0.0322	0.0342	0.0342	0.0222	0.0265	0.0473	0.0364
Lead															
● ก่อนบำบัด (mg/l)	0.0026	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0035	0.0005	N.D.	0.0027	0.0062	N.D.	0.0013	0.0024	0.0026
● หลังบำบัด (mg/l)	N.D.	N.D.	0.0021	N.D.	N.D.	N.D.	0.0025	0.0031	0.0038	0.0032	0.0028	0.0027	0.0020	0.0013	0.0017
Mercury															
● ก่อนบำบัด (mg/l)	0.0106	0.0079	0.0287	0.0138	0.0072	0.0255	0.0196	0.0030	0.0320	0.0034	0.0128	0.0063	0.0132	0.0131	0.0106
● หลังบำบัด (mg/l)	0.0127	0.0188	0.0187	0.0164	0.0135	0.0193	0.0208	0.0065	0.0044	0.0283	0.0078	0.0114	0.0155	0.0155	0.0098

หมายเหตุ N.D. หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบ

ตารางที่ ก.2 คุณลักษณะของกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
คุณลักษณะกากตะกอน	10/6/42	23/6/42	30/6/42	7/7/42	14/7/42	21/7/42	29/7/42	4/8/42	11/8/42	18/8/42	25/8/42	1/9/42	8/9/42	15/9/42
pH	6.60	6.70	6.71	6.69	6.85	6.72	6.98	6.76	6.60	6.79	6.80	6.71	6.81	6.62
Moisture content (%)	83.3615	85.0800	84.7650	83.6450	82.6949	79.7842	85.0934	81.3760	79.5683	81.5606	83.5369	83.3036	83.7310	83.2194
Total solids (%)	16.6385	14.9200	15.2350	16.3550	17.3051	20.2158	14.9066	18.6240	20.4317	18.4394	16.4631	16.6964	16.2614	16.7806
Volatile solids (%)	7.4305	8.3820	8.4240	8.6346	9.1269	10.1107	7.4446	9.4378	10.5188	9.3517	8.1410	8.2548	8.2497	8.3291
Ash (%)	9.2085	6.5375	6.8114	7.7205	8.1782	10.1052	7.4620	9.1862	9.9761	9.0877	8.3221	8.4419	8.0117	8.4516
Nitrogen (%)	2.02	2.17	2.29	2.35	2.43	2.29	2.43	2.50	2.57	2.43	2.51	2.16	2.46	2.12
Phosphorus (%)	0.0579	0.0432	0.0427	0.0644	0.0592	0.0710	0.0607	0.0684	0.0701	0.0667	0.0623	0.0598	0.0661	0.0675
Potassium (%)	0.1519	0.1570	0.1601	0.1598	0.1497	0.1512	0.1787	0.1697	0.1594	0.1757	0.1667	0.1712	0.1687	0.1580
Organic matter (%)	7.4300	8.3525	8.4236	8.6345	9.1269	10.1106	7.4446	9.4378	10.4556	9.3517	8.1410	8.2545	8.2573	8.3290
Organic carbon (%)	4.1278	4.6568	4.6800	4.7969	5.0705	5.6171	4.1359	5.2432	5.8262	5.1954	4.5228	4.5858	4.5832	4.6273
Heating value (cal/g)	2645.60	2551.83	2554.12	2499.03	2450.12	2548.51	2266.47	2214.05	2093.79	2341.86	2009.55	2389.64	2590.34	2377.45
Sulfur (%)	0.0776	0.0302	0.0424	0.0329	0.0267	0.0548	0.0606	0.3599	0.1764	0.1429	0.1717	0.0248	0.0784	0.0621
Cadmium (mg/kg)	6.950	3.680	4.015	4.305	4.480	3.440	1.815	4.455	4.635	4.820	4.930	4.870	5.240	5.025
Lead (mg/kg)	1.350	0.990	0.950	1.000	0.765	0.460	0.315	1.660	1.570	1.420	0.870	0.790	1.130	0.800
Mercury (mg/kg)	1.7623	1.7373	1.1738	1.1916	0.4473	0.0074	0.3903	0.6586	0.5120	0.1173	0.1285	0.6356	0.3185	0.1230

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 คุณลักษณะของกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา (ต่อ)

