

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฟอสเฟต

ฟอสเฟต คือ สารประกอบฟอสฟอรัสและออกซิเจนซึ่งเกิดในหลายรูปแบบ แต่ส่วนมากจะเกิดรวมกับธาตุอื่นๆ หลายชนิด ฟอสเฟตมีอยู่ในธรรมชาติและจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตและพบในระบบนิเวศก่อนที่มนุษย์จะเกิด ฟอสเฟตถูกพบในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เช่น สัตว์และผัก สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องการฟอสเฟตอย่างต่อเนื่องเพื่อให้คงชีวิตอยู่ได้ และเป็นสารสำคัญต่อการเจริญเติบโต และถ้ามีปริมาณมากเกินไปเกินความต้องการจะทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) คือเกิดการเน่าเสียของน้ำ ทำให้ต้องมีการบำบัดน้ำด้วยระบบบำบัดต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาการเน่าเสียของแหล่งน้ำ

รูปของฟอสเฟต

สารฟอสฟอรัสในสิ่งแวดล้อมจะอยู่ในรูปสารละลาย และของแข็งหรือแขวนลอย ดังแสดงในตารางที่ 2.1 สารฟอสฟอรัสจากแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำเสียจะอยู่ในรูปของฟอสเฟต เช่น ออโรฟอสเฟต พอลิฟอสเฟต อินทรีย์ฟอสเฟตหรือคอนเดนส์ฟอสเฟต (อุบลวรรณ, 2536)

สารประกอบฟอสเฟตในน้ำอาจแบ่งได้ดังนี้ (กรรณิการ์, 2522)

1. ออโรฟอสเฟต (Orthophosphate) ที่พบมากที่สุด คือ
 - ไตรโซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4)
 - ไดโซเดียมฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
 - ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)
2. พอลิฟอสเฟต (Polyphosphate) ที่พบมากที่สุด คือ
 - โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ($\text{Na}_3(\text{PO}_4)_6$)
 - โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)
 - เตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟต ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$)

ตารางที่ 2.1 รูปของฟอสฟอรัสที่พบในธรรมชาติ (อุบลวรรณ, 2536)

Form of phosphorus	Representative examples
Solid forms	
<u>Sediment rock mineral phases</u>	
Hydroxyapatite	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$
Carbonate fluorapatite	$(\text{Ca},\text{H}_2\text{O})_{10}(\text{PO}_4,\text{CO}_3)_6(\text{F},\text{OH})_2$
Variscite strengite	$\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Crandallite	$\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{H})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Wavellite	$\text{Al}_3(\text{OH})_3(\text{PO}_4)_2$
<u>Mixed phases . solid solutions</u>	
Clay-phosphate (e.g., kaolinite)	$[\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4 \cdot (\text{PO}_4)]$
Metal hydroxophosphate	$[\text{Me}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_{3-2/3}]$
Clay-organophosphate	$[\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4 \cdot \text{ROP}]$
<u>Suspended or insoluble organic phosphorus</u>	
Bacterial cell material	phospholipid
Plant debris	phosphoprotein, nucleic acid polysaccharide phosphate
Dissolved Forms	
<u>Orthophosphate</u>	$\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$, HPO_4^{-2} , PO_4^{-3} , CaHPO_4^0
<u>Inorganic condensed phosphates</u>	
Pyrophosphate	$\text{HP}_2\text{O}_7^{-2}$, $\text{P}_2\text{O}_4^{-4}$, $\text{CaP}_2\text{O}_7^{-2}$, $\text{MnP}_2\text{O}_7^{-2}$
Triphosphate	$\text{HP}_3\text{O}_{10}^{-4}$, $\text{P}_3\text{O}_{10}^{-5}$, $\text{CaP}_3\text{O}_{10}^{-2}$
Trimeta phosphate	$\text{HP}_3\text{O}_9^{-2}$, $\text{P}_3\text{O}_9^{-3}$, $\text{CaP}_3\text{O}_9^{-1}$
<u>Organic orthophosphates</u>	
Sugar phosphate	Glucosel-phosphate, adenosine monophosphate
Inositol phosphates	inositol mono and hexaphosphate
Phospholipids	glycerophosphate, phosphatidie acids
Phosphoproteins	phosphocreatine

3. อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic phosphate) ที่พบมากที่สุด คือ
- กรดนิวคลีอิก (Nucleic acid)
 - ฟอสโฟไลปิด (Phospholipids)
 - ฟอสเฟตน้ำตาล (Sugar phosphate)

แหล่งของฟอสเฟต

แหล่งที่มาของสารฟอสเฟต มาจากแหล่งใหญ่ๆ 2 แหล่งด้วยกัน (อุบลวรรณ, 2536) คือ

1. แหล่งที่มาจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากชุมชน และจากเกษตรกรรม แม้ว่าจะมีการจัดการน้ำทิ้งดังกล่าวแล้ว แต่ปริมาณฟอสเฟตก็ยังคงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามถือว่าแหล่งนี้สามารถควบคุมให้มีปริมาณน้อยได้ง่ายกว่าแหล่งที่ 2 สำหรับแหล่งฟอสเฟตที่พบมากในน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมได้แก่โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานปุ๋ย ฯลฯ จากรูปที่ 2.1 แสดงแผนผังการใช้ฟอสฟอรัสในกิจกรรมของมนุษย์

2. แหล่งจากธรรมชาติ เช่น การละลายของหินฟอสเฟต ผงฝุ่นฟอสฟอรัสในอากาศ ซึ่งถูกพัดพาให้ตกลงสู่แหล่งน้ำ รวมทั้งน้ำฝนที่ตกลงมายังพื้นดินพัดพาเศษซากดินและหินที่มีฟอสเฟตลงในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังอาจมาจากมูลนกบางชนิด เศษซากพืชซากสัตว์ที่ตายทับถมในแหล่งน้ำ ฯลฯ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแหล่งดังกล่าวนี้ไม่สามารถควบคุมได้ และอาจก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำบางแห่งได้

จากการศึกษาของ Gary Morse และ John Lester (1993) พบว่าแหล่งปลดปล่อยฟอสเฟตลงสู่แหล่งน้ำผิวดินในประเทศกลุ่มยุโรปนั้นมาจากเกษตรกรรม น้ำทิ้งชุมชน ผงซักฟอก อุตสาหกรรม และแหล่งน้ำธรรมชาติในสัดส่วนร้อยละ 50, 24, 10, 7 และ 9 ตามลำดับ นอกจากนี้ ธงชัยและคณะ (2536) ได้ประมาณการปล่อยสารประกอบฟอสฟอรัสจากแหล่งกำเนิดปฐมภูมิต่างๆ ภายในประเทศดังนี้

1. สารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน น้ำส่วนนี้คือน้ำซึ่งผ่านการใช้งานเพื่อการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ โดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารอินทรีย์อันเป็นกากอาหารซึ่งได้รับการระบายออกหรือเป็นเศษอาหารหลงเหลือจากการประกอบอาหาร หรือสารอินทรีย์และอนินทรีย์ซึ่งเกิดจากการซักล้างทำความสะอาดภาชนะ เสื้อผ้า และบ้านเรือน เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.2

2. สารประกอบฟอสฟอรัสจากปศุสัตว์ โดยปริมาณการปล่อยฟอสฟอรัสจาก มูลวัว กระบือ, หมู, ไก่ และเป็ด

3. สารประกอบฟอสฟอรัสจากอุตสาหกรรมต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

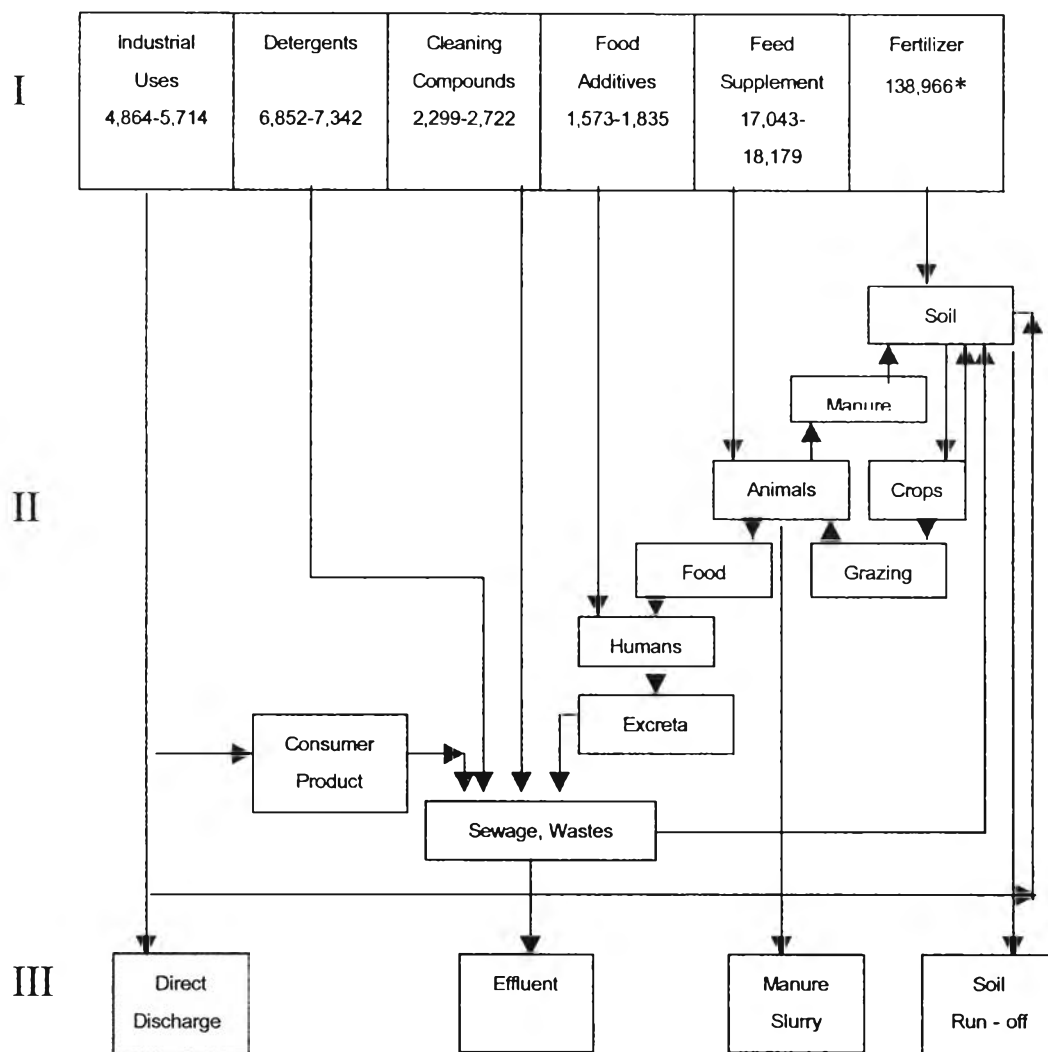
4. สารประกอบฟอสฟอรัสจากกิจกรรม ขึ้นกับปริมาณการใช้น้ำในประเทศ พบว่าประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะใช้น้ำในปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังแสดงใน ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.2 สารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทย (ธงชัยและคณะ, 2536)

