

## บทที่ 2

### บททวนเอกสาร

#### 2.1 ลักษณะของน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียได้แก่น้ำที่ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ แล้วถูกระบายทิ้ง น้ำเสียมีสิ่งเจือปนซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โลหะหนัก หรือสารมีพิษต่าง ๆ ทำให้น้ำนั้นไม่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้อีก และประเภทของน้ำเสียที่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติมากที่สุด ได้แก่ น้ำเสียจากชุมชน ดังตารางที่ 2.1 แสดงถึงความสกปรกของน้ำในรูปบีโอดีของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาที่ไหลผ่านกรุงเทพมหานคร 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 ทราาย กรวด หิน

ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของน้ำเสียชุมชนเป็นสารอินทรีย์ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ลิคนิน (เป็นสารที่ประกอบไปด้วย C, H, O ซึ่งพบในไม้ต่าง ๆ) ไขมัน สบู่ ผงซักฟอกต่าง ๆ ซึ่งจะมีทั้งชนิดที่ยากแก่การย่อยสลายทางชีววิทยา (hard detergent) และชนิดที่สามารถย่อยสลายทางชีววิทยาได้ (soft detergent) และสำหรับสารอนินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียประกอบไปด้วยเกลือ และแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น กรวด ทราาย 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 : สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม 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 <sub>3</sub> (mg/l)	28.92	33.16	-	5.71	-
Total Coliform Bacteria (MPN/100 ml)	24 x 10 <sup>6</sup>	2400 x 10 <sup>6</sup>	-	11 x 10 <sup>6</sup>	-
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 ประเภทของแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดน้ำเสียมากที่สุด คือ น้ำเสียจากแหล่งที่อยู่อาศัย 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
<b>รวม</b>	<b>100.00</b>		<b>100.00</b>

ที่มา : บริษัท โปรแกรสเทคโนโลยีคอนซัลแตนท์ และ Metcalf & Eddy Internation , Inc.

(final draft) 2541.

### โรงบำบัดน้ำเสียที่สำคัญ ได้แก่

#### 2.2.1 โรงบำบัดน้ำเสียสีพระยา

โรงบำบัดน้ำเสียสีพระยาดำเนินการก่อสร้างโดยบริษัทไฮโครเทค และบริษัท 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

กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสีพระยาเริ่มจาก น้ำเสียจากแหล่งที่อยู่อาศัยจะไหลลงในท่อระบายน้ำ และไหลมารวมกันในท่อรวบรวมน้ำเสีย (interceptor) ซึ่งท่อรวบรวมน้ำเสียที่จะนำน้ำเสียเข้าสู่โรงบำบัดสีพระยานี้มี 2 สาย คือ ท่อรวบรวมน้ำเสียถนนกรุงเกษม โดยเลียบมาตามคลองผดุงกรุงเกษม อีกสายหนึ่งมาตามถนนสีพระยา เมื่อน้ำเสียมาถึงบริเวณ โรงบำบัดน้ำเสียสีพระยา จะต้องผ่านเครื่องคัดกขยะหยาบและเครื่องคัดกขยะละเอียด

ตารางที่ 2.5 โรงบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในความดูแลของกองควบคุมน้ำเสีย สำนักงานระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2540

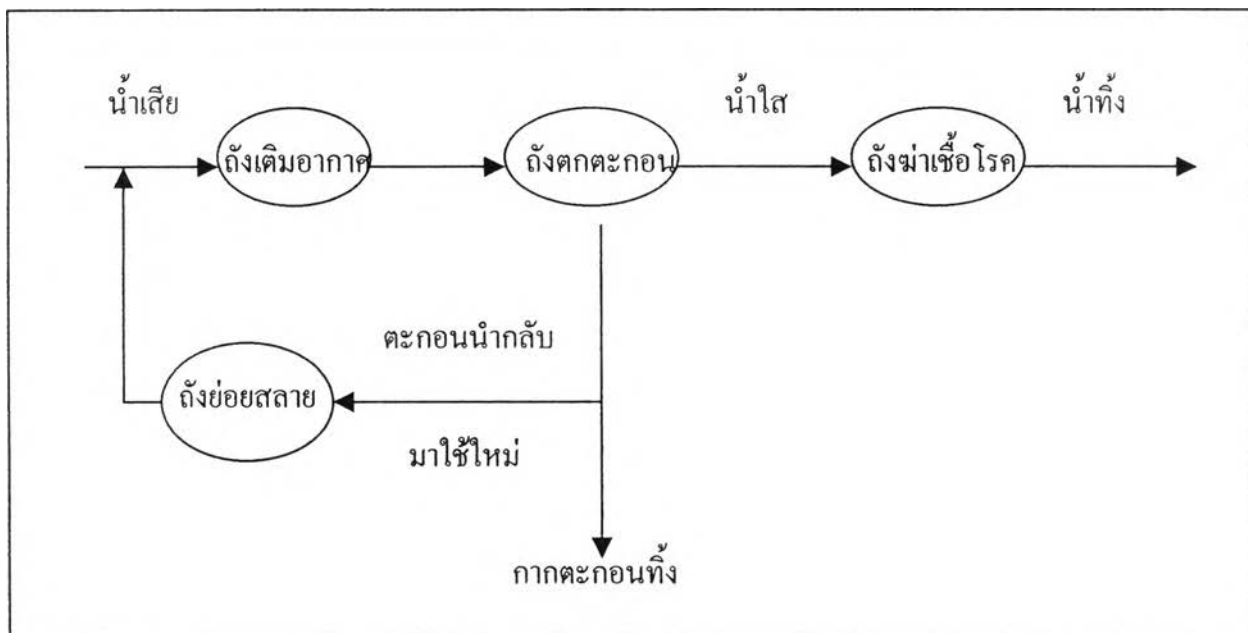
ข้อมูลเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย	โรงบำบัดน้ำเสีย									
	อ่อนนุช	พระราม 9	พุทธมณฑลสาย 2	ห้วยขวาง	เคหะชุมชนบางนา	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง 1	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง 2	สีพระยา	เคหะชุมชนคลองจั่น	เคหะชุมชนรามอินทรา
ระบบที่ใช้	Chemical treatment	Biological treatment	Aerated lagoon	Activated Sludge	Activated Sludge	Aerated lagoon	Activated Sludge	Combined System	Activated Sludge	Activated Sludge
ที่ตั้งระบบ	ซอยอ่อนนุช 86 ถ.สุขุมวิท 77	บริเวณคลองลาดพร้าวรรจบกับคลองแสนแสบ	คูข้างถ.พุทธมณฑลสาย 2ตัดถนนเพชรเกษม	เคหะชุมชนห้วยขวาง	เคหะชุมชนบางนา	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง	ปากคลองผลุงกรุงเกษม	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 <sub>3</sub> - N	-	-	-	-	26.8	25.8	52.2	-	-	-
8. T - P	-	-	-	-	2.9	4.42	39.8	-	-	-
9. NO <sub>3</sub> - N	-	-	-	-	0.2	-	5.17	-	-	-
10. NO <sub>2</sub> - N	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-

ตารางที่ 2.5 โรงบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในความดูแลของกองควบคุมน้ำเสีย สำนักงานระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2540 (ต่อ)

ข้อมูลเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย	โรงบำบัดน้ำเสีย									
	อ่อนนุช	พระราม 9	พุทธมณฑลสาย 2	ห้วยขวาง	เคหะชุมชนบางนา	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง 1	เคหะชุมชนทุ่งสองห้อง 2	สี่พระยา	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 ต.สุขุมวิท 77	บริเวณคลองลาดพร้าวรอบกับคลองแสนแสบ	คูข้างถ.พุทธมณฑลสาย 2 ตัดถนนพระเกษม	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 <sub>3</sub> - N	-	-	-	-	20.60	20.60	26.40	-	-	-
8. T - P	-	-	-	-	2.10	3.00	3.48	-	-	-
9. NO <sub>3</sub> - N	-	-	-	-	1.40	0.30	0.67	-	-	-
10. NO <sub>2</sub> - N	-	-	-	-	0.02	0.23	0.40	-	-	-

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ 2542.