ตัวอย่าง	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	MEAN	SD.
คุณลักษณะกากตะกอน	22/9/42	29/9/42	6/10/42	13/10/42	20/10/42	27/10/42	3/11/42	10/11/42	17/11/42	24/11/42	1/12/42	8/12/42	15/12/42	-	-
pH	6.80	6.89	6.79	6.71	6.81	6.91	6.88	6.62	6.74	6.79	6.75	6.81	6.72	6.7615	0.0948
Moisture content (%)	80.781	82.648	83.519	85.070	81.924	74.960	83.005	79.738	82.186	80.471	82.910	83.480	82.236	82.357	2.1752
Total solids (%)	19.219	17.352	16.481	15.071	18.077	25.039	16.995	20.262	17.814	19.529	17.090	16.520	17.764	17.648	2.1687
Volatile solids (%)	10.003	9.2425	8.7048	7.5294	8.8008	11.866	7.8245	9.5031	9.0040	9.7533	8.6082	9.4491	9.5656	8.9515	1.0056
Ash (%)	9.2160	8.1094	7.7760	7.5421	9.2757	13.174	9.1704	10.759	8.8104	9.7761	8.4818	7.0707	8.1987	8.6985	1.3550
Nitrogen (%)	2.37	2.59	2.48	2.37	2.29	2.40	2.39	2.22	2.54	2.40	2.37	2.49	2.41	2.3722	0.1406
Phosphorus (%)	0.0687	0.0575	0.0602	0.0562	0.0559	0.0504	0.0611	0.0587	0.0529	0.0550	0.0627	0.0634	0.0645	0.0603	0.0072
Potassium (%)	0.1577	0.1624	0.1639	0.1708	0.1646	0.1586	0.1626	0.1599	0.1688	0.1675	0.1743	0.1701	0.1688	0.1629	0.0089
Organic matter (%)	10.003	9.2425	8.7048	7.3884	8.8008	11.866	7.8245	9.5031	9.0040	9.7533	8.6082	9.4492	9.5656	8.9442	1.010
Organic carbon (%)	5.5572	5.1347	4.8360	4.1830	4.8893	6.5920	4.3469	5.2795	5.0022	5.4185	4.7823	5.2496	5.3142	4.9724	0.5576
Heating value (cal/g)	2252.1	2404.5	2488.8	2260.9	2063.9	2654.1	2306.1	2440.2	2378.9	2588.7	2250.2	2379.9	2411.0	2385.6	172.19
Sulfur (%)	0.1233	0.0635	0.0670	0.0000	0.0000	0.0579	0.0781	0.0884	0.0286	0.0261	0.0252	0.0884	0.0612	0.0759	0.0727
Cadmium (mg/kg)	2.010	1.990	2.020	2.130	2.300	-	1.640	1.765	1.940	1.585	1.930	1.425	16.40	3.2740	1.5665
Lead (mg/kg)	0.580	1.430	1.265	0.980	1.640	0.995	-	0.835	1.160	0.565	0.605	1.360	0.800	1.0010	0.3911
Mercury (mg/kg)	0.1738	0.1987	0.2579	0.2923	0.1613	-	0.1810	0.2516	0.2900	0.3542	0.2852	0.2387	0.2694	0.5108	0.4845

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่มีข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลจากโรงพยาบาลน้ำเสียน้ำเสียที่พระยา

Regression : Cadmium in sludge

Variables Entered / Removed ^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	TDS	.	Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter $\leq .050$, Probability-of-F-to-remove $\geq .100$).

a. Dependent Variable : CDSLUDGE

Model Summary

Model	R	R square	Adjusted R square	Std. Error of the Estimate
1	.512 ^a	.262	.231	1.373766

a. Predictors : (Constant) , TDS

ANOVA ^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1	Regression	16.051	1	16.051	8.505	.008 ^a
	Residual	45.294	24	1.887		
	Total	61.344	25			