กิจกรรม	กทม.และปริมณฑล		จังหวัดอื่นนอก จากกทม. และ ปริมณฑล	ทั้งประเทศ	
	ตันฟอสฟอรัส ต่อปี	ร้อยละ		ตัน ฟอสฟอรัส ต่อปี	ร้อยละ
การขับถ่าย	1064.1	20.0	6836.4	7900.5	25.3
การซักล้าง	1400.1	26.3	6296.7	7696.8	24.6
อาบน้ำ-ครัว	2856.2	53.7	12773.3	15629.5	50.1
ปริมาณรวม	5320.4	100	25906.4	31226.8	100

หมายเหตุ 1. สมมูลประชากรฟอสฟอรัสของกทม.และปริมณฑลเท่ากับ 0.38, 0.50 และ1.02 กรัมต่อคนต่อวัน สำหรับการขับถ่าย, การซักล้าง และครัว-อาบน้ำ ตามลำดับ

2. สมมูลประชากรฟอสฟอรัสของจังหวัดอื่นนอกเหนือจากกทม. และปริมณฑลเท่ากับ 0.38, 0.35 และ 0.71 กรัมต่อคนต่อวัน ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 แผนผังของฟอสฟอรัสที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมมนุษย์ (ตัวเลขระบุในรูปปริมาณการใช้สารประกอบฟอสฟอรัสในรูปแบบต่างๆ ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2535 มีหน่วยเป็นตันฟอสฟอรัสต่อปี) หมายเหตุ I = P inputs ; II = cyclic and recycling ; III = P outputs to surface waters

* = ข้อมูลการนำเข้าปุ๋ยของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2533 มีหน่วยเป็นตันฟอสฟอรัสต่อปี

ตารางที่ 2.3 ปริมาณจำหน่ายสารประกอบฟอสฟอรัสที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ พ.ศ.2535
(ธงชัยและคณะ, 2536)

ลำดับที่	ประเภท	ตันของ P_2O_5	ตันของ P
1	detergent production-laundry detergent	15,680 – 16,800	6,852 – 7,342
2	food&beverage, baking, milk, etc.	3,600 – 4,200	1,573 – 1,835
3	boiler purpose	670 – 1,005	293 – 439
4	seafood preservative	3,420 – 3,900	1,495 – 1,704
5	metal treatment	2,440 – 2,610	1,066 – 1,141
6	ceramic tiles	2,520 – 2,800	1,101 – 1,224
7	textiles	1,005 – 1,340	439 – 586
8	paint	335 – 536	146 – 234
9	dye	670 – 804	293 – 351
10	chemical stabilizer (polyurethane polystyrene etc.)	63 – 79	28 – 35
11	toothpaste	2,460 – 2,870	1,075 – 1,254
12	animal feed	39,000 – 41,600	17,043 – 18,179
13	Cleaning industrial (hotels, hospitals, dish washing)	2,800 – 3,360	1,224 – 1,468

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการนำเข้าปุ๋ยของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2531-2533 (ธงชัยและคณะ, 2536)

ปี พ.ศ.	ปริมาณการสั่งปุ๋ยเข้า		พื้นที่เกษตรกรรม ล้านไร่	ปริมาณการใช้ปุ๋ย กิโลกรัม P ต่อปี	
	ตัน P ₂ O ₅ ต่อปี	ตัน P ต่อปี		ต่อไร่	ต่อเฮกเตอร์
2531	201,000	87,837	130.2	0.675	4.22
2532	189,000	82,593	-	-	-
2533	318,000	138,966	144.5	0.962	6.01

หมายเหตุ: - หมายถึงไม่ได้ทำการศึกษา

ยูโทรฟิเคชัน

ยูโทรฟิเคชัน เป็นปรากฏการณ์ที่ทะเลสาบมีธาตุอาหารมาก ทำให้สมบัติของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงไป มีผลเสียต่อการนำน้ำไปใช้ในการอุปโภคบริโภค เช่น การประปา และกิจกรรมต่างๆ โดยนักอุทกศาสตร์ (Limnologist) แบ่งทะเลสาบตามการผลิตทางชีวะเป็นสาร 3 ชนิด คือ

1. ทะเลสาบแบบโอลิโกโทรฟิค (Oligotrophic lake) จะมีธาตุอาหารน้อย มีปริมาณฟอสเฟต น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร พืชมีอัตราการเจริญเติบโตช้า มีสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่นปลา มีปริมาณน้อย น้ำมีลักษณะใส
2. ทะเลสาบแบบมีโซโทรฟิค (Mesotrophic lake) จะมีธาตุอาหารปานกลาง แหล่งน้ำมีสีเขียว พืชมีอัตราการเจริญเติบโตพอสมควร มีสิ่งมีชีวิตพวกปลาในปริมาณปานกลาง
3. ทะเลสาบแบบยูโทรฟิค (Eutrophic lake) มีธาตุอาหารมาก มีปริมาณฟอสเฟตมากกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร พบสาหร่ายขนาดเล็ก พืชน้ำและวัชพืชที่มีรากเจริญเติบโตเร็วมาก

เนื่องจากว่าฟอสฟอรัสเป็นปุ๋ยของพืช หากปล่อยทิ้งลงทางน้ำ จะทำให้พืชน้ำเช่นสาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

จากรูปที่ 2.2 พบว่ายูโทรฟิเคชันมีความสัมพันธ์กับห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำ กล่าวคือ สาหร่ายจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อนินทรีย์ไนโตรเจน ออโรพอสฟอรัส และแร่ธาตุต่าง ๆ ในการเจริญเติบโต โดยสาหร่ายเหล่านี้เป็นอาหารของสัตว์น้ำเล็ก ๆ (Zooplankton) และมีการถ่ายทอดธาตุอาหารเป็นห่วงโซ่ต่อกันไปสู่ปลาใหญ่ โดยการเจริญเติบโตของพืชและความสมดุลของห่วงโซ่อาหารจะถูกควบคุมโดยปริมาณธาตุอาหารในแหล่งน้ำ แต่ถ้าแหล่งน้ำเกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหาร จะเกิดจำนวนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสัตว์น้ำเล็ก ๆ ขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้แหล่งน้ำชุ่นเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ pea soup ” เกิดการย่อยสลายและมีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้สาหร่ายบางส่วนที่เกิดการย่อยสลายในน้ำจะจมตัวลงสู่ก้นทะเลสาบ ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง

จากรูปที่ 2.3 พบว่าปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันของแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารมากเกินไป (Overfertilization) ในช่วงฤดูหนาว จะมีผลเสียต่อทะเลสาบได้ กล่าวคือจะเกิดการสะสมของซากที่ย่อยสลายเป็นฝ้าไซ (Scum) ลอยตามลมเป็นแนวที่บริเวณชายหาด และเกิดกลิ่นเหม็น นอกจากนี้ในช่วงเวลาดังกล่าว ชั้นน้ำ อีพิลิมีเนียน (epilimnion) จะตกลงไปสู่ชั้นน้ำไฮโปลิมีเนียน (hypolimnion) และคงที่ตลอดแนวลำน้ำ เกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและปลาที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจลดลง นอกจากนี้กลิ่นและรสที่เกิดขึ้นในชั้นน้ำ อีพิลิมีเนียน และภาวะไม่ใช้ออกซิเจนในชั้นน้ำไฮโปลิมีเนียน จะมีผลต่อคุณภาพน้ำประปา เช่นที่ทะเลสาบอีร์, ทะเลสาบเมดิสัน, ทะเลสาบวิสคอนซิน และอ่าวซานฟรานซิสโก ในสหรัฐอเมริกา เป็นต้น

รูปที่ 2.3 การแบ่งชั้นน้ำของทะเลสาบแบบยูโทรฟิเค ในช่วงฤดูหนาว (กรมควบคุมมลพิษ, 2535)

ความขุ่นมีผลต่ออัตราการเกิดยูโทรฟิเคชัน กล่าวคือ ในแหล่งน้ำที่มีความขุ่นน้อย ดังรูปที่ 2.4 (ก) เมื่อได้รับธาตุอาหารจากน้ำเสีย การชะล้างปุ๋ยจากพื้นดิน และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์เพียงพอ ทำให้พืชน้ำมีการเจริญเติบโตปิดกั้นผิวหน้าของน้ำ สัตว์น้ำที่ไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจเพิ่มจำนวนมากขึ้น ในแหล่งน้ำที่มีความขุ่นสูง ดังรูปที่ 2.4 (ข) นั้น ความขุ่นจะปิดกั้นแสงอาทิตย์ที่จะส่องผ่านมายังพืชน้ำ ทำให้เกิดอัตราการสังเคราะห์แสงน้อย ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายและการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันน้อยลง ตามลำดับ

รูปที่ 2.4 อิทธิพลของความขุ่นต่อการเกิดยูโทรฟิเคชัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2535)

กรณี ก) แหล่งน้ำที่มีความขุ่นน้อย

ข) แหล่งน้ำที่มีความขุ่นสูง

ปัจจัยสำคัญในการควบคุมปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันได้แก่ปริมาณธาตุอาหาร ในรูปของคาร์บอน, สารอนินทรีย์ไนโตรเจน, ฟอสเฟต, แสง, ความเร็วหรืออัตราการไหลของน้ำและเวลา กักเก็บน้ำ (ธงชัยและคณะ, 2536) โดยแหล่งของคาร์บอนในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของคาร์บอนेट ส่วนแหล่งของไนโตรเจนนั้นได้มาจากการชะล้างปุ๋ยจากพื้นดินและการตรึงก๊าซไนโตรเจนของ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน นอกจากนี้ปริมาณฟอสเฟตจะมาจากหินฟอสเฟตจากการทำเหมืองแร่, อุจจาระสัตว์, ซากพืชที่ย่อยสลาย ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า การเกิดยูโทรฟิเคชัน คือการเพิ่มของ ปริมาณมวลชีวภาพในแหล่งน้ำ ขณะที่ความหลากหลายของสายพันธุ์ของสัตว์และพืชจะลดลงดัง ตารางที่ 2.5