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



รูปที่ 2.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

น้ำในบ่อจะถูกสูบเข้าไปในกระบวนการโดยแยกเป็น 3 สาย เพื่อทำการบำบัด ในแต่ละสายจะใช้กระบวนการเหมือนกันทั้งหมด โดยขั้นตอนแรก น้ำจะเข้าสู่ถังดักกรวด - ทราย (Aerated Grit Chamber) เพื่อแยกกรวดและทรายออกจากน้ำเสีย ในขณะเดียวกันจะเริ่มเติมอากาศและทำให้น้ำเกิดการปั่นป่วนในแนวตั้ง เพื่อให้กรวดทรายตกลงสู่กันถึงที่เป็นรูปกรวย น้ำเสียจะอยู่ในขั้นตอนนี้ประมาณ 20 นาที

หลังจากนั้นน้ำเสียจะเข้าสู่ถังเติมอากาศ เพื่อให้ น้ำเสียได้สัมผัสกับจุลินทรีย์ เพื่อให้จุลินทรีย์ทำการดูดซับหรือดูดซึมสิ่งสกปรก เมื่อเวลาผ่านไปจุลินทรีย์จะมีน้ำหนักมากขึ้น และพร้อมจะตกตะกอน น้ำเสียจะอยู่ในขั้นตอนนี้ประมาณ 30 นาที ต่อจากถังเติมอากาศ 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 ไปจนถึงชั้นที่ 4 กินเวลารวม 4 ชั่วโมงครึ่ง ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ในถังนี้มีปริมาณ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำกลับเข้าไปใช้ในกระบวนการใหม่ โดยเข้าไปสู่ถังสัมผัส

ตะกอนอีกส่วนหนึ่งเป็นตะกอนส่วนเกิน จะต้องส่งเข้าถังเพิ่มความเข้มข้นของตะกอน (Sludge thickener tank) ภายในถังนี้จะเติมสารพอลิเมอร์ประเภทประจุบวก เพื่อช่วยให้ตะกอนจับตัวตกลงมาได้ง่ายขึ้น หลังจากนั้นก็สูบน้ำตะกอนไปสู่ถังเก็บและย่อยตะกอน (Sludge storage tank) และปล่อยให้มีการย่อยสลายอีกครั้ง ตะกอนในช่วงนี้จะมีลักษณะเหลวเหมือนเลน ชั้นตอนต่อมาคือการรีดตะกอนเหลว ๆ ให้มีลักษณะเป็นกึ่งของแข็งกึ่งของเหลวเหมือนดินเหนียว วิธีการคือส่งผ่านเข้าไปในเครื่องรีดตะกอน (Sludge dewatering machine) ที่มีลักษณะเป็นสายพานบีบตะกอนไล่น้ำออก เมื่อป้อนเข้าไป น้ำจะซึมผ่านสายพานออกไป ส่วนตัวตะกอนจะตกค้างอยู่ ชั้นนี้มีการใช้พอลิเมอร์ตัวเคมีเพื่อช่วยในการจับตัวของตะกอนด้วย ตะกอนที่ได้คือ กากตะกอน (Sludge cake) เป็นตะกอนที่อุดมไปด้วยสารอินทรีย์

## 2.2.2 โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง

โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง เดิมเป็นของการเคหะแห่งชาติ มาก่อน รับการบำบัดน้ำเสียจากแฟลตบริเวณเคหะชุมชนห้วยขวาง ต่อมาได้โอนให้มาอยู่ในความรับผิดชอบของกรุงเทพมหานคร ปัจจุบันโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวางให้บริการอาคารที่พักอาศัยขนาด 4 – 5 ชั้น จำนวน 38 หลัง รวม 3,360 ห้อง สถานีตำรวจห้วยขวาง และอาคารที่พักของเจ้าหน้าที่ตำรวจ ตลาดสด อาคารพาณิชย์ ร้านค้า ศูนย์เยาวชน สนามฟุตบอล คิดเป็นพื้นที่บริการ 82 ไร่ (0.1312 ตารางกิโลเมตร) จำนวนประชากร 16,800 คน สามารถบำบัดน้ำได้ในระดับ 2,400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน



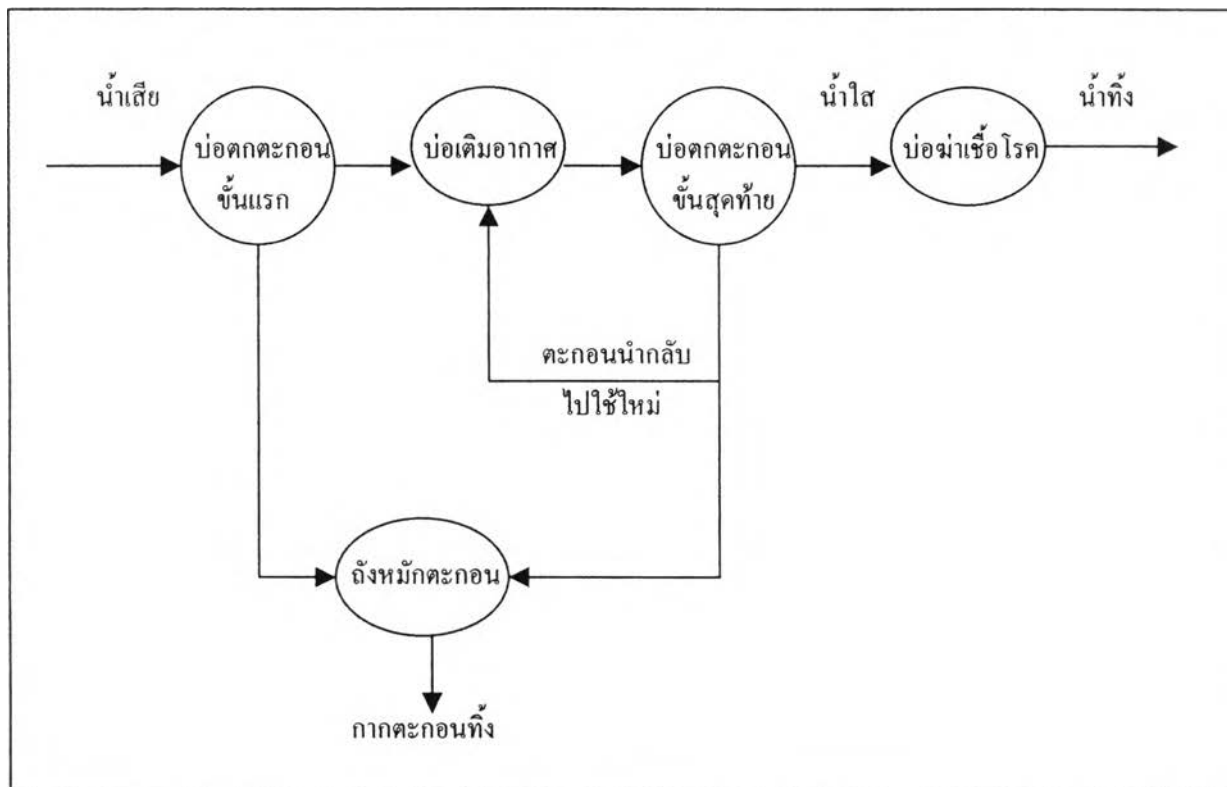
กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวางเป็นแบบตะกอนเร่ง ระบบที่รับน้ำเสียเป็นระบบท่อแยก คือ ท่อรับน้ำเสียและท่อระบายน้ำฝนจะแยกกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 คุณภาพน้ำเสียที่เข้าโรงบำบัดได้แก่ ค่า BOD ประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งแขวนลอยประมาณ 180 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากบำบัดแล้ว ค่า BOD ลดลงเหลือประมาณ 18 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าของแข็งแขวนลอยเหลือ 17 มิลลิกรัมต่อลิตร

กระบวนการบำบัดน้ำเสียเริ่มจาก น้ำเสียไหลผ่านตะแกรงดักขยะเข้าสู่บ่อสูบน้ำเสีย น้ำเสียจะถูกสูบเข้าสู่รางตกตะกอนกรวดทราย โดยใช้เครื่องสูบน้ำแบบเกลียว (Archimed screw pump) ซึ่งมีลักษณะเป็นเกลียวหมุนตักน้ำไหลขึ้นไปข้างบนเข้าสู่รางตกตะกอนรางตกตะกอนมีลักษณะเป็นรางยาว ๆ มีการบีบจนรางเพื่อดักให้กรวดทรายตกตะกอนอยู่บนราง น้ำเสียจะไหลไปตามรางนี้เข้าสู่บ่อตกตะกอนชั้นแรก ลักษณะเป็นบ่อกลมกันบ่อเป็นรูปกรวยในบ่อจะมีการกวนอยู่ตลอด ตะกอนจะตกลงสู่กันถังเพื่อสูบไปยังถังหมักตะกอน ส่วนน้ำใสจะไหลล้นเข้าบ่อเติมอากาศ น้ำเสียจะใช้เวลาอยู่ในบ่อนี้ประมาณ 4 – 6 ชั่วโมง

ต่อมาน้ำจะได้รับการบำบัดในบ่อเติมอากาศ เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้จุลินทรีย์ การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ โดยการที่จุลินทรีย์เข้าไปจับในรูปสารแขวนลอย น้ำใสพร้อมตะกอนแขวนลอยจะไหลไปสู่ขั้นต่อไป

น้ำที่เข้าสู่บ่อตกตะกอนชั้นสุดท้าย ซึ่งตะกอนที่มีน้ำหนักมากจะตกลงสู่กันถัง ตะกอนส่วนหนึ่งจะสูบกลับไปใช้ใหม่ในบ่อเติมอากาศ ส่วนตะกอนอีกส่วนเป็นตะกอนส่วนเกิน จะสูบไปเก็บในถังหมักตะกอนเพื่อลดขนาดตะกอน ส่วนน้ำในขั้นนี้จะฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนอีกชั้นหนึ่ง จึงปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ตะกอนที่สูบเข้าสู่ถังหมักตะกอนก็จะปล่อยให้อยู่ในนั้นเป็นเวลา 7 – 15 วัน จุลินทรีย์จะทำการย่อยตะกอนให้เล็กลงไปอีกประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ในขั้นตอนนี้ได้ก๊าซซึ่งส่วนใหญ่เป็นมีเทนออกมาด้วย ต่อจากนั้นจะนำตะกอนไปบีบอัดให้มีขนาดเล็กลง



รูปที่ 2.2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง

### 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบตะกอนเร่ง

โรงบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในความดูแลของกองควบคุมน้ำเสีย สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ส่วนใหญ่เป็นระบบตะกอนเร่งซึ่งการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบตะกอนเร่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสารอินทรีย์ในน้ำให้มากที่สุดในช่วงเวลาอันสั้น โดยวิธีทางชีววิทยา ซึ่งโดยทั่วไปกระบวนการนี้จะมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงถึงร้อยละ 90 และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะสามารถทิ้งลงแหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม แต่มีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบเช่นกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบทำงานได้ลดลง ได้แก่

#### 1. ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบตะกอนเร่ง ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะส่งผลกระทบต่อเจริญ

เค็บบโคของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีลักษณะเค็บบโคกระจายอยู่ทั่วไป แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำที่ออกจากระบบขุ่น และมีค่าสารอินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออยู่สูง หรืออาจจะเกิดขึ้นในทำนองตรงกันข้าม คือ มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ (มีอาหารน้อย) จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเค็บบโคน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็ก ๆ ตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนขุ่น

## 2. อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม ซึ่งได้แก่ ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งนำมาใช้เป็นพลังงาน ปกติแร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียชุมชน แต่อาจจะไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อกเค็บบโคได้ไม่ดี จนทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใยเจริญเค็บบโคได้ดีมากกว่า ซึ่งจะทำให้ฟล็อกที่เกิดขึ้นตกตะกอนได้ยากและเกิดเป็นชั้นอืดขึ้นมาสูงในถังตกตะกอน และอาจไหลล้นออกมาด้วยน้ำทิ้ง จนระบบไม่สามารถทำงานได้ต่อไป นอกจากนั้น การที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญเค็บบโคได้ไม่ดี จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่าง ๆ ของระบบต่ำลงอีกด้วย

## 3. ออกซิเจนที่ละลายน้ำ

ในถังเค็บบอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูง จุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็จะต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนั้น ที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอึดตัวต่ำ จึงทำให้ต้องใช้ออกซิเจนมาก เมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเค็บบอากาศสูง ในทำนองกลับกัน หากอุณหภูมิต่ำ ก็จะทำให้มีความต้องการการเค็บบอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

#### 4. ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศ จะต้องมีมากพอเพียงที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ หากมีระยะเวลาดำเนินไปสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ๆ จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มีค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก

สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนก็เช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปจะทำให้การตกตะกอนเกิดขึ้นไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปจะทำให้ฟล็อกขาดออกซิเจนและเน่าได้

#### 5. ค่าพีเอช

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

แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชระหว่าง 6.5 - 8.5 ถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 ภาวะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงและฟล็อกจะตกตะกอนได้ไม่ดี ส่วนที่ค่าพีเอชสูงก็จะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกมาจากน้ำ และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีเช่นกัน แต่ถ้าพีเอชมีค่าต่ำมากหรือสูงมาก จุลินทรีย์ก็จะตาย ไม่สามารถดำรงชีวิตต่อไปได้

#### 6. สารเป็นพิษ

สารเป็นพิษแบ่งออกได้เป็นสองจำพวก คือ แบบพิษเฉียบพลัน ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง และแบบพิษออกฤทธิ์ช้า ซึ่งใช้เวลานานและค่อย ๆ ตาย

พิษเฉียบพลันสามารถสังเกตได้ง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็ว สารพิษจำพวกนี้ได้แก่ ไซยาไนด์ อาร์เซนิก เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และโลหะหนักต่าง ๆ จุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด นอกจากนั้นอาจจะเกิดจากสารอินทรีย์ก็ได้ เช่น แอมโมเนียซึ่งมีความเข้มข้นสูงเกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น

## 7. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการตะกอนเร่ง โดยทั่ว ๆ ไปการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก  $10^{\circ}\text{C}$  จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิประมาณ  $37^{\circ}\text{C}$  จากนั้นอุณหภูมิจะร้อนเกินไปจนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลงอย่างรวดเร็ว

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมียังมีผลต่อการทำงานในถังตกตะกอนชั้นสอง โดยพบว่าหากอุณหภูมิต่ำตะกอนจะตกได้ดีกว่าอุณหภูมิสูง และถ้าอุณหภูมิในถังตกตะกอนมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันเกิน  $2^{\circ}\text{C}$  จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำเนื่องจากมีความหนาแน่นแตกต่างกัน เรียกว่า Density Current

สำหรับในประเทศไทย อุณหภูมิในฤดูร้อนและฤดูหนาวไม่แตกต่างกันมากนัก อุณหภูมิจึงไม่มีความสำคัญมากนักต่อการทำงานของระบบตะกอนเร่ง

## 8. การกวน

ภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัด โดยใช้เป็นอาหารและลดสารอินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้งจะได้จับตัวกันเป็นฟล็อกที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจรและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูง การกวนที่สมบูรณ์ในถังเติมอากาศ จะต้องมีค่า MLSS และค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอทั่วถึง

## 9. อัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งมาเข้าระบบบำบัดมีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยาและในถังตกตะกอน หากน้ำเสียมีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น จนทำให้มีระยะเวลาในการบำบัดน้อยลง มีค่าสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการตกตะกอนในถังตกตะกอนชั้นที่สองลดลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงด้วย ส่วนอัตราการไหลที่น้อยเกินไปก็มีผลเสียเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมให้มีการ

ส่งน้ำเสียเข้ามาบำบัดอย่างสม่ำเสมอ ในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบเอาไว้ เช่น อาจจะต้องสร้างเป็นบ่อพักเก็บกัก เป็นต้น

## 2.4 โลหะหนัก

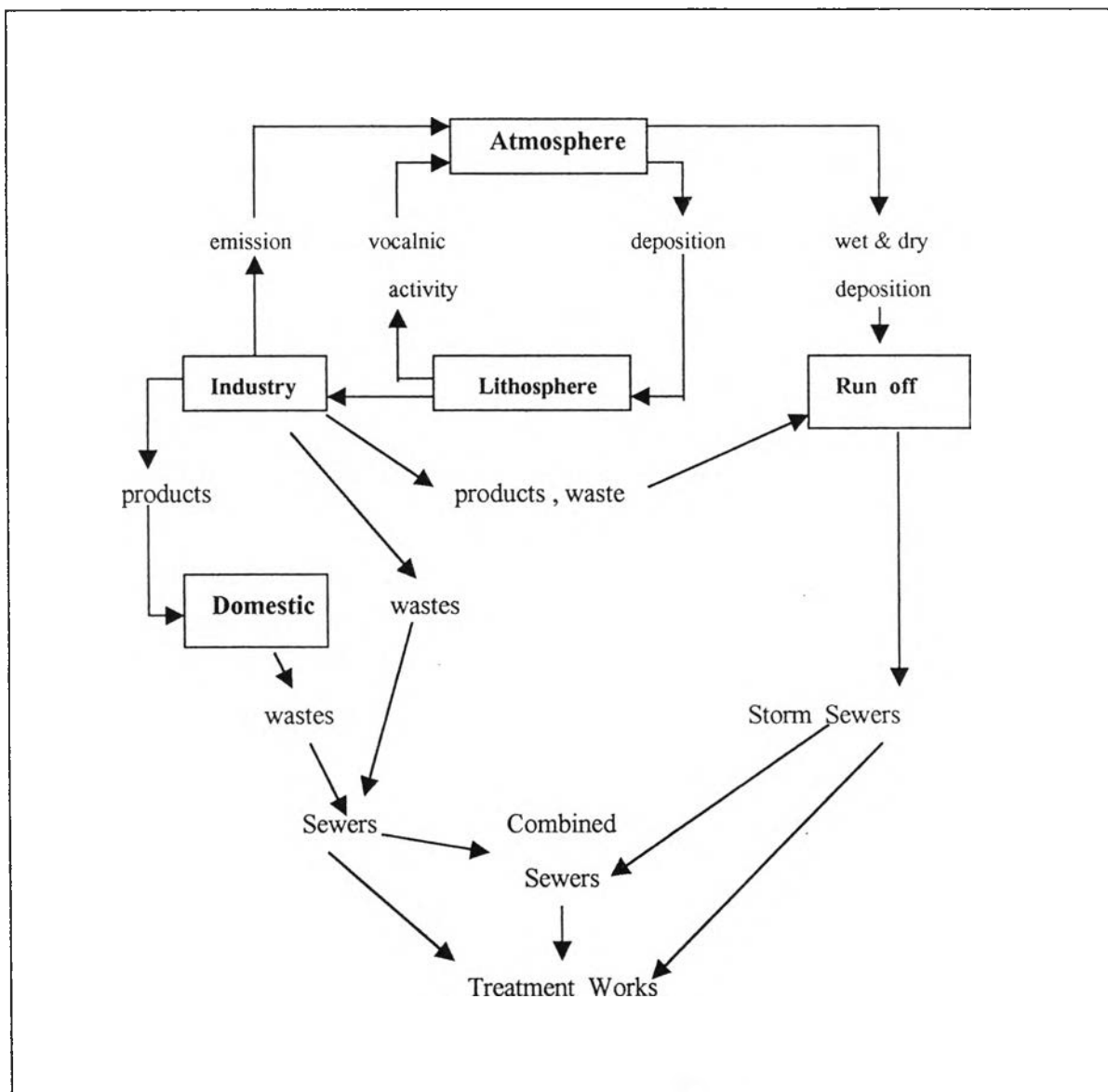
โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 – 92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งหมด 68 ธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความเป็นมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางด้านเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (Organometallic compound) ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร โลหะเหล่านี้จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ ผักและผลไม้ จากนั้นจะเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้ ตัวอย่างของโลหะหนักที่สำคัญในน้ำเสียชุมชน เช่น อลูมิเนียม แคดเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว ปรอท สังกะสี เป็นต้น

### 2.4.1 โลหะหนักในน้ำเสียชุมชน

โลหะหนักที่พบในน้ำเสียก่อนบำบัด ขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย เช่น ตำแหน่งที่ตั้งของโรงบำบัดน้ำเสีย ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย ลักษณะน้ำเสียจากแต่ละชุมชน

แหล่งของโลหะหนักที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย สามารถจำแนกได้ 5 ประเภท คือ น้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม การไหลบ่า บรรยากาศ และพื้นดิน โดยน้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรมเป็นแหล่งของโลหะหนักที่สำคัญที่สุด โดยรูปที่ 2.3 แสดงถึงแหล่งที่มาที่สำคัญและเส้นทางผ่านของโลหะหนักสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

โลหะหนักที่ปรากฏในน้ำเสียชุมชนมาจากพื้นที่ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัย และรวมถึงการบริการต่าง ๆ เช่น ร้านซ่อมเครื่องยนต์ อยู่ซ่อมรถ ร้านอาหาร ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ การอาบน้ำ แปรงฟัน สระผม การทำความสะอาดต่าง ๆ โดยในกิจกรรมต่าง ๆ นั้นต้องเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่มีโลหะหนักเป็นส่วนผสมทั้งสิ้น ดังในตารางที่ 2.6 ซึ่งแสดงที่มาของโลหะหนักในน้ำเสียชุมชนตามประเภทของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.3 แหล่งที่มาและเส้นทางของโลหะหนักสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย  
ที่มา : Lester 1987.

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							
เครื่องมือดับเพลิง	X						X			X										X
เชือกเพลิง				X					X		X									
ยาฆ่าแมลง	X		X			X	X		X	X	X	X	X	X						X
น้ำหมึก	X								X											X
น้ำมันเครื่อง				X			X				X			X						X
ยา	X	X	X		X			X	X	X										X
น้ำมัน				X					X		X									X
ซีเมนต์	X				X			X	X				X							X
สีทาบ้าน	X		X	X			X	X		X	X	X	X						X	X
อุปกรณ์การถ่ายภาพ	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
น้ำยาขัดมัน	X			X					X								X		X	X
แป้ง	X									X										X
สารกันบูด										X	X									X

ที่มา : Atkins and Hawley 1978.



### 2.4.1.1 แคดเมียม

แคดเมียมเป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม II b ของตารางพีริออดิก เช่นเดียวกับสังกะสีและปรอท และเป็นโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว มีคุณสมบัติเบา อ่อน คัดงอได้ง่าย และทนต่อการกัดกร่อน

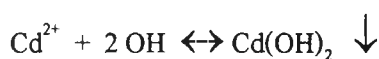
แคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก และละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริกอย่างช้า ๆ สารประกอบของแคดเมียม เช่น cadmium sulfate ( $\text{CdSO}_4$ ), cadmium chloride ( $\text{CdCl}_2$ ) และ cadmium nitrate ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ) เป็นสารประกอบที่ไม่มีสี และละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้แคดเมียมสามารถรวมกับสารอื่น 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 และปริมาณสารอินทรีย์ เนื่องจากไอออนของแคดเมียมจะรวมตัวเป็นสารประกอบกับสารหรือไอออนอื่น 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  $\text{CdOH}^+$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$  และ  $\text{Cd}(\text{OH})_3^{2-}$  แคดเมียมที่ละลายน้ำเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของไอออนบวกที่มีวาเลนซ์ 2 แต่เมื่อน้ำมี pH สูงขึ้น (pH มากกว่า 9) แคดเมียมจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ คือ  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  โดยปฏิกิริยาข้างล่างนี้



## 2) การรวมตัว (Sorpton)

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

## 3) การระเหยเป็นไอ (Evaporation)

แคดเมียมจากแหล่งน้ำไม่สามารถระเหยกลายเป็นไอเพื่อทำปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นรูปอื่นซึ่งแตกต่างไปจากปรอท ทั้ง ๆ ที่แคดเมียมอยู่ตกลงมาในคอลัมน์เดียวกันของตารางพีรียอดิก ดังนั้นปฏิกิริยาเคมีจึงคล้ายคลึงกัน แต่ปฏิกิริยาทางชีววะ เช่น การเกิดเมทิลเลชั่นของแคดเมียมกลับไม่เกิดขึ้น

## 4) การเปลี่ยนไปโดยปฏิกิริยาของออกซิเจน (Oxidation)

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

### 2.4.1.2 ตะกั่ว

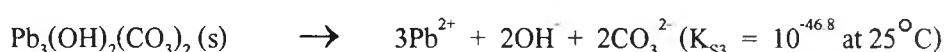
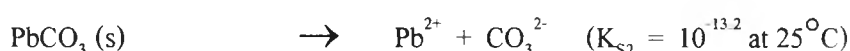
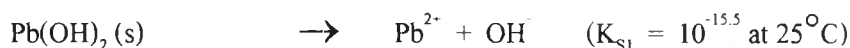
ตะกั่วเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่ง เป็นที่อยู่ในหมู่ IVa ของตารางพีรียอดิก ในสถานะปกติมีสถานะเป็นของแข็ง สีเงินปนเทา มีจุดหลอมเหลวต่ำและมีจุดเดือดสูงพอสมควร จัดเป็นโลหะหนักที่มีความอ่อนตัวค่อนข้างสูง มีความสามารถในการนำไฟฟ้าไม่ดี และสามารถผสมกับโลหะต่าง ๆ เป็นโลหะผสมได้หลายชนิด ตะกั่วไม่ละลายในน้ำ แต่สามารถละลายได้ในกรดไนตริก และกรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ร้อน

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

## ปฏิกิริยาทางเคมีของตะกั่วในแหล่งน้ำ

### 1) การละลาย (Solubility)

สารประกอบตะกั่ว 3 ชนิดที่อยู่ในน้ำ สามารถแตกตัวเป็นไอออนดังสมการ



ตะกั่วไอออน ( $\text{Pb}^{2+}$ ) มีแนวโน้มจะเกิดไอออนคู่ เช่น  $\text{PbHCO}_3^+$  และ  $\text{PbCO}_3^0$  รูปแบบเหล่านี้จะไปลดความเข้มข้นของตะกั่วไอออน ( $\text{Pb}^{2+}$ ) และสมดุลจะเลื่อนไปทางขวา ตะกั่วจึงละลายน้ำได้มากขึ้น และตะกั่วสามารถละลายได้มากขึ้นอีก เมื่อสารประกอบอินทรีย์เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับตะกั่วไอออน ( $\text{Pb}^{2+}$ )

ตะกั่วคาร์บอเนตที่อยู่ในดินตะกอนในแหล่งน้ำธรรมชาติ สามารถหาอนุภาคของตะกั่วได้จากสมดุลการละลาย ถ้าตะกั่วที่อยู่ในน้ำเป็นตะกั่วคาร์บอเนต หรือ ตะกั่วไฮดรอกไซด์แล้วการลด pH ของน้ำลง จะทำให้ตะกั่วอยู่ในรูปที่ละลายน้ำมากขึ้น

### 2) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) สามารถเคลื่อนย้ายตะกั่วออกจากสารละลายไปยังสารแขวนลอยได้ ได้มีการศึกษาพฤติกรรมของการแลกเปลี่ยนไอออนของตะกั่วในแหล่งน้ำ พบว่าสัดส่วนการแลกเปลี่ยนไอออนนอนจากจะขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำแล้วยังขึ้นอยู่กับ competing cation เช่น  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  ด้วย

### 3) การดูดซับ (Adsorption)

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

#### 4) การตกตะกอนทางเคมี (Precipitation)

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

#### 2.4.1.3 ปรอท

ปรอทเป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม II b ของตารางพีริออดิก มีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้เล็กน้อย ระเหิดได้

สารปรอทในธรรมชาติมีปรากฏอยู่ในรูปของธาตุซึ่งปกติพบอยู่ในสินแร่ คิน หิน น้ำ ตลอดจนสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ สารประกอบของปรอทสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) สารปรอทอินทรีย์ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

ก. กลุ่มเอริลเมอร์คิวรี (Arylmercury) เป็นกลุ่มที่มีความคงทนอยู่ในธรรมชาติ

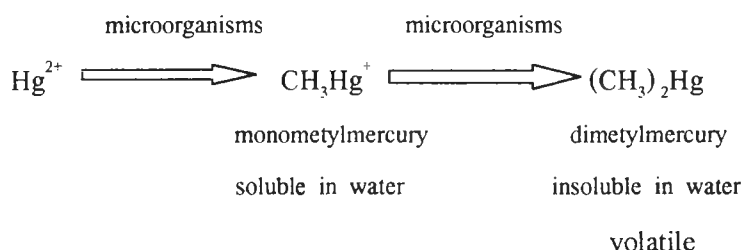
ข. กลุ่มอัลคิลเมอร์คิวรี (Alkylmercury) เป็นกลุ่มที่มีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิต และมีพิษมากกว่ากลุ่มเอริลเมอร์คิวรี

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

ในแหล่งน้ำปรอทสามารถอยู่ในรูปต่าง ๆ ได้ และสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามเงื่อนไขของสภาวะแวดล้อม ปรอทที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำส่วนใหญ่อยู่ในรูปต่าง ๆ ดังนี้

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

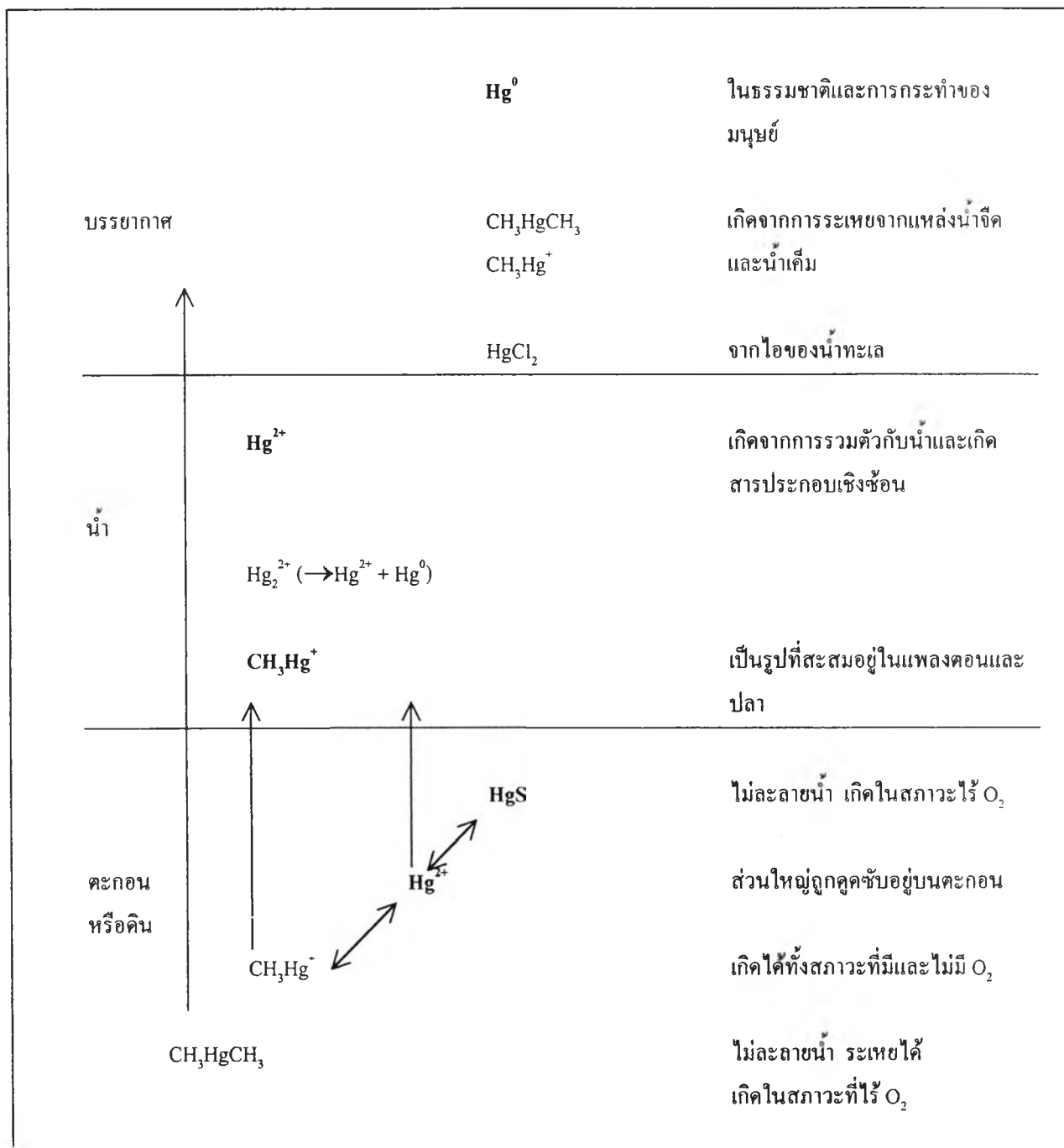
ปัญหาสำคัญในระบบนิเวศน์เมื่อมีสารปรอทตกค้าง คือ จุลินทรีย์บางชนิดสามารถเปลี่ยน  $Hg^{2+}$  ให้เป็น  $CH_3Hg^+$  ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ ที่เรียกว่า กระบวนการเมทิลเลชัน (Methylation) ดังปฏิกิริยาข้างล่างนี้



จากกระบวนการเมทิลเลชันจุลินทรีย์ทำการเปลี่ยน  $Hg^{2+}$  ให้เป็น  $CH_3Hg^+$  ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี และจากนั้นจุลินทรีย์ได้เปลี่ยน  $CH_3Hg^+$  ให้เป็น  $(CH_3)_2Hg$  โดยมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำและสามารถระเหยได้ ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเมทิลเลชันคือ ค่า pH ถ้าน้ำมี pH สูงจะมีการสร้าง  $(CH_3)_2Hg$  มากขึ้นซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณปรอทในบรรยากาศ แต่ถ้า pH ในน้ำต่ำ  $CH_3Hg^+$  จะถูกสร้างมากขึ้น นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังก่อให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายของปรอทในดินหรือตะกอน น้ำ และอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

#### 2.4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักของระบบตะกอนเร่ง

การกำจัดโลหะหนักในกระบวนการบำบัดแบบตะกอนเร่ง เกิดขึ้นเนื่องจากการดูดซับโลหะหนักของกลุ่มแบคทีเรียและจุลินทรีย์ต่าง ๆ ภายในระบบตะกอนเร่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ดั่งปฏิกิริยา และดังตกตะกอน ในดังปฏิกิริยาจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่ใช้ ออกซิเจน และจะออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่อยู่ในสภาพที่ละลายน้ำและแขวนลอย ให้เปลี่ยนเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เซลล์จุลินทรีย์ใหม่ และทำให้น้ำสะอาดขึ้น โดยแบคทีเรียและจุลินทรีย์จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ในลักษณะที่เรียกว่า ฟลอคคูเลชัน (Flocculation) ต่อจากนั้นกลุ่มของแบคทีเรียและจุลินทรีย์ที่ดูดซับสารอินทรีย์ไว้แล้วจะผ่านเข้าสู่ดังตกตะกอน และถูกแยกออกจากน้ำ โดยการตกตะกอน แล้วถูกนำกลับสู่ดังปฏิกิริยาอีกครั้ง น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ สารอินทรีย์หรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ถูกดูดซับหรือดูดซึม โดยกลุ่มของแบคทีเรียและจุลินทรีย์จะถูกกำจัดออกจากน้ำโดยผ่านกระบวนการบำบัดนี้ กระบวนการที่สารอินทรีย์ถูกดูดซึมหรือดูดซับโดย



หมายเหตุ ตัวพิมพ์หนาแสดงถึงรูปของปรอทที่พบมากในแต่ละส่วน  
รูปที่ 2.4 ปรอทรูปต่างๆ ที่พบในอากาศ น้ำ และตะกอนหรือดิน  
ที่มา : O'Neill 1990,1991.

จุลินทรีย์ที่รวมเป็นกลุ่ม และการตกตะกอนนี้ เป็นกระบวนการที่สำคัญในการกำจัดโลหะหนักของ กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Lester , 1987) โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนและ การรวมเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์และแบคทีเรีย เช่น ปริมาณน้ำเสีย องค์ประกอบของอาหารเสริมที่ใส่ ลงไป (Kiff , 1978) การกวน และค่า Sludge Volume Index (SVI) (Magara , Numbo และ Utosowa , 1976)

Forstner (1976) ได้อธิบายการรวมตัวและการตกผลึกของโลหะหนักในระบบทาง ชีวภาพว่า จากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็น โมเลกุลเล็ก ๆ แล้ว โมเลกุลเล็ก ๆ นี้จะรวมตัว กับอนุภาคโลหะหนักเป็นสารประกอบโลหะหนักได้ดี และผลจากปฏิกิริยาชีวเคมีทำให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระบบ เช่น pH สูงขึ้น โลหะหนักจะตกตะกอนได้มากขึ้น

Alabaster and Lloyd (1980) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการตกตะกอนของสาร ประกอบจำพวกคาร์บอเนต ซัลเฟต คลอไรด์ และไฮดรอกไซด์ของแคลเซียม ในน้ำเสียพบว่า ใน ช่วง pH ที่สูงขึ้นคือระหว่าง 8.5 – 11 แคลเซียมคาร์บอเนตจะตกตะกอนลงมากที่สุด และพบว่า ประสิทธิภาพกำจัดแคลเซียมขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจาก แคลเซียมส่วนที่ละลายน้ำได้จะถูกดูดซับไปบนของแข็งหรืออนุภาคของสารอินทรีย์

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

นอกจากสภาพทางกายภาพที่มีผลต่อการกำจัดโลหะหนักในระบบตะกอนเร่งแล้วยัง มีแบคทีเรียที่สร้างแคปซูลบางพวกสร้างสารที่ช่วยในการยึดเกาะอนุภาคของโลหะหนัก (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 ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักในระบบ ตะกอนเร่ง ยังแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะหนัก ดังแสดงในตารางที่ 2.7 ซึ่งเป็นการศึกษา

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

ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักจากระบบตะกอนเร่งในสถานที่ต่าง ๆ และในลักษณะต่างกัน ได้แก่ ระบบบำบัดที่ดำเนินการจริง (Full – scale works) ระบบบำบัดที่ใช้ทดสอบโดยเฉพาะ (Pilot plants) และระบบบำบัดที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ (Laboratory simulation) โดยผลการทดลองพบว่า โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และแคดเมียม จะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักที่เข้าสู่ระบบบำบัด กับประสิทธิภาพการกำจัด แต่สำหรับแบเรียมและนิกเกิล ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักจะลดลงเมื่อ ความเข้มข้นที่เข้าสู่ระบบบำบัดเพิ่มขึ้น

#### 2.4.3 ผลกระทบของโลหะหนักต่อระบบตะกอนเร่ง

โลหะหนักที่ปนเปื้อนในระบบตะกอนเร่ง จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียและยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของสารอินทรีย์ มีหลายวิธีที่ใช้วัดความเป็นพิษของโลหะหนักต่อแบคทีเรียในระบบ ได้แก่ การดูดัชนีมวลโคสของกากตะกอน การลดลงของค่า BOD การลดลงของค่า COD ความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบ

ผลกระทบของความเป็นพิษของโลหะหนักที่แสดงต่อแบคทีเรียในระบบตะกอนเร่งมีหลายรูปแบบ เช่น การเปลี่ยนแปลงกลุ่มของจุลินทรีย์ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่น้อยลง โดยวัดจากการใช้ออกซิเจน เช่น วานาเดียมซึ่งมีความเข้มข้น 20 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลให้การใช้ออกซิเจนลดลง และประชากรของจุลินทรีย์เริ่มเปลี่ยนไป และที่ความเข้มข้นมากกว่า 80 มิลลิกรัมต่อลิตร จุลินทรีย์พวกโรติเฟอร์จะตายไป และจะมีโปรโตซัวที่มีชีวิตเกิดขึ้นแทนในจำนวนมาก และที่ความเข้มข้นที่ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร โปรโตซัวพวกที่มีแฟลกเจลลาจะเพิ่มขึ้น และจะเหลืออยู่ในปริมาณที่สูงจนสิ้นสุดการทดลอง (Kunz et al ,1976)

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

สังกะสี แคดเมียม และปรอท ที่ถูกเติมลงไปในระบบ ที่ความเข้มข้น 0 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้การรวมตัวเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์น้อยลง โดยวัดจากปริมาณของแฉียงแฉวนลอยที่ออกจากระบบ (Neufeld , 1976)

## 2.5 กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา เป็นกระบวนการที่อาศัยการทำงานของ จุลินทรีย์หลายประเภท หลักของการบำบัดน้ำเสีย คือ การแยกเอาส่วนของเสียต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนใน น้ำออกมา แล้วปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำ ส่วนของเสียที่ถูกแยกออกมา เรียกว่า กากตะกอน โดยกากตะกอนนี้สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. กากตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ กากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัด น้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงงานผลิตเบตเตอร์ โรงงานอุตสาหกรรมเคมี ที่มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต และ/หรือ ในการชะล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์
2. กากตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ กากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำ เสียจากแหล่งชุมชน การปศุสัตว์ หรือโรงงานแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิธี ทางชีวภาพในการบำบัด

กากตะกอนเหล่านี้มีสภาพไม่คงตัว ถ้าทิ้งลงในแหล่งน้ำหรือพื้นดิน จะยังคงย่อย สลายได้อีก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการบำบัดกากตะกอน จนได้กากตะกอนที่มีสภาพที่ไม่ย่อย สลาย จึงนำไปกำจัดด้วยวิธีต่าง ๆ ต่อไป

### 2.5.1 ที่มาของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ที่มาของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน คือ น้ำเสียจาก แหล่งชุมชน ซึ่งจำเป็นต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำต่อไป และในกระบวนการบำบัด น้ำเสียไม่ว่าจะโดยวิธีการใด ย่อมจะมีกากตะกอนเกิดขึ้นเสมอ จึงกล่าวได้ว่าต้นกำเนิดของกาก ตะกอนก็คือ สิ่งต่าง ๆ เช่น ของแข็ง สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ เกลือแร่ต่าง ๆ ตลอดจน จุลินทรีย์หลายชนิด

โดยทั่วไปปริมาณของแข็งในน้ำเสียอยู่ในช่วง 500 - 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งประมาณ 25 % มีอยู่ในน้ำประปาเค็ม และ 75 % เพิ่มมาจากชุมชน ปริมาณ ของแข็งแขวนลอยจะมีประมาณหนึ่งในสามของของแข็งทั้งหมด และประมาณหนึ่งในสามถึงหนึ่งใน สองของของแข็งแขวนลอยนี้ มีขนาดของอนุภาค และความถ่วงจำเพาะ ที่จะทำให้ตัวมันแยก

ออกมาจากของเหลว เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ของแข็งที่ตกตะกอนลงมาเองได้นี้เรียกว่า Settleable Solids และส่วนที่ไม่สามารถตกตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้ เรียกว่า Nonsettleable Solids สำหรับของแข็งในน้ำที่สามารถผ่านกระดาษกรองจะประกอบด้วย ของแข็งที่ละลายน้ำได้ และคอลลอยด์ (สนใจ กาญจนวงศ์, 2535)

กากตะกอนได้จากขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียบางขั้นตอน โดยทั่วไป การบำบัดน้ำเสีย แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้ คือ

1. ขั้นเตรียมการก่อนบำบัด เป็นขั้นตอนที่ต้องการตัดแปลงหรือปรับปรุงสภาพน้ำทิ้งให้เหมาะสมกับการบำบัดในลำดับต่อไป อาศัยกระบวนการทางกายภาพเป็นส่วนใหญ่ คือ แยกสิ่งแขวนลอยขนาดใหญ่โดยอาศัยตะแกรงกักเอาไว้ คูม้อัตรการไหลให้มีอัตราค่อนข้างสม่ำเสมอ และแยกน้ำมันหรือไขมันออกจากน้ำ สำหรับในขั้นแรกนี้ยังไม่มีการตกตะกอนเกิดขึ้น จะมีก็เพียงสิ่งแขวนลอยขนาดใหญ่ที่ถูกแยกออกมา

2. การบำบัดขั้นต้น เป็นการทำให้ของแข็งส่วนที่ตกตะกอนได้ให้แยกตัวออกจากน้ำ โดยอาศัยการตกตะกอน โดยแรงโน้มถ่วงในตกตะกอนในถังตกตะกอน และการบำบัดขั้นต้นนี้มุ่งให้สารส่วนที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ ตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นต้น สำหรับสารส่วนที่จุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ได้ ได้แก่ วัตถุประเภทกรด ทราย หิน เมล็ดผลไม้ เศษกระดูก จะถูกแยกให้ตกตะกอนในถังอีกใบหนึ่ง

การบำบัดในขั้นนี้อาจอาศัยกระบวนการทางเคมีแทน เช่น การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) การสังเคราะห์แกนตะกอนและการรวมตะกอน (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) ระบบคลองวง

เวียน (Oxidation Ditch) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoons) และระบบบ่อกดตัว (Stabilization Ponds)

4. การบำบัดขั้นสุดท้าย โดยทั่วไปถือว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองแล้วจะมีค่าความสกปรกต่ำ และสามารถปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำได้ การบำบัดในขั้นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ เช่น ฟีนอล ดีเทอร์เจนต์ สารเร่งการเจริญเติบโตของพืชน้ำ เช่น ไนเตรท ฟอสเฟต ตลอดจนสี โลหะต่าง ๆ ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ซึ่งก่อให้เกิดความขุ่น (ศุภฤกษ์ สีนสุพรรณ , 2526)

กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียมักเกิดขึ้นจากขั้นตอนการบำบัดขั้นต้นและการบำบัดขั้นที่สอง และจะต้องนำมาบำบัดต่อไป เพราะถือว่าเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะถ้าไม่ผ่านการบำบัดก่อนนำไปทิ้ง 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) เมื่อกากตะกอนมีน้ำลดน้อยลง ปริมาตรของกากตะกอนจะน้อยลงด้วย จึงทำให้สะดวกและประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งกากตะกอนเพื่อนำไปกำจัด

2) ในงานตัดกวาดหรือเคลื่อนย้ายกากตะกอนที่มีปริมาณน้ำน้อย จะดำเนินการได้ง่ายกว่ากากตะกอนที่มีปริมาณน้ำมากกว่า

3) กากตะกอนที่จะนำเข้าเตาเผา ควรที่จะมีปริมาณน้ำน้อยที่สุด ในกากตะกอน ทั้งนี้เพื่อลดการใช้พลังงานในการเผา

4) ในการหมักทำปุ๋ย ควรที่จะเตรียมกากตะกอนให้มีลักษณะค่อนข้างแห้ง ซึ่งจะเหมาะสมกับการนำไปกองเพื่อทำการหมักทำปุ๋ยต่อไป

5) กากตะกอนที่มีปริมาณน้ำน้อยจะมีกลิ่นน้อยกว่า กากตะกอนที่เปียก

6) กากตะกอนที่จะนำไปฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล ถ้าเป็นกากตะกอนที่ค่อนข้างแห้งอยู่แล้วจะเกิดปัญหาน้ำในกากตะกอนซึมลงได้ดินน้อยลง

2. เปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์ของกากตะกอนให้อยู่ในสภาวะคงตัว คือ ไม่มีการย่อยสลายอีกต่อไป โดยอาศัยการย่อยสลายซึ่งแบ่งเป็นการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) ซึ่งใช้กันเป็นส่วนใหญ่ และการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (Aerobic Digestion) (ศุภฤกษ์ สิ้นสุพรรณ , 2526)

### 2.5.2 องค์ประกอบของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนอยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Semi – Solids) มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ หากยังอยู่ในรูปที่ไม่คงตัวจะมีกลิ่นเหม็น มีก๊าซและความร้อนจากการย่อยสลายกากตะกอนของจุลินทรีย์ องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจะขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเสีย ซึ่งจริง ๆ แล้วองค์ประกอบของกากตะกอน ก็คือองค์ประกอบของน้ำเสีย โดยองค์ประกอบบางอย่างก็สามารถถูกกำจัด หรือทำให้มีปริมาณน้อยลงไปในช่วงขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย แต่องค์ประกอบบางอย่างก็ไม่สามารถถูกกำจัดไปได้หมด หรือบางครั้งอาจมีความเข้มข้นในกากตะกอนสูงกว่าในน้ำเสียก็ได้

องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอน นอกจากขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเสียแล้ว ยังขึ้นกับกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และกระบวนการบำบัดกากตะกอน ซึ่งโดยทั่วไป องค์ประกอบของกากตะกอนแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม (ศิริณี ศิริสุโขดม , 2535) คือ

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

ดั่งการศึกษาอรรถวรรณ ศิริรัตนพิริยะ (2529) ศิริณี ศิริสุโขดม (2535) อรรถพร หอมจันทร์ (2535) กัลยา สุนทรวงศ์สกุล (2537) ได้รายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง การเคหะแห่งชาติ และจิมรัฐดา วัดคำ และปวีณา คำนกุล (2540) ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

องค์ประกอบ	โรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง การเคหะแห่งชาติ				โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา
	อรวรรณ (2529)	ศิริวัฒน์ (2535)	อรรณพ (2535)	กัลยา (2537)	จันทูตา 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 <sup>A</sup>	246 mg/kg <sup>B</sup>	43 mg/kg <sup>B</sup>	17.24 mg/kg <sup>B</sup>	-
ทองแดง	55 mg/kg <sup>A</sup>	28.6 mg/kg <sup>B</sup>	1.22 mg/kg <sup>B</sup>	25.60 mg/kg <sup>B</sup>	-
สังกะสี	500 mg/kg <sup>A</sup>	850 mg/kg <sup>B</sup>	910 mg/kg <sup>B</sup>	530 mg/kg <sup>B</sup>	-
ตะกั่ว	3.54 mg/kg <sup>A</sup>	4 mg/kg <sup>B</sup>	0.56 mg/kg <sup>B</sup>	0.89 mg/kg <sup>B</sup>	-
แคดเมียม	0.24 mg/kg <sup>A</sup>	0.50 mg/kg <sup>B</sup>	0.20 mg/kg <sup>B</sup>	0.84 mg/kg <sup>B</sup>	-
นิกเกิล	4.40 mg/kg <sup>A</sup>	7.54 mg/kg <sup>B</sup>	12.82 mg/kg <sup>B</sup>	13.18 mg/kg <sup>B</sup>	-
โครเมียม	2070 mg/kg <sup>A</sup>	-	-	-	-
ปรอท	1100 mg/kg <sup>A</sup>	-	-	-	-

หมายเหตุ : 1) - หมายถึง ไม่มีการรายงาน

2) A หมายถึง ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในกากตะกอน ส่วน B หมายถึง ปริมาณโลหะหนักที่ถูกสกัดด้วย 0.005M DTPA

### 2.5.3 การจัดการกากตะกอน

กากตะกอนมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็น สารประกอบเชิงซ้อน โลหะหนัก เกลือของโลหะต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งที่เป็นประโยชน์และโทษต่อระบบนิเวศน์ ในด้านที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ สามารถปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น มีแร่ธาตุที่เป็นอาหารของพืช ส่วนในด้านที่เป็นโทษ คือ กากตะกอนที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ที่สามารถสะสมในดิน และแพร่กระจายสู่ระบบนิเวศน์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการและวางแผนที่ดีเพื่อป้องกันการเกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

การจัดการกากตะกอนที่ผ่านการบำบัดแล้วมีหลายรูปแบบ ได้แก่

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

โดยการจะเลือกวิธีการจัดการแบบใดต้องคำนึงถึง องค์ประกอบของกากตะกอน ความสมดุลของระบบนิเวศน์ ผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม รวมถึงค่าใช้จ่าย ความเหมาะสมในแต่ละประเทศ และที่สำคัญที่สุดต้องคำนึงถึงความปลอดภัย และการยอมรับของประชาชน

วิธีการกำจัดกากตะกอนโดยการเผา เป็นวิธีที่มีความสะดวกในการจัดการ เนื่องจากสามารถทำให้ ณ จุดกำเนิดของกากตะกอน แต่มีต้นทุนในการจัดการสูงกว่าวิธีอื่น ๆ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากโดยเฉพาะมลภาวะอากาศ

สำหรับประเทศไทย วิธีการกำจัดกากตะกอนที่เหมาะสม คือ การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เนื่องจากกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียกรุงเทพมหานคร มีศักยภาพความเป็นปุ๋ย และประเทศไทยเองก็มีความเหมาะสม เนื่องจากมีสภาพภูมิศาสตร์ที่มีอุณหภูมิสูง มีแสงแดดจ้าตลอดปี ซึ่งเป็นผลดีต่อการลดปัญหาเรื่องพยาธิวิทยาของกากตะกอน



#### 2.5.4 การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมีความน่าสนใจ มีความเป็นไปได้ คຸ້ມຄ່າทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีอื่น 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 อุคมสินโรจน์ 2539.

ความเสี่ยงในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรนั้น สามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ (Webber et al., 1984) คือ

1. ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นชั่วคราว ได้แก่ กลิ่นรบกวนของกากตะกอน การปนเปื้อนของจุลินทรีย์และพยาธิที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของโรค การปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน จากไนเตรดในโตรเจน

2. ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นถาวร ได้แก่ การเพิ่มการสะสมโลหะหนักในดิน ในพืช และห่วงโซ่อาหาร แต่ความเสี่ยงนี้สามารถป้องกันได้ โดยการเติมกากตะกอนในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐาน และไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช ดังตารางที่ 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.10 ปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับได้ในดินเพื่อการเกษตร

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 – 2000
สังกะสี (Zn)	15 – 150	500 – 1500
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 <sup>3</sup> )
เกษตรกรรม	รอบปี	0.2 – 7
ป่าไม้	ครั้งเดียวหรือทุก ๆ 3 – 5 ปี	0.9 – 22
ปรับสภาพพื้นที่มาไช้	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 เป็นกากตะกอนที่สามารถนำไปใส่ในพื้นที่ต่าง ๆ ได้ เนื่องจากมีโลหะหนักอยู่ในปริมาณที่ไม่เป็นอันตราย ส่วนระดับ C และ D สามารถนำไปใส่ในพื้นที่ป่า แต่กากตะกอนที่มีการปนเปื้อนมากกว่าระดับ D ควรจะนำไปทำการฝังกลบ

ตารางที่ 2.13 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่มีได้ในกากตะกอนที่นำไปใส่ในพื้นที่ป่า

ธาตุ	อัตราการเติมเฉลี่ย (kg/ha ต่อปี)	ปริมาณสูงสุดในดิน (mg/kg น้ำหนักแห้ง)
แคดเมียม	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
แคดเมียม	3	5	20	32
โครเมียม	100	250	500	600
ทองแดง	100	375	2000	2000
ตะกั่ว	150	150	420	500
ปรอท	1	4	15	19
นิกเกิล	60	125	270	300
เซลิเนียม	5	8	50	90
สังกะสี	200	700	2500	3500

ที่มา : NSW EPA 1995.