a. Predictors : (Constant) , TDS

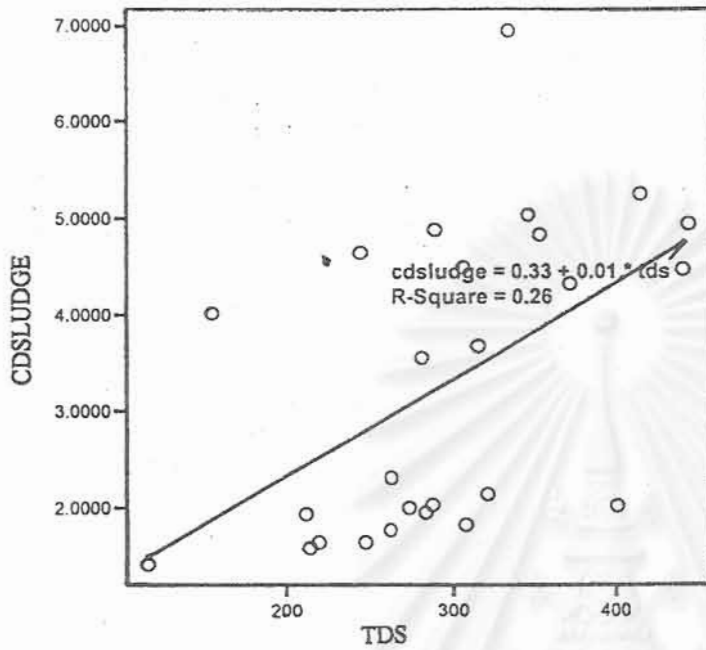
b. Dependent Variable : CDSLUDGE

Coefficients ^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.326	1.046		.312	.758
	TDS	9.970E-03	.003	.512	2.916	.008

a. Dependent Variable : CDSLUDGE

Interactive Graph



Regression : Lead in sludge

Variables Entered / Removed ^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	PBPOST		Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).
2	SS		Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a. Dependent Variable : PBSLUDGE

Model Summary ^c

Model	R	R square	Adjusted R square	Std. Error of the Estimate
1	.514 ^a	.264	.234	.354849
2	.633 ^b	.400	.350	.326961

- a. Predictors : (Constant) , PB_{eff}
 b. Predictors : (Constant) , PB_{eff} , SS
 c. Dependent Variable : PBSLUDGE

ANOVA ^c

Model		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1	Regression	1.129	1	1.129	8.963	.006 ^a
	Residual	3.148	25	.126		
	Total	4.277	26			
2	Regression	1.711	2	.855	8.002	.002 ^b
	Residual	2.566	24	.107		
	Total	4.277	26			

- a. Predictors : (Constant) , PB_{eff}
 b. Predictors : (Constant) , PB_{eff} , SS
 c. Dependent Variable : PBSLUDGE

Coefficients ^a

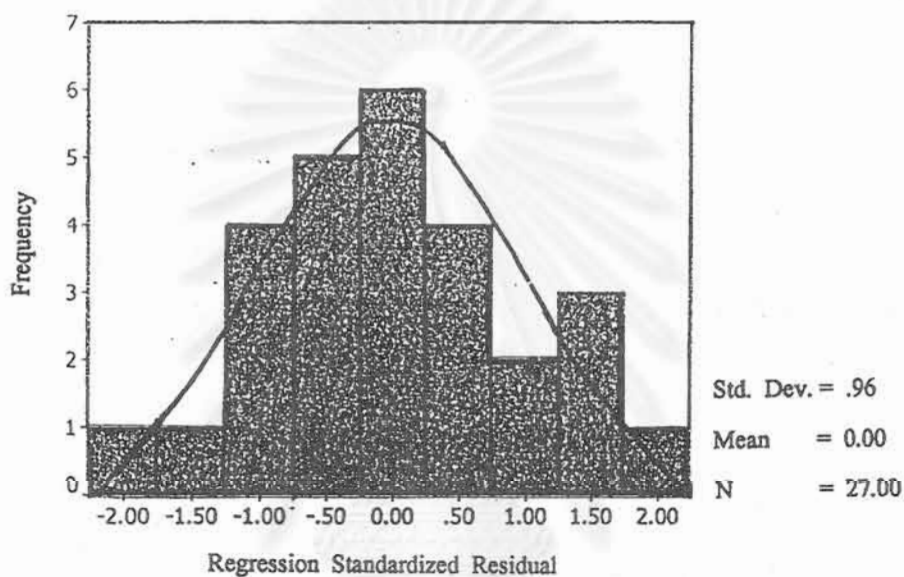
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.132	.086		13.164	.000
	PB_{eff}	-121.785	40.679	-.514	-2.994	.006
2	(Constant)	.971	.105		9.227	.000
	PB_{eff}	-98.952	38.738	-.417	-2.554	.017
	SS	1.765E-03	.001	.381	2.334	.028