ในประเทศเริ่มมีปัญหายูโทรฟิเคชันเกิดขึ้นบ้างแล้ว เช่นกรณีปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยน สี หรือที่ชาวบ้านเรียกว่า ซึ่ปลาวาฬ (Red tide) ที่มักจะเกิดขึ้นในอ่าวไทย โดยเฉพาะเมื่อกลาง เดือนสิงหาคม 2534 ตั้งแต่บริเวณชายหาดบางแสนไปจนถึงอ่าวอุดมและระหว่างปลายเดือน มิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม 2535 ในบริเวณตั้งแต่อ่างศิลาไปจนถึงอำเภอสัตหีบ (ธงชัยและ คณะ, 2536) ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นที่รุนแรงตลอดแนวชายฝั่งและยังเกิดความเสียหายต่อการเพาะ เลี้ยงกุ้ง, การเลี้ยงปลาในกระชังและธุรกิจการท่องเที่ยวในบริเวณดังกล่าว โดยปรากฏการณ์นี้เป็น ผลจากการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วของไดโนแฟลคเจลเลตชนิดนอคติลลิกา ทำให้น้ำทะเลมีสีเขียว เข้มและมีแนวโน้มว่าจะเกิดในช่วงเวลาดังกล่าวทุกปีและนับวันจะทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ (กรม ควบคุมมลพิษ, 2535)

ตารางที่ 2.5 แหล่งน้ำของทะเลสาบแบบโอลิโกโทรฟิกและทะเลสาบแบบยูโทรฟิก (ธงชัย และคณะ, 2536)

ลักษณะ	Oligotrophic lake	Eutrophic lake
การส่งผ่านแสง (คิดเป็นความลึก, เมตร)	>6	3-1.5
ตะกอนของแข็ง	ต่ำ	สูง
ของแข็งละลายน้ำ	ต่ำ	สูง
คลอโรฟิลล์ A (มิลลิกรัมต่อลิตร)	>2.5	8-2.5
ความถี่ในการเกิดสาหร่ายมากผิดปกติ	ต่ำ	สูง
ความหลากหลายของสายพันธุ์สาหร่าย	มาก	ต่ำ
พิษจากสาหร่าย(algae toxins)	-	เพิ่มขึ้น
มวลของ phytoplankton	ต่ำ	สูง
มวลของ zooplankton	ต่ำ	สูง
จำนวนปลา	-	เพิ่มขึ้น
สายพันธุ์ปลา	-	ลดลง
ความต้องการออกซิเจน	-	เพิ่มขึ้น
พืชชายฝั่งทะเล	น้อย	มาก
จำนวนสัตว์ก้นทะเล	-	เพิ่มขึ้น
สายพันธุ์สัตว์ก้นทะเล	-	ลดลง
การเพิ่มของสัตว์และพืชชั้นต่ำ	-	มาก

หมายเหตุ:-หมายถึงไม่ได้ทำการศึกษา

ผลกระทบของน้ำเสีย

1. มีสีและกลิ่นที่น้ำรังเกียจ ไม่สามารถใช้อุปโภคและบริโภค
2. เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งในน้ำและบนบกบริเวณใกล้เคียง ทำให้เสียความสมดุลทางธรรมชาติ เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม
3. เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เพราะเป็นแหล่งเพาะพันธุ์และแพร่พันธุ์

ของเชื้อโรค และเป็นพาหะนำโรคต่างๆ สุ่มมนุษย์ สัตว์ และพืช

4. ทำลายทัศนียภาพ โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่ใช้ในการคมนาคม และแหล่งท่องเที่ยว

การลดฟอสเฟต

การลดปริมาณฟอสเฟตสามารถกระทำได้โดยกระบวนการบำบัดทางเคมี และทางชีวภาพ

1. การกำจัดฟอสเฟตโดยวิธีทางชีวภาพ

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพนั้น จุลินทรีย์จำเป็นต้องมีอาหารเพียงพอในการสร้างเซลล์ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 จำพวก คือ สารประกอบซึ่งให้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส สารประกอบซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีพ สารอนินทรีย์ และสารที่ต้องการเพียงเล็กน้อย โดยทั่วไปจุลินทรีย์ต้องการธาตุหลักได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิเคอร์ ส่วนแร่ธาตุรองได้แก่ โปแตสเซียม แคลเซียม สังกะสี แมงกานีส เหล็ก โคบอลท์ แมกนีเซียม และทองแดง ซึ่งในน้ำเสียจากชุมชนจะมีสารอาหารเหล่านี้เพียงพอในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่ถ้าเป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม อาจจะขาดแร่ธาตุบางอย่างไป จึงจำเป็นต้องเติมลงไปเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จุลินทรีย์ในระบบที่ใช้ออกซิเจนมีสูตรโมเลกุล $C_5H_7O_2NP_{0.2}$ ประกอบด้วยไนโตรเจน และฟอสฟอรัสโดยน้ำหนักในสัดส่วนร้อยละ 11.8 และ 5.2 ตามลำดับ ซึ่งแบคทีเรียสามารถนำเอาไนโตรเจนมาใช้ได้จากแอมโมเนีย ไนเตรต และไนไตรต์ ส่วนฟอสฟอรัสนั้นแบคทีเรียจะใช้ในรูปของออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ (PO_4^{3-}) โดยอัตราส่วนระหว่าง บีโอดี ต่อความต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่ากับ 100 : 5 : 1 (Metcalf และ Eddy, 1991)

ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดในกระบวนการกำจัดทางชีวภาพ โดยการดูดซับออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปของเนื้อเยื่อเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดในระหว่างการบำบัดขั้นที่สองในรูปของตะกอน มีตั้งแต่ร้อยละ 10-30 ของปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบบำบัด โดยจุลินทรีย์ไม่เพียงแต่ใช้ฟอสฟอรัสในการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของเซลล์ สังเคราะห์สารและถ่ายทอดพลังงานในเซลล์เท่านั้นแต่ยังสามารถ

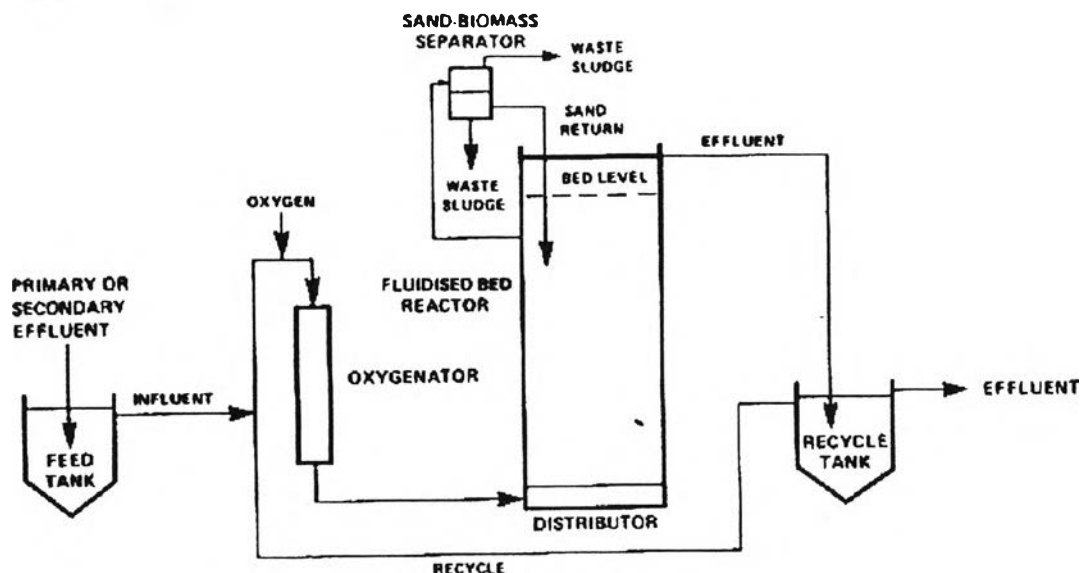
เก็บฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์เป็นพลังงานสะสมเพื่อใช้ประโยชน์ในครั้งต่อไปได้ การกำจัดฟอสฟอรัสในภาวะที่ใช้ออกซิเจน และภาวะไร้อากาศ สามารถทำได้ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพเรียกว่า "Mainstream" ส่วนการกำจัดฟอสฟอรัสในตะกอนจุลินทรีย์ที่สูบกลับ (return sludge) เรียกว่า "Sidestream" โดยกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาที่ใช้สำหรับกำจัดฟอสฟอรัส มีหลายวิธี ได้แก่

1. กระบวนการ PHOSTRIP ใช้สำหรับกำจัดฟอสฟอรัสใน sidestream
2. กระบวนการ Anoxic / Oxic (AO) ใช้สำหรับกำจัดฟอสฟอรัสใน Mainstream
3. กระบวนการ Sequencing Batch Reactor (SBR)
4. กระบวนการ ฟลูอิดไคต์เบด เป็นต้น

1.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟลูอิดไคต์เบด

หลักการการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียฟลูอิดไคต์เบด

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน โดยกระบวนการฟลูอิดไคต์เบด ประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคต์เบด (Fluidized bed reactor) เครื่องทำออกซิเจน (Oxygenator) ภาชนะหมุนวนน้ำกลับ (Recycle tank) และเครื่องแยกทรายออกจากมวลจุลินทรีย์ (Sand Separator) แผนผังการทำงานของกระบวนการแสดงได้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนผังแสดงการทำงานของกระบวนการฟลูอิด์เบด

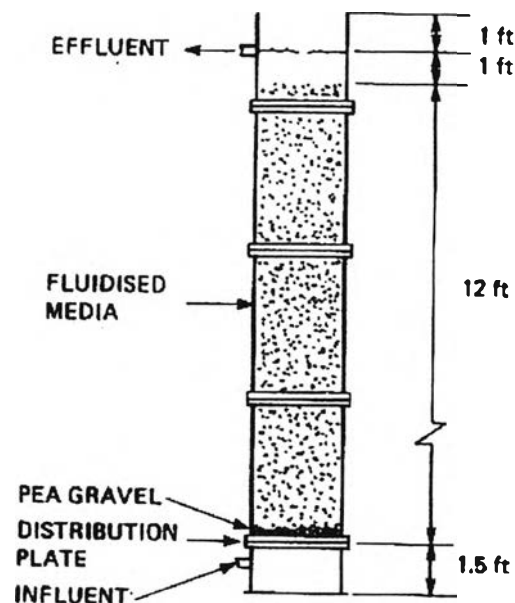
Shielh , W.K. , Sutton , P.M. and Kos , P. (1981)

หลักการเบื้องต้นของกระบวนการประกอบขึ้นด้วยการผ่านน้ำเสียแบบไหลเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิด์เบด ทางด้านล่างที่ภายในบรรจุด้วยอนุภาคตัวกลาง เช่น ทรายที่อยู่ในสภาพนิ่งหรือเบตนิ่ง ด้วยความเร็วที่พอเพียงที่สามารถทำให้อนุภาคตัวกลางเกิดฟลูอิด์เซชันพร้อมกับการให้ออกซิเจนแก่กระบวนการ โดยการผ่านอากาศและน้ำเสียเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิด์เบด หรือผสมน้ำเสียกับอากาศในเครื่องความดันก่อน แล้วจึงผ่านน้ำที่ผสมกับอากาศนี้เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิด์เบด โดยในขั้นแรกใช้ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิด์เซชัน เพื่อให้เบตเริ่มขยายตัวจนมีช่องว่างระหว่างอนุภาคตัวกลางเพิ่มขึ้น ลักษณะของเบตที่เกิดขึ้นจะมีความเป็นเนื้อเดียวกันสม่ำเสมอตลอดทั้งเบต (Uniform and Homogeneous) ผิวหน้าของเบตราบเรียบ แล้วจึงเพิ่มความเร็วไหลขึ้นของน้ำเสียให้สูงขึ้น จนกระทั่งเบตมีการขยายตัวอยู่ในระดับความสูงของเบตตามที่ต้องการแล้วจึงควบคุมความเร็วของน้ำให้คงที่ตลอด กล่าวได้ว่า ในทางปฏิบัติมักใช้ความเร็วของของไหลสูงกว่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิด์เซชันอย่างน้อย 1.5 เท่า ทำให้อนุภาคตัวกลางเหล่านี้ลอยเป็นชั้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ (สมศักดิ์, 2528)

เมื่อน้ำไหลผ่านทางออกของเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคด์เบด จะไหลเข้าสู่ภาชนะหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อหมุนเวียนน้ำกลับมานำบำบัดซ้ำใหม่โดยน้ำนั้นจะเป็นส่วนที่มีจุลินทรีย์อยู่หนาแน่น จึงจะไปช่วยเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบ และมีน้ำบางส่วนไหลออกไปเป็นน้ำที่ได้รับการบำบัดจากระบบนี้แล้ว

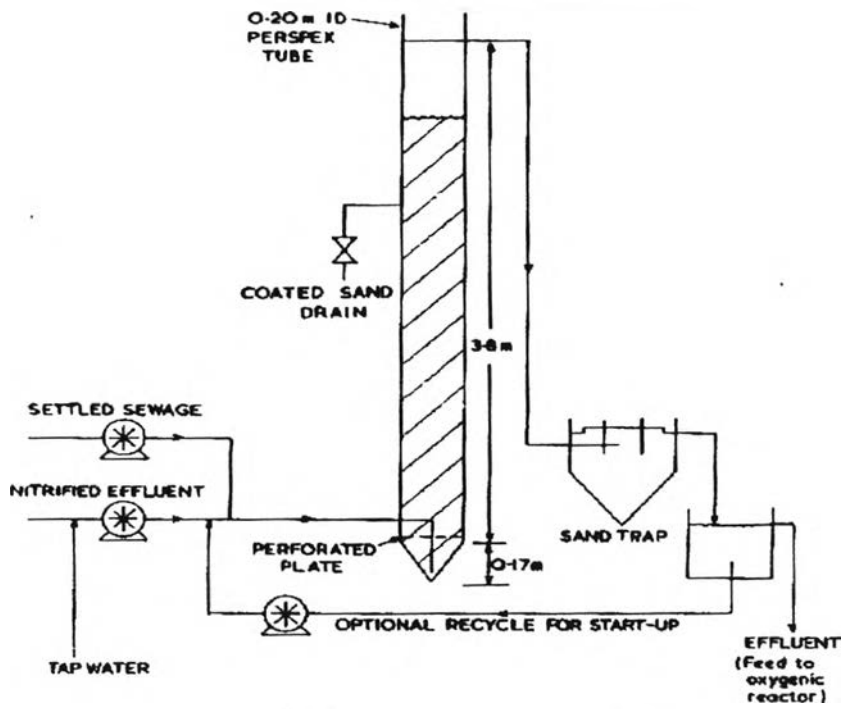
ภายในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคด์เบดจะมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้ความสูงของชั้นทรายเพิ่มขึ้นขณะที่ทำการทดลองต่อไปเรื่อย ๆ เมื่อความสูงของชั้นทรายสูงเกินระดับหนึ่งที่ตั้งไว้ จะกำจัดจุลินทรีย์ที่มีอายุมากออกจากระบบ โดยเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้มากขึ้นเม็ดทรายจะเกิดการเสียดสีกัน ทำให้จุลินทรีย์บางส่วนหลุดออกไป ขั้นตอนการเอาจุลินทรีย์ออกต้องศึกษาอายุของตะกอนจุลินทรีย์ที่ทำการบำบัดน้ำเสีย นั้น ๆ ด้วย

รูปแบบของระบบฟลูอิดไคด์เบดที่อยู่ในภาวะแบบใช้ออกซิเจน แสดงในรูปที่ 2.6, 2.8 และ 2.9 แสดงระบบที่แบบที่เรียกว่าใช้ออกซิเจนเปลี่ยนเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายอาหาร (anoxic) รูปที่ 2.7



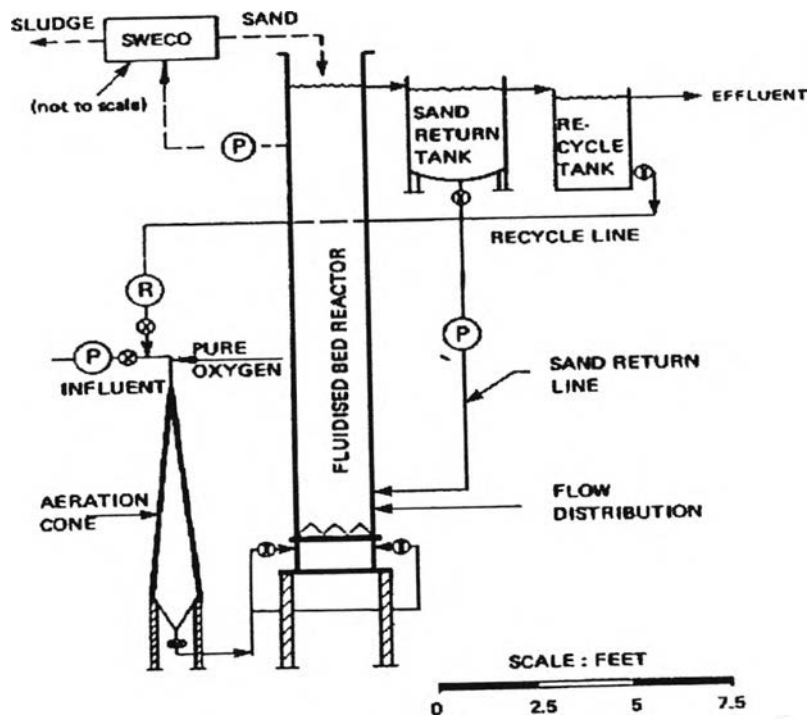
รูปที่ 2.6 ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคด์เบดขนาด Pilot

Cooper, P.F. and Atkinson, B., (1981)



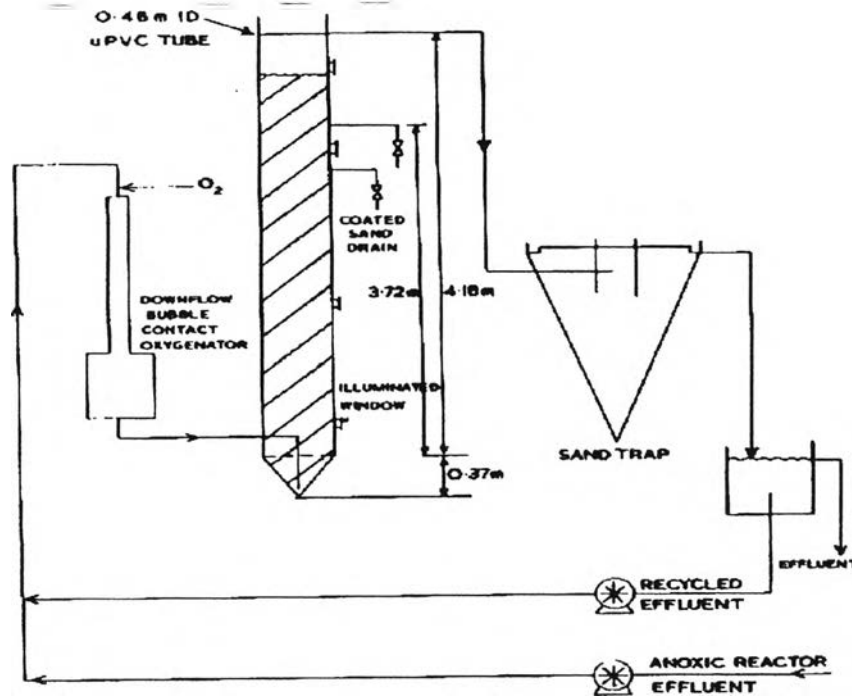
รูปที่ 2.7 ลักษณะแผนผังเครื่องฟลูอิดไรซ์เบดแบบจูลินทรีย์ขาดออกซิเจน

Cooper, P.F. and Atkinson, B. (1981)



รูปที่ 2.8 ลักษณะขนาดแผนผังระบบบำบัดน้ำเสียฟลูอิดไรซ์เบดแบบจูลินทรีย์ใช้ออกซิเจน

Cooper, P.F. and Atkinson, B. (1981)



รูปที่ 2.9 ลักษณะของเครื่องบำบัดน้ำเสียฟลูอิดไรซ์เบดแบบเติมออกซิเจน

Cooper, P.F. and Atkinson, B. (1981)

ข้อดีและข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนระบบฟลูอิดไรซ์เบด

ข้อดีของกระบวนการ

1. เป็นระบบที่มีพื้นที่ผิวมากและพบความเข้มข้นของจุลินทรีย์สูงมากในเบด ซึ่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง และสามารถนำไปประยุกต์กับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของมวลสารสูง หรือใช้แทนระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ได้เป็นอย่างดี
2. เครื่องปฏิกรณ์มีขนาดเล็กเนื่องจากใช้เวลากักเก็บ (Hydraulic Retention time) ที่สั้นมากนั่นคือการบำบัดใช้เวลาน้อยกว่าระบบบำบัดน้ำเสียอื่น ๆ และโครงสร้างของระบบเป็นแนวตั้ง จึงใช้พื้นที่น้อย
3. การก่อสร้างและติดตั้งระบบฟลูอิดไรซ์เบดมีค่าใช้จ่ายถูกกว่า เมื่อเทียบกับระบบบำบัดที่มีปริมาณการบำบัดเท่ากัน

4. มวลจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่ที่อนุภาคตัวกลางจะมีอัตราการตกตะกอนสูง จึงทำให้หลุดออกได้ยากถึงแม้จะใช้น้ำที่มีอัตราเร็วสูงก็ตาม
5. ควบคุมง่ายและตั้งทิ้งไว้ได้นาน
6. วิธีนี้มีความสำเร็จที่สามารถนำไปประยุกต์ในสภาพของคุณภาพน้ำเสียที่มีการเปลี่ยนแปลงสูง
7. เนื่องจากอนุภาคตัวกลางเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการผสมกันระหว่างมวลจุลินทรีย์และสารอาหารได้อย่างรวดเร็วและดี
8. ความดันตกที่ผ่านเบดต่ำไม่จำเป็นต้องใช้ถังตกตะกอนชั้นที่สอง หรืออาจจะใช้ในกรณีที่ต้องการแยกมวลจุลินทรีย์ออกจากตัวกลาง เพื่อนำอนุภาคตัวกลางเพียงอย่างเดียวย้อนกลับสู่เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไธซ์เบด
9. ไม่เกิดปัญหาการอุดตันระหว่างอนุภาคตัวกลางเนื่องจากมวลจุลินทรีย์

ข้อเสียของกระบวนการ

1. มีการขัดสีกันระหว่างอนุภาคตัวกลางหรือระหว่างอนุภาคตัวกลาง กับผนังของเครื่องปฏิกรณ์ โดยจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีการเป่าอากาศเข้าไปด้วยอาจจะทำให้มวลจุลินทรีย์หลุดได้
2. เวลาที่น้ำเสียเข้าสู่ระบบสั้นมาก ดังนั้นระบบจึงต้องออกแบบให้น้ำวนกลับมาทำการบำบัดอีก
3. การทำงานของระบบมีข้อจำกัดเรื่องความเร็วน้ำเสียที่เข้าในเครื่องปฏิกรณ์เพราะต้องมีความเร็วที่พอเหมาะที่ทำให้เกิดฟลูอิดไธซ์ ถ้าความเร็วเกินไปจะทำให้อนุภาคตัวกลางหลุดออกจากระบบได้ ดังนั้นจะต้องกำหนดช่วงของเครื่องว่าใช้ได้ในช่วงบีโอดีเท่าไร ที่จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด

2. การกำจัดฟอสเฟตโดยวิธีทางเคมี

การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) เป็นกระบวนการทางฟิสิกส์-เคมีที่เปลี่ยนสารที่อยู่ในรูปของสารละลายให้มาอยู่ในสถานะของแข็งซึ่งจะแยกออกจากสารละลายได้ การตกตะกอนทางเคมีขึ้นอยู่กับภาวะสมดุลทางเคมีที่มีผลต่อการละลายน้ำของสารนั้นๆ การตก

ตะกอนทางเคมีเกิดขึ้นได้หลายวิธี โดยมีกระบวนการเป็นไปตามขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง หรือหลายขั้นตอนรวมกันดังต่อไปนี้ (อุบลวรรณ, 2536)

1. ใสสารซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่ละลายในน้ำ เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบใหม่ มีสมบัติที่ละลายน้ำได้น้อย

2. ใสสารซึ่งสามารถ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภาวะสมดุลของการละลายน้ำ (Solubility equilibrium) ให้เลื่อนมาถึงจุดซึ่งสารที่ละลายอยู่ในน้ำไม่สามารถละลายอยู่อีกต่อไป จึงเกิดการรวมตัวและตกตะกอน

3. เปลี่ยนอุณหภูมิของสารละลายอิ่มตัวหรือเกือบอิ่มตัวไปในทิศทางที่ทำให้ค่าการละลายลดลงจนเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะของแข็ง เนื่องจากการละลายน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

กระบวนการตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) แตกต่างไปจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation) เพราะการตกตะกอนทางเคมีเป็นการเติมสารลงไปในน้ำเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับสารที่ละลายน้ำเกิดเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งเป็นตะกอนที่ใหญ่และหนัก จมตัวได้ ส่วนโคแอกกูเลชันเป็นการเติมสารเคมีเพื่อช่วยให้สิ่งสกปรกที่เป็นตะกอนขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ ในทางปฏิบัติการตกตะกอนทางเคมีมักถูกเรียกรวมๆ กันไปเป็นโคแอกกูเลชัน ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.10 ได้แก่ (อุบลวรรณ, 2536)

1. การทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ (destabilization of colloid particles) โดยการเติมสารสร้างตะกอน ภายใต้สภาพน้ำที่มีความปั่นป่วนอย่างรุนแรงในขั้นตอนการกวนเร็ว (rapid mixing) เพื่อให้สารเคมีและอนุภาคคอลลอยด์จับตัวกันได้ดีมากยิ่งขึ้น ประกอบด้วยกลไกที่สำคัญ 4 แบบคือ

1.1 การลดความหนาแน่นของชั้นกระจาย (diffuse layer) โดยลดค่าศักย์ซีตา (zeta potential) เนื่องจากการเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค ผลที่ได้ก็คือชั้นกระจายที่มีความหนาลดลง ทำให้ค่าศักย์ซีตาลดลงด้วย

1.2 การดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้าของอนุภาค โดยการเติมสารเคมีที่มีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาคคอลลอยด์และสามารถดูดติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์

1.3 การจับอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น โดยการเติมสารเคมีบางชนิดลงไป ทำให้เกิดผลึกของสารประกอบซึ่งมีลักษณะเหนียวสามารถห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้ได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น เช่นการใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนในระบบผลิตน้ำประปาที่พบอยู่เสมอ เป็นต้น

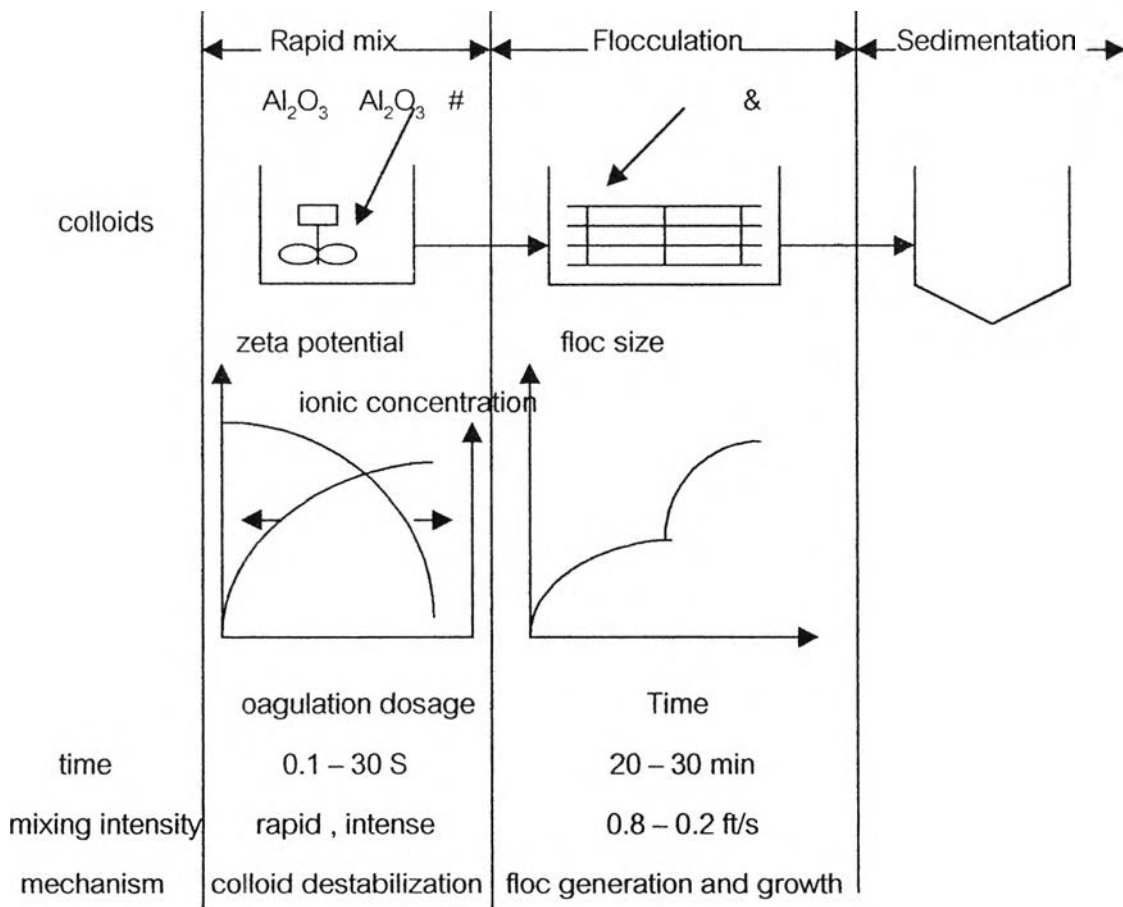
1.4 การใช้สารอินทรีย์พอลิเมอร์ เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์โดยสารประกอบตามธรรมชาติหลายชนิด เช่น แป้ง เซลลูโลส น้ำตาลและโปรตีนบางชนิด รวมทั้งสารอินทรีย์พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถใช้เป็นสารสร้างตะกอนในการกำจัดคอลลอยด์ได้ ซึ่งสารเหล่านี้มักมีขนาดโมเลกุลใหญ่มาก และประจุไฟฟ้าประจำตัวอาจเป็นบวก ลบ หรือไม่มีประจุเลยก็ได้ สารสร้างตะกอนที่ได้จากวัสดุธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์พอลิเมอร์ ซึ่งอาศัยกลไกการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ โดยวิธีสร้างสะพานเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์ (polymer bridging) กล่าวคือในขั้นตอนแรกโมเลกุลของสารพอลิเมอร์จะเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ โดยอาจเป็นผลเนื่องมาจากประจุที่ต่างกันของพอลิเมอร์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีพอลิเมอร์เกาะติดอยู่และมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (destabilized particle) ขั้นตอนต่อมาคืออนุภาคดังกล่าวจะไปจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมีพอลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม ซึ่งผลที่ได้ก็คือตะกอนที่มีขนาดใหญ่และสามารถแยกตัวออกจากน้ำใสได้ง่ายในทางตรงข้ามการใช้พอลิเมอร์มากเกินไปอาจก่อให้เกิดผลเสียได้เพราะพอลิเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะบนอนุภาคคอลลอยด์ จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของพอลิเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่นๆอนุภาคของคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นจึงเรียกว่าอนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ (restabilized particle) แต่ถ้าการกวนน้ำแรงเกินไปหรือนานเกินไปก็ก่อผลเสียได้ เนื่องจากตะกอนที่เกิดขึ้นแล้วแตกออกเป็นส่วนๆ และอาจทำให้ปลายอิสระของพอลิเมอร์เกาะจับบนอนุภาคอันเดิม เสถียรภาพของคอลลอยด์จึงกลับคืนมาใหม่เช่นกัน

2. การทำให้อนุภาคที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว มีโอกาสสัมผัสและรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะตกตะกอนได้ง่ายขึ้น (Flocculation) โดยอาศัยการกวนช้า (slow mixing) ซึ่งปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดกลไก ได้แก่

2.1 Perikinetic flocculation เป็นการรวมตะกอนที่เกิดขึ้น เมื่อมีการเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อนซึ่งแปรรูปเป็นพลังงานทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว และชนกับอนุภาคความขุ่นที่กระจายอยู่ในน้ำ ทำให้อนุภาคมีการเคลื่อนที่ที่เกิดการสัมผัสจนมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำและจำนวนอนุภาค โดยจะมีบทบาทเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 1

ไมครอน และหากอนุภาคความขุ่นรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนแล้ว การรวมตัวแบบนี้จะมีบทบาทน้อยลงมาก

2.2 Orthokinetic flocculation เป็นการรวมตะกอนที่เกิดขึ้น เมื่อการเคลื่อนที่ของน้ำอยู่ในภาวะของการกวน โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำจะแตกต่างกันตามตำแหน่งและเวลา ดังนั้นอนุภาคคอลลอยด์ที่เคลื่อนที่ไปกับน้ำจะมีความเร็วแตกต่างกันไปด้วย จึงทำให้เกิดการชนและการรวมตัวกันในที่สุดกลไกแบบนี้จะมีบทบาทมากเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า กลไกหลักของการกวนช้าจะต้องมีการสร้างภาวะการเคลื่อนที่ของน้ำให้มีความเร็วที่แตกต่างกันไปตามตำแหน่งต่างๆ ในน้ำ ซึ่งในระบบประปาปัจจุบันทั่วไปสามารถทำได้โดยการใช้ใบพัดแบบต่างๆ



= alkalinity alum or iron silica cationic polyelectrolyte

& = anionic or nonionic polyelectrolyte

รูปที่ 2.10 กลไกของปฏิกิริยาการเกิดโคแอกกูเลชัน (กรองกาญจน์, 2530)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโคแอกกูเลชัน ได้แก่ ชนิดและปริมาณของสารสร้างตะกอน, ความเข้มข้นของเกลือในน้ำดิบ, พีเอช, อุณหภูมิ, ชนิดและขนาดของอนุภาค กล่าวคือ

1. พีเอช ของน้ำ เนื่องจากสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพดีที่สุด ที่พีเอชช่วงหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นจะต้องหาค่า พีเอชของน้ำก่อนเพื่อปรับสภาพน้ำให้พีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน

2. เกลือแร่ต่างๆและการมีอนุมูลซัลเฟตหรือฟอสเฟต จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการตกตะกอนเปลี่ยนแปลงไปคือ

1) เปลี่ยนแปลงช่วงพีเอชที่ดีที่สุด ในการเกิดตะกอนเช่นถ้าใช้สารส้มที่พีเอช 6-7.8 และมีอนุมูลซัลเฟต 125 มิลลิกรัมต่อลิตรอยู่ในน้ำอยู่แล้วจะทำให้ช่วงที่จับเป็นตะกอนเปลี่ยนเป็นที่พีเอช 5-7.8 แทนเพราะว่าอนุมูลซัลเฟตจะไปทำหน้าที่แทนอนุมูลไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้น

2) เปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการตกตะกอน

3) ปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอน จะมีการเปลี่ยนแปลงไป

4) ปริมาณสารสร้างตะกอน ที่เหลืออยู่ในน้ำจะเปลี่ยนแปลงไป

3. สมบัติและชนิดคอลลอยด์ในน้ำ คอลลอยด์ในน้ำเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ มีสภาพเป็นประจุบวกหรือลบ เพื่อจะได้เลือกสารสร้างตะกอนได้ถูกต้อง

4. สมบัติและชนิดของสารสร้างตะกอน สารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมต่อคอลลอยด์แต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ตลอดจนสมบัติของการตกตะกอนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในน้ำ ลักษณะของตะกอน ความเร็วของการตกตะกอน ราคา ความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้นจะต้องมีการเลือกใช้งานให้เหมาะสมระหว่างชนิดคอลลอยด์และสารสร้างตะกอน

5. ปริมาณของสารสร้างตะกอน มีความสำคัญเกี่ยวกับความสามารถในการตกตะกอน เพราะตามธรรมชาติ สารใดก็ตามถ้าค่าของผลคูณ ion product ไม่เกินค่า K_{sp} หรือค่าคงที่ของการละลายของสารนั้นแล้ว สารนั้นจะไม่ตกตะกอนออกมาในน้ำ แต่ถ้าเกินค่า K_{sp} มันจะตกตะกอนทันที ดังนั้นในกรณีที่ใช้สารส้ม ถ้าต้องการจะให้เกิดตะกอนของ $Al(OH)_3$ ลงมา (เป็นกลไกแบบ sweep coagulation) จะต้องมีปริมาณของสารส้มสูงประมาณ 20-50 มก./ ลิตร จึงจะทำให้ผลคูณของ $[Al^{3+}] [OH]^{-3}$ มีค่าเกินกว่าค่า K_{sp} และพีเอชต้องอยู่ระหว่าง 6-7.5 จึงจะได้ผลดีที่สุด ดังนั้นปริมาณของสารสร้างตะกอนจะต้องเหมาะสมต่อการตกตะกอนในแต่ละครั้ง ถ้ามากเกินไปก็ไม่ดีเพราะจะทำให้เกิดเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้

6. ความเข้มข้นของสารเจือปนในน้ำ พบว่าน้ำทิ้งใดที่มีปริมาณคอลลอยด์มากจะตกตะกอนได้ดีกว่าและใช้สารสร้างตะกอนในปริมาณที่น้อยกว่าน้ำที่มีคอลลอยด์น้อย เพราะน้ำที่มีความเข้มข้นสารเจือปนสูงๆ อนุภาคจะมีโอกาสสัมผัสกันได้ง่าย ใสสารเคมีเพียงเล็กน้อยก็ตกตะกอนแล้ว เพราะมีเป่าสัมผัสมาก ส่วนน้ำที่มีความเข้มข้นสารเจือปนต่ำๆ เป่าสัมผัสมีน้อยการตกตะกอนจึงไม่ดี จำเป็นต้องใสสารเคมีมากขึ้น การแก้ปัญหาคือสร้างเป่าสัมผัสให้มัน เช่น ใสสารช่วยสร้างตะกอน (coagulation aid) เข้าไป ได้แก่ สารพอลิอิเล็กโทรไลต์

7. อุณหภูมิ มีผลต่อความหนืด (viscosity) ของน้ำ กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิต่ำ ความหนืดจะสูง ทำให้อัตราการตกตะกอนเพื่อการรวมตัวเกิดตะกอนช้าลง เนื่องจากมีแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น เช่น น้ำที่มีอุณหภูมิ 1°C จะใช้เวลาในการรวมตัวเกิดตะกอนมากกว่าน้ำที่มีอุณหภูมิ 20°C ประมาณ 2 – 3 เท่า และตะกอนจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง นอกจากนั้นสารซักฟอกจะไปขัดขวางการตกตะกอนไม่ให้เกิดได้ดีเท่าที่ควร

8. การกวนเพื่อให้เกิดการปั่นป่วนในน้ำ ต้องมีความเร็วที่เหมาะสมซึ่งขึ้นกับค่า G (velocity gradient) และเวลาในการกวน (t) โดยการกวนเร็วจะมีค่า G ประมาณ 300 – 1500 วินาที⁻¹ การกวนช้ามีค่า G ประมาณ 40 – 100 วินาที⁻¹ ส่วนเวลาในการกวนเร็ว 30 - 120 วินาที การกวนช้า 15 – 30 วินาที และค่าผลคูณ Gt สำหรับการกวนเร็วควรอยู่ในช่วง 30,000 – 60,000 การกวนช้าควรมีค่าประมาณ 10,000 – 100,000 ซึ่งการกวนเร็วจะทำให้สารเคมีกระจายตัวในน้ำได้อย่างทั่วถึง และช่วยเพิ่มอัตราการชนกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์กับสารเคมี เพื่อทำลายเสถียรภาพให้มากขึ้น ทำให้การรวมตัวเกิดตะกอนในการกวนช้าง่ายขึ้น

เนื่องจากการกำจัดฟอสเฟตโดยวิธีทางเคมีนั้นอาจนำไปใช้ร่วมในการบำบัดน้ำเสียชีวภาพ ซึ่งสามารถเติมสารสร้างตะกอนได้หลายจุด ดังรูปที่ 2.11 มีชื่อเรียกต่างกัน คือ (ธงชัยและคณะ, 2536)

1. Pre-precipitation ดังรูปที่ 2.11 (a) เป็นการเติมสารเคมีเข้าไปในน้ำทิ้งที่ยังไม่ได้ผ่านระบบบำบัดโดยฟอสเฟตที่ตกตะกอนจะถูกแยกออกไปเป็น primary sludge กล่าวคือเป็นการเติมเกลือของโลหะในกระบวนการตกตะกอนขั้นแรก เกลือของโลหะจะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิฟอสเฟต ที่ละลายน้ำได้แล้วตกตะกอน ส่วนพอลิฟอสเฟตและอินทรีย์ฟอสเฟตจะถูกกำจัดโดยปฏิกิริยาเชิงซ้อนและโดยการดูดซับบนอนุภาคของเม็ดตะกอน ส่วนฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำจะถูก

กำจัดออกจากระบบบำบัดในรูปของ primary sludge อาจต้องใช้พอลิเมอร์ช่วยในการตกตะกอนด้วย ซึ่งการเติมเบสมีความจำเป็นในกรณีที่น้ำมีความเป็นเบสต่ำเพื่อช่วยให้พีเอชอยู่ในช่วง 5 – 7

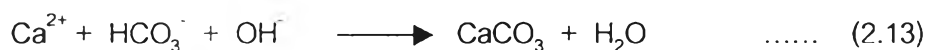
3. Co- precipitation (Simultaneous precipitation) ดังรูปที่ 2.11 (b) เป็นการเติมสารเคมีเข้าไปเพื่อทำให้เกิดการรวมตะกอนของฟอสเฟตร่วมกับวิธีทางชีวภาพ หลังจากเกิดการตกตะกอนครั้งแรกแล้ว ซึ่งสามารถเติมสารเคมีลงไปได้ทั้งก่อนและหลังถึงเติมอากาศ

4. Post- precipitation ดังรูปที่ 2.11 (c) เป็นการเติมสารเคมีลงในน้ำที่ปล่อยออกมาจากถังตกตะกอนครั้งที่สอง ในกระบวนการนี้ตะกอนจะถูกแยกออกมาในถังตกตะกอนต่างหาก หรือถูกแยกออกมาโดยตัวกรอง (filter) ขณะที่น้ำผ่านออกมาจากระบบบำบัด และถ้าเติมพอลิเมอร์ในถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย จะทำให้การจมตัวของตะกอนดีขึ้นและน้ำที่ออกจากระบบบำบัดจะมีค่าบีโอดีลดลง

ในปัจจุบันสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนฟอสเฟต มีหลายชนิด (กรองกาญจน์, 2530) ได้แก่

1. ปูนขาว (Lime) หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) มีข้อดีคือ

ราคาถูก สร้างตะกอนได้ดี ทำให้พีเอชหลังตกตะกอนมีค่าสูงขึ้น แต่มีข้อเสียคือจะเกิดตะกอนมาก ทำให้เป็นปัญหาในการกำจัดได้ โดยปูนขาวทำปฏิกิริยากับเบสและฟอสเฟตในน้ำเสีย เกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ และ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังสมการที่ 2.13, 2.14, 2.15



2. อะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) หรือสารส้ม มีข้อดีคือ

ก. ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย

ข. จับตัวกันเป็นก้อนกับคอลลอยด์ได้ดี

ค. ใช้งานง่าย สะดวกสบาย

แต่มีข้อเสียคือ

ก. เป็นเกลือของกรดที่ละลายน้ำได้ดี เกิดสภาพกรดทำให้เกิดการกัดกร่อน

ภาชนะที่ใช้งาน ตลอดจนคอนกรีต

- ข. ทำให้เกิดความกระด้างถาวรเพิ่มขึ้น
- ค. ต้องเพิ่มความเป็นกรดเบสให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน แต่ถ้าเพิ่มความเป็นเบสมากเกินไป จะเกิดความคงทนของสีในน้ำได้
- ง. เพิ่มแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำได้ ทำให้เพิ่มการกัดกร่อน
- จ. ในน้ำมีปริมาณคอลลอยด์มาก จะขัดขวางการตกตะกอนของฟอสเฟต เพราะสารส้มที่เติมลงไปจะถูกเปลี่ยนเป็น Al_2O_3 ซึ่งจะไปอุดตันสารกรองที่ใช้อยู่

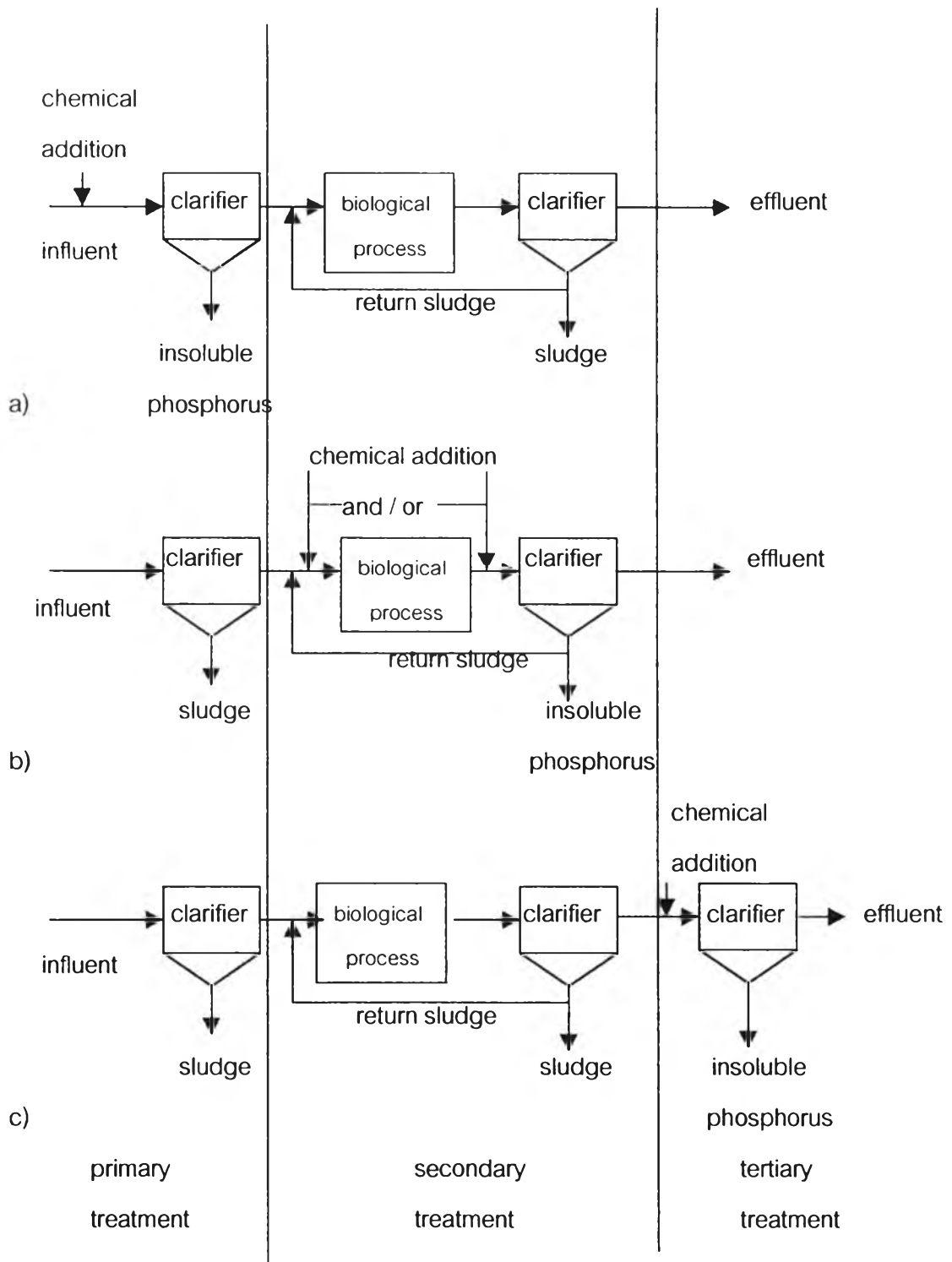
3. เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) หรือ copperas มีข้อดีคือ

- ก. ตกตะกอนได้ที่พีเอชกว้างประมาณ 4 – 11
 - ข. เวลาในการตกตะกอนและรวมตัวให้เกิดตะกอนจะสั้นกว่าสารส้ม
 - ค. ตะกอนที่ได้มีขนาดใหญ่
 - ง. มีเหล็กออกสู่น้ำทิ้งน้อย
 - จ. ราคาถูกกว่า
- ข้อเสีย คือ
- ก. มักให้ตะกอนสีน้ำตาลแดง
 - ข. เกิดการกัดกร่อนถ้าอยู่ในรูปของ Fe^{2+}
 - ค. ไม่เหมาะสมกับน้ำที่มีความเป็นเบสต่ำและมีสี

3. เบนโทไนต์ (Bentonite) เป็นดินเหนียวที่เกิดจากการสะสมของเถ้าภูเขาไฟ ประกอบด้วย เบนโทไนต์ ร้อยละ 55 และสารอนินทรีย์ ร้อยละ 45 ซึ่งอยู่ในรูปของอะลูมิเนียมออกไซด์ , เฟอร์รัสออกไซด์ , ซิลิคอนออกไซด์ , เฟอริกออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์ มีข้อดี คือ

- ก. ใช้กับน้ำที่มีความขุ่นน้อย เพื่อเพิ่มเป้าสัมผัสน้ำได้
- ข. สามารถดูดซับประจุบวกได้ดี
- ค. ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย
- ง. ตะกอนมีน้ำหนัก จึงตกเร็ว
- จ. pH มักไม่มีผลต่อการตกตะกอน

ข้อเสีย คือ มักจับตัวกันเป็นก้อนเหนียว เมื่อใส่ลงในน้ำที่เดียว ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงนิยมตีหรือกวนให้ก้อนดินแตกก่อนแล้วค่อยผสมลงไป



รูปที่ 2.11 ตำแหน่งการเติมสารสร้างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ

a) Pre-precipitation b) Co-precipitation (Simultaneous precipitation)

c) Post-precipitation

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Seckler, M.M., Bruinsma, O.S.L., และ Van Rosmalen, G.M. (1996) ศึกษากฎเกณฑ์ที่เหมาะสมของการกำจัดฟอสเฟตในปฏิกรณ์ฟลูอิดไคด์เบด โดยตกตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น $5-10 \text{ mgP l}^{-1}$ น้ำที่เข้าปฏิกรณ์มีค่าอัตราส่วนโดยโมลของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 3 ปริมาณฟอสเฟตร้อยละ 50-65 จะเปลี่ยนไปอยู่ในวัฏภาคของแข็ง ถ้าน้ำที่เข้าระบบบำบัดไม่มีไอออนแมกนีเซียมและคาร์บอเนต และถ้าน้ำมีไอออนของคาร์บอเนตและแมกนีเซียม ปริมาณฟอสเฟตร้อยละ 80-95 จะเปลี่ยนไปอยู่ในวัฏภาคของแข็ง ปริมาณความเข้มข้นของไอออนแมกนีเซียมและคาร์บอเนตไม่เกิน $4.8 \times 10^{-3} \text{ (Mg/P} < 2 \text{ mol. Mol}^{-1})$ และ $1.8 \times 10^{-3} \text{ kmol m}^{-3}$ ตามลำดับจะไม่เกิดผลเสียต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต ในกระบวนการนี้อาจมีการตกตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตและแมกนีเซียมฟอสเฟต ถ้าน้ำมีปริมาณแคลเซียมต่ำ ($\text{Ca/P} < 0.8 \text{ mol. Mol}^{-1}$)

Seckler, M.M., Van Leeuwen, M.L.I. และ Bruinsma, O.S.L. (1996) ศึกษาการกำจัดฟอสเฟต เริ่มจากแคลเซียมฟอสเฟตแบบละเอียดรวมตัวกับเม็ดทรายในฟลูอิดไคด์เบด โดยแยกขั้นตอนการรวมตัวออกจากกระบวนการอื่นระหว่างตกตะกอนแคลเซียมฟอสเฟต ผ่านการทดลองที่เหมาะสมภายใต้การปฏิบัติการปกติของฟลูอิดไคด์เบด กระบวนการรวมตัวสามารถอธิบายโดยรูปจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งมี 2 กลไก ได้แก่ orthokinetic aggregation และ breakage กระบวนการ ฟลูอิดไคด์เบดสามารถกำจัดฟอสเฟตได้ประมาณ ร้อยละ 60 พบว่าสามารถปรับปรุง orthokinetic aggregation โดยกระจายการอิมิตัวของน้ำที่ผ่านปฏิกรณ์ให้มากขึ้น และสามารถลด breakage โดยลดอัตราการเป่าในเบด พบว่าประสิทธิภาพของการกำจัดฟอสเฟตที่เหมาะสมคือ การเลือกเม็ดทรายขนาดเล็ก ($0.1-0.3 \text{ mm}$) มี superficial velocity ต่ำ ($7 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$) และกระจายการใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 2 จุด ภายใต้เงื่อนไขนี้การกำจัดฟอสเฟตมีประสิทธิภาพร้อยละ 80

Marani*, D., Di Pinto, A.C., Ramadori, R. และ Tomei, M.C. (1996) ศึกษาการใช้ปูนขาวในขั้นตอนก่อนการบำบัด (pre-treatment) ของน้ำเสียชุมชนก่อนเข้ากระบวนการบำบัดทางชีววิทยา จุดมุ่งหมายของงานนี้หา equilibrium model สำหรับหาภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดฟอสเฟตและมีการตกตะกอนคาร์บอเนต ซึ่งมีสาเหตุจากการใช้ปูนขาวในปริมาณที่มากและเกิด

ปริมาณโคลน (sludge) มาก นำผลของการเติมปูนขาวลงในน้ำเสียชุมชนจริงมาทำ model calibration จาก equilibrium model พบว่าค่าการละลายของฟอสเฟตและคาร์บอนเนต ขึ้นกับ $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3$ และ amorphous CaCO_3 ตามลำดับ จากรูปจำลองพบว่าถ้าเติมปูนขาวจน pH เท่ากับ 9 สามารถแน่ใจได้ว่าการกำจัดฟอสเฟตมีประสิทธิภาพและป้องกันการตกตะกอนคาร์บอนเนตในน้ำเสียที่มีปริมาณความเป็นเบสสูง

Attilo Converti, Mauro Rovatti และ Marco Del Broughi (1994) ได้ทำการทดลองด้วยกระบวนการใหม่ที่ทดสอบการกำจัดฟอสเฟตแบบต่อเนื่องโดยรวมภาวะ aerobic และ anaerobic ไว้ในระบบ เริ่มจากการศึกษาผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิ โดยทดลองเปลี่ยนอุณหภูมิ (5-35 °C) ซึ่งการศึกษาหลักอยู่ระหว่างการผ่านจากขั้น aerobic และ anaerobic พบว่าระบบบำบัดแบบต่อเนื่องสามารถกำจัดฟอสเฟตได้สูงกว่าร้อยละ 90 สัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัสสูง

Roske, I. และ Schonborn, Chr. (1994) เป็น bench-scale plant กำจัดฟอสเฟตในทางชีววิทยาร่วมกับ pretreat น้ำเสียชุมชนก่อน ประกอบด้วยถัง anaerobic, aerobic และ clarifier การปฏิบัติการระบบมีทั้งการเติมสารตกตะกอนและไม่เติม 3 และ 6 (มิลลิกรัมต่อลิตร Fe) การหาฟอสเฟตโดยใช้ nuclear-magnetic resonance spectrometry ของ aerobic activated sludge ในบางกรณี หลังจากขั้นตอน pretreat ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโดย X-ray spectrometry ฟอสเฟตจะปนกับแคลเซียม, แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ขั้นตอนนี้ได้จากเม็ดฟอสเฟตด้วย X-ray spectrometry แมกนีเซียมและโพแทสเซียมถูกกำจัดออกจากถัง anaerobic และกลับเข้ามาในถัง aerobic ไปพร้อมกับฟอสฟอรัส ส่วนแคลเซียมยังคงเก็บไว้ ผลการศึกษา พบว่าเติม เหล็ก 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อการกำจัดฟอสเฟตในทางชีววิทยา และเวลาที่ใช้ในการกำจัดฟอสเฟตอย่างสมบูรณ์ในถัง aerobic จะสั้นกว่าการไม่เติมเหล็ก

Passino, R. และ Ramadori, R. (1999) การกำจัดฟอสเฟตวิธีแรกที่เรานึกถึงได้แก่การตกตะกอนด้วยเคมี อย่างไรก็ตามความสามารถของการบำบัดทางเคมีกำจัดของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์มีการพัฒนาคล้ายการพัฒนาทางเคมีฟอสเฟต จุดประสงค์ของงานนี้เพื่อพัฒนางานวิจัย ในบางกรณีกระบวนการ coagulation/flocculation สามารถพัฒนาเทคโนโลยีได้ต้องมีความสามารถดังนี้

1. กำจัดฟอสเฟต ของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ได้ดี
2. เป็นการพัฒนาสมบัติทางอนามัยของน้ำเสีย

3. สมบัติของน้ำเสียได้มาตรฐานแม้มีความผันแปรของฤดูกาลและการไหลของน้ำแต่ละวัน
4. ง่ายต่อการปฏิบัติและค่าใช้จ่ายเป็นที่ยอมรับได้
5. สามารถกำจัดสิ่งสกปรกหรือเชื้อโรคซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในอนาคต
6. ปรับปรุงพลังงานที่ใช้ในการ recovery ถ้าโคลนของเสียเกิดขึ้นถ้าใช้กระบวนการ anaerobic

Juwarkar, A.S., Oke, B., Juwarkar, A. และ Patnaik, S.M. (1995) งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับ การสร้าง Wetland จากการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น สำหรับกำจัดค่า บีโอดี ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส การสร้าง wetland ประกอบด้วย *Typha latifolia* และ *Phragmites carca* เจริญเติบโต ในท่อซีเมนต์ มีพื้นที่ 0.126 ตารางเมตร และลึก 0.8 เมตร ซึ่งเติมดินและทรายลงไป ปริมาณร้อยละ 30 และ 70 ตามลำดับ มีค่า hydraulic loading ในอัตรา 5 เซนติเมตรต่อวัน

พบว่าสามารถกำจัดค่า บีโอดี ใน Wetland ได้ร้อยละ 78-91 ปริมาณไนโตรเจนลดลงจาก 30.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 9.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ปริมาณฟอสเฟตของน้ำที่บำบัดแล้วมีค่า 9.6 มิลลิกรัมต่อลิตร จากน้ำเสียก่อนเข้ามีค่า 14.9 มิลลิกรัมต่อลิตร

Wetland สร้างแห่งแรกที่โรงเรียน Sainik เมือง Bhubaneswar รัฐ Orissa มีขนาด 90 เมตร คูณ 30 เมตร มี *Typha latifolia* และ *Phragmites carca* ในเครื่อง พบว่าน้ำเสีย 180-200 ลูกบาศก์เมตรที่จะบำบัดใน Wetland สามารถกำจัดค่า บีโอดี และไนโตรเจนได้ร้อยละ 67-90 และ 58-63 ตามลำดับ

การสร้างระบบบำบัด Wetland พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า บีโอดี และไนโตรเจนและเป็นวิธีที่ประหยัด นอกจากนี้ระบบควบคุมได้ง่ายและมีราคาต่ำ

Surampalli, Rao Y., Banerji, Shankha K., Pycha, Charles J. และ Lopez, Ernesto R. (1995) งานวิจัยเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบ lagoon เพื่อกำจัดฟอสฟอรัสด้วยการเติมสารเคมีลงไป วัตถุประสงค์ของการศึกษา เพื่อหาระดับความสำเร็จของระบบบำบัดในการกำจัดฟอสฟอรัสและหาปัญหาอื่นๆ ที่เกิดในระบบ ข้อมูลสำหรับการศึกษานี้ได้จากระบบบำบัด 32 lagoon ที่มีซิแกน และมินิโซดา สารเคมีพื้นฐานที่ใช้กำจัดฟอสฟอรัส ส่วนมากเป็นเกลือโลหะ เช่น อะลูมิเนียมซัลเฟต (alum) เฟอร์รัสและเฟอร์ริกคลอไรด์ ปูนขาว และสารพอลิเมอร์อื่นๆ จากการ ทำงานของระบบพบว่าทำงานได้ดี แต่มีปัญหากับปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำที่บำบัดแล้ว ซึ่ง

ปกติปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำที่บำบัดแล้ว ค่าที่ยอมรับได้อยู่ที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จากปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำที่เข้าระบบบำบัดมีค่าระหว่าง 0.5 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการใช้ alum และเฟอร์ริกคลอไรด์ กำจัดฟอสฟอรัส ให้คุณภาพน้ำที่บำบัดแล้วดี ส่วนปูนขาวไม่มีผลต่อกำจัดฟอสฟอรัส นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่อง sludge ซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำที่บำบัดแล้ว