- a. Dependent Variable : CDSLUDGE

Charts

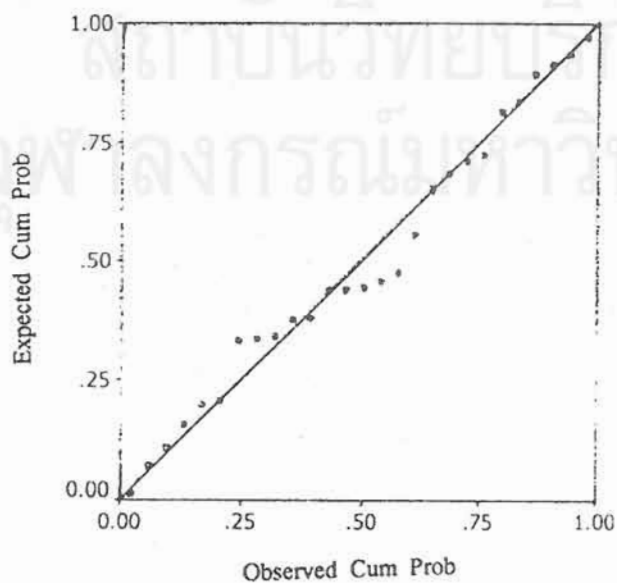
Histogram

Dependent Variable : PBSLUDGE



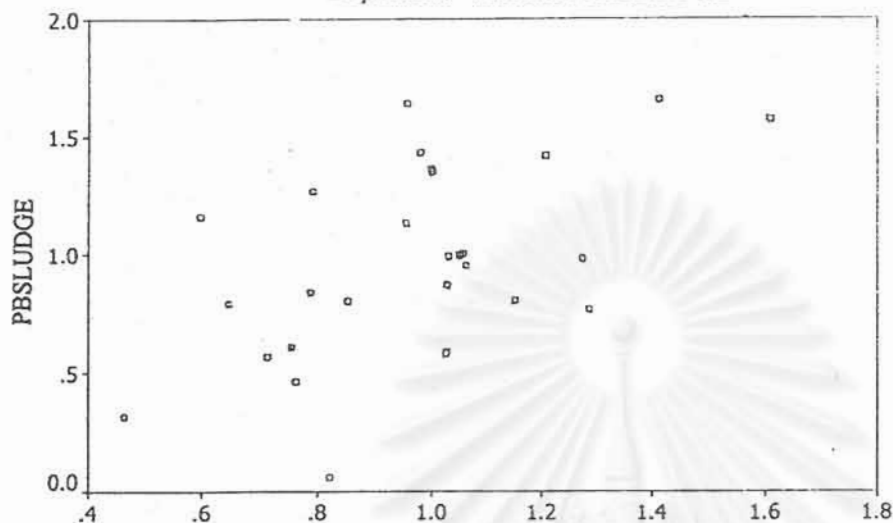
Normal P-P Plot of Regression Standard

Dependent Variable : PBSLUDGE



Scatter

Dependent Variable : PBSLUDGE



Regression : Mercury in sludge

Regression Adjusted (Press) Predicted Value

Variables Entered / Removed ^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	pH		Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter \leq .050, Probability-of-F-to-remove \geq .100).

a. Dependent Variable : HGSLUDGE

Model Summary

Model	R	R square	Adjusted R square	Std. Error of the Estimate
1	.400 ^a	.160	.125	.453175

a. Predictors : (Constant), pH

ANOVA ^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1	Regression	.940	1	.940	4.577	.043 ^a
	Residual	4.929	24	.205		
	Total	5.869	25			

a. Predictors : (Constant), pH

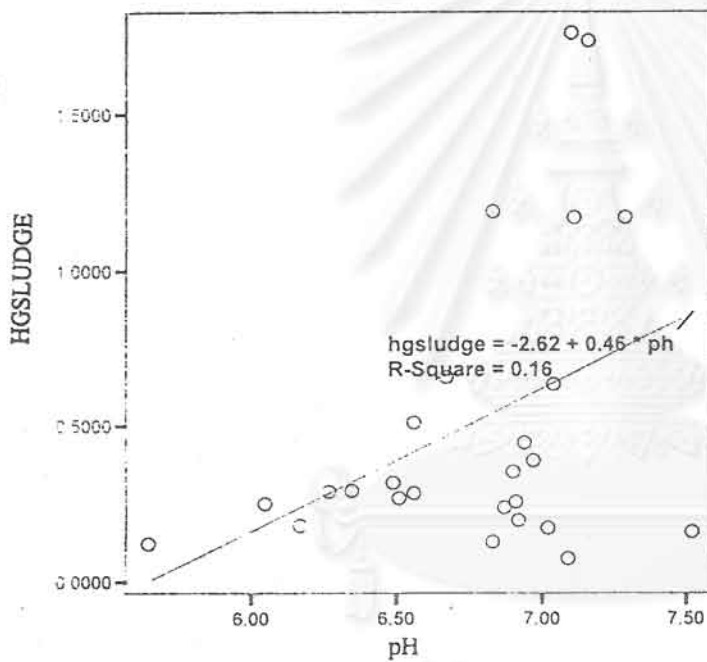
b. Dependent Variable : HGDGE

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-2.616	1.464		-1.787	.087
	pH	.463	.216	.400	2.139	.043

a. Dependent Variable : CDSLUDGE

Interactive Graph



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย