

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัญหามลพิษทางน้ำของประเทศไทยในปัจจุบัน เป็นปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะทวีความรุนแรงมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญขึ้นในทุก ๆ ด้านของประเทศ โดยเกิดจากการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารต่าง ๆ จากน้ำทิ้งชุมชน น้ำทิ้งจากการเกษตร รวมไปถึงน้ำชะจากหลุมฝังกลบซึ่งพบว่าฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารตัวหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหานี้โดยจะสะสมอยู่ในรูปของตะกอนต่าง ๆ เป็นอาหารสำหรับพวกเชื้อโรค แพลงก์ตอน และ สาหร่าย โดยจะมีผลกับสีและกลิ่นของน้ำทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำตามธรรมชาติลดลง เป็นอันตรายกับสัตว์น้ำ และ อันตรายกับมนุษย์ในที่สุด

เป็นที่ยอมรับกันว่า ปัจจุบันปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ในน้ำเสียชุมชนเกิดขึ้นจากการใช้สารซักล้างในครัวเรือน ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่พบในน้ำเสียชุมชนอยู่ระหว่าง 2 – 10 มก./ล. (มันสิน ตันกุลเวศม์ และ มั่นรักษ์ ตันกุลเวศม์, 2545) ดังนั้นน้ำเสียจากชุมชนที่ถูกระบายลงแหล่งน้ำต่าง ๆ จึงส่งผลกระทบต่อสมดุลของแหล่งน้ำ และสร้างปัญหาต่อสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) เป็นปรากฏการณ์ที่แหล่งน้ำมีธาตุอาหารสูงและฟอสฟอรัสก็เป็นธาตุอาหารตัวหนึ่งซึ่งเมื่อฟอสเฟตในรูปของฟอสฟอรัสมีมากเกินไป ทำให้พีชน้ำโดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว โดยในเวลากลางคืนสาหร่ายใช้ออกซิเจนละลายน้ำในการหายใจ ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลงมากทำให้สิ่งมีชีวิตขาดออกซิเจน และตายลงในที่สุด โดยได้พบปัญหายูโทรฟิเคชันขึ้นในหลายพื้นที่ของประเทศไทย เช่น ศรีราชา ชะอำ หัวหิน กว๊านพะเยา และ บึงแก่นนคร เป็นต้น (ชงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

กระบวนการในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี นิยมใช้การกำจัดโดยใช้สารเคมีประเภท Lime, Alum และ Ferric chloride (Ugurlu and Salman, 1998) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดฟอสฟอรัส ในส่วนของการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยวิธีชีวภาพกำจัดฟอสฟอรัสได้ 30 % (www.wma.or.th/Research / Research4 / Reasearch4.html) อย่างไรก็ตามน้ำเสียที่ผ่านจากการบำบัดแล้วยังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสเหลืออยู่ในปริมาณสูง เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงก่อให้เกิดปัญหาให้กับระบบนิเวศน์ การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่เดิมต้องใช้เป็นงบประมาณมากเพื่อเป็นการลดงบประมาณดังกล่าว จึงมีการเสนอแนวคิดต่าง ๆ ในการกำจัดฟอสฟอรัส การใช้เถ้าลอยในการกำจัดฟอสฟอรัสจึงเป็นอีกแนวคิดหนึ่งที่เป็นทางเลือกที่สำคัญ

Wongsiri, Haraguchi and Yamada (2000) พบว่าถ้ำล่อยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะประเทศไทย มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้สูงกว่า 90 % Yamada, et.al. (2000) พบว่าถ้ำล่อยโรงไฟฟ้าลิกไนต์จากประเทศญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ และ แม่เมาะของ ประเทศไทย มีประสิทธิภาพ 90 % ในการกำจัดฟอสฟอรัสและ Ugurlu and Salman (1998) พบว่าถ้ำล่อยโรงไฟฟ้าลิกไนต์จากประเทศตุรกีมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงกว่า 99 % จากงานวิจัยทั้งสามจะเห็นว่าถ้ำล่อยมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้สูง เตาเผาขยะเป็นอีกแหล่งหนึ่งซึ่งมีถ้ำล่อยเกิดขึ้น โดยตั้งแต่เริ่มดำเนินการในวันที่ 24 พ.ค. 2542 จนถึง 13 ธ.ค. 2543 มีปริมาณถึง 3,497 ตัน แต่ยังไม่มีการประยุกต์ใช้ถ้ำล่อยจากเตาเผาขยะ ซึ่งเป็นถ้ำที่เกิดจากเตาเผาโดยเกิดจากขยะที่ถูกเผาให้มีขนาดเล็กลงกับถ้ำล่อยที่เกิดจากระบบเตาเผาที่พ่นปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) เข้าไปจับกับก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้โดยได้สารที่ทำปฏิกิริยามีลักษณะเป็นฝุ่นเล็ก ๆ โดยถ้ำล่อยเหล่านี้ยังไม่มีประโยชน์ใด ๆ อีกทั้งยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการฝังกลบถ้ำล่อยอีก

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำถ้ำล่อยจากเตาเผาขยะที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดฟอสฟอรัสในรูปออร์โทฟอสเฟต โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสและสภาวะในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงสุด ทั้งนี้ถ้ำล่อยจากเตาเผาขยะที่เกิดขึ้นมีความสามารถที่จะลดปริมาณของฟอสฟอรัสที่ลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ผลการศึกษจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นทางด้านเทคนิคสำหรับการกำจัดฟอสฟอรัส ซึ่งจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียและยังเป็นการนำถ้ำล่อยจากเตาเผาขยะที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ พร้อมทั้งลดปริมาณถ้ำล่อยที่ต้องนำไปฝังกลบต่อไปและยืดระยะเวลาพื้นที่ฝังกลบให้ได้ใช้มากขึ้น

1.2 การตรวจเอกสาร

1. รูปและแหล่งของฟอสฟอรัส

1.1 รูปของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสพบทั้งในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียในรูปของฟอสเฟต และโมเลกุลของฟอสเฟต ปัจจุบันนิยมจำแนกฟอสฟอรัสออกเป็น 3 ชนิด คือ ออร์โทฟอสเฟต คอนเดนซ์ฟอสเฟต (พอลิฟอสเฟตต่าง ๆ) และสารอินทรีย์ฟอสเฟต อาจพบฟอสฟอรัสได้ทั้งในรูปสารละลาย สารแขวนลอยในน้ำ ตะกอนดินก้นบ่อ ตลอดจนในตัวของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ออร์โทฟอสเฟต และ คอนเดนซ์ฟอสเฟตมักพบในรูปป้อนสารละลายในน้ำ และรวมเรียกว่า soluble reactive phosphorus สารอินทรีย์ฟอสเฟตในน้ำอาจอยู่ในรูปสารละลายเชิงซ้อน หรือในรูปตะกอนแขวนลอยก็ได้

(มันลิน ตันกุลเวศม์ และ มันรัชย์ ตันกุลเวศม์, 2545) โดยสารประกอบฟอสเฟตในน้ำอาจแบ่งได้ ดังนี้ (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2522)

- 1.1.1 ออโรฟอสเฟต (Orthophosphate) ที่พบบ่อย คือ
 - trisodium phosphate (Na_3PO_4)
 - disodium phosphate (Na_2HPO_4)
 - monosodium phosphate (NaH_2PO_4)
 - diammonium phosphate ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)
- 1.1.2 โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) ที่พบบ่อย คือ
 - sodium hexametaphosphate $\text{Na}_3(\text{PO}_4)_6$
 - sodium tripolyphosphate ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)
 - tetrasodium pyrophosphate ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$)
- 1.1.3 อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic phosphate) ที่พบบ่อย คือ
 - nucleic acid
 - phospholipids
 - sugar phosphate

1.2 แหล่งของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสที่มี มาจาก 2 แหล่งใหญ่ ๆ ด้วยกัน (อุบลวรรณ กมลศิริประเสริฐ, 2536) คือ

1.2.1 แหล่งจากธรรมชาติ เช่น การละลายของหินฟอสเฟต ผงฝุ่นฟอสฟอรัสในอากาศ ซึ่งถูกฝนพัดพาให้ตกลงสู่แหล่งน้ำ รวมทั้งฝนที่ตกลงมายังพื้นดินพัดพาเศษซากดินและหินที่มี ฟอสเฟตลงในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังอาจมาจากมูลนกบางชนิด เศษซากพืชซากสัตว์ที่ตายทับถมใน แหล่งน้ำ ฯลฯ การสะสมดังกล่าวและอาจก่อให้เกิดปัญหา ยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำได้

1.2.2 แหล่งที่มาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ได้แก่ น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน โรงงาน อุตสาหกรรม และ การเกษตรกรรม แม้ว่าจะมีการบำบัดน้ำทิ้งดังกล่าวแล้ว แต่ยังคงมีฟอสฟอรัส เหลืออยู่ในปริมาณสูง อย่างไรก็ตามเราสามารถควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสที่ลงสู่แหล่งน้ำด้วย สาเหตุจากกิจกรรมมนุษย์ได้ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่พบว่าน้ำทิ้งมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง ได้แก่ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานปุ๋ย ฯลฯ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2536)

ธงชัยและคณะ (2536) ได้ประมาณการปลดปล่อยออกของสารประกอบฟอสฟอรัสจาก แหล่งกำเนิดปฐมภูมิต่าง ๆ ภายในประเทศดังนี้

1. สารประกอบฟอสฟอรัสน้ำเสียชุมชน มาจากอาหารที่บริโภคและผงซักฟอกโดยค่า

สมมูลประชากรฟอสฟอรัสของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เท่ากับ 0.38 , 0.50 และ 1.02 กรัมต่อคนต่อวัน สำหรับการจับถ่าย, การชักกรีต และการอาบน้ำ-คร้ว ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสมมูลของประชากรทั้งประเทศ 56,961,030 คน โดยร้อยละ 13.5 ของจำนวนนี้ในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ทำให้การคำนวณปริมาณการปล่อยฟอสฟอรัสจากน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทยได้ดังแสดงในตาราง 1.1 ซึ่งพบว่าสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านมาจาก การจับถ่าย การชักกรีต และ การผ่านมาจากคร้ว ในสัดส่วน 1:1:2

ตาราง ที่ 1.1 สารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ, 2536)

กิจกรรม	กทม.และปริมณฑล		จังหวัดอื่นนอกจาก	ทั้งประเทศ	
	ตัน P ต่อปี	ร้อยละ	กทม. และปริมณฑล ตัน P ต่อปี	ตัน P ต่อปี	ร้อยละ
การจับถ่าย	1,064.1	20.0	6,8364.4	7,900.5	25.3
การชักกรีต	1,400.1	26.3	6,296.7	7,696.8	24.6
อาบน้ำ-คร้ว	2,856.2	53.7	12,773.3	15,629.5	50.0

หมายเหตุ 1. สมมูลของประชากรฟอสฟอรัสใน กทม. และปริมณฑลเท่ากับ 0.38 , 0.50 และ 1.02 กรัมต่อคนต่อวันสำหรับการจับถ่าย, การชักล้างและคร้ว ตามลำดับ
2. สมมูลประชากรฟอสฟอรัสของจังหวัดอื่นนอกเหนือจากกทม. และปริมณฑลเท่ากับ 0.38, 0.35 และ 0.71 กรัมต่อคนต่อวัน ตามลำดับ

2. สารประกอบฟอสฟอรัสจากปศุสัตว์ โดยปริมาณการปล่อยฟอสฟอรัสจากมูลวัว, กระบือ, หมู, ไก่ และ เป็ด เท่ากับ 1.16, 3.00 , 1.46 , 0.07 และ 0.02 กิโลกรัมต่อตัวต่อปี ตามลำดับ โดยใช้ประชากรของสัตว์ต่าง ๆ ในประเทศ จากการคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสในมูลของสัตว์ได้พบว่าฟอสฟอรัสจากปศุสัตว์ในปีพ.ศ. 2531 ส่วนใหญ่มาจากมูลกระบือดังแสดงในตารางที่ 1.2

3. สารประกอบฟอสฟอรัสจากอุตสาหกรรม ในตารางที่ 1.3 ได้แสดงปริมาณของสารประกอบฟอสฟอรัสที่ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมในรูปของ P_2O_5 ตันต่อปี และตันฟอสฟอรัสต่อปี อย่างไรก็ตาม หากหักลบปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมอาหาร ผงซักฟอก และอาหารสัตว์ออกแล้ว จะเหลือเป็นปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมเพียง 19.3 พันตันต่อปี P_2O_5 ต่อปี 8.4 พันตันฟอสฟอรัสต่อปี

ตารางที่ 1.2 ปริมาณฟอสฟอรัสจากปศุสัตว์ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2531 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2536)

ชนิดปศุสัตว์	จำนวนปศุสัตว์ (ตัว)	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ขับถ่าย	
		ตันต่อปี	ร้อยละ
วัว	5,072,024	5,924.1	17.89
กระบือ	5,708,270	17,124.8	51.72
สุกร	4,684,926	6,840.0	20.65
เป็ด	15,934,434	1,147.3	3.46
ไก่	86,679,292	2,080.3	6.28
รวม	118,078,946	33,116.5	100

4. สารประกอบฟอสฟอรัสจากกิจกรรม ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ปุ๋ยในประเทศ (ตารางที่ 1.4) ประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะใช้ปุ๋ยในปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เช่นในปี 2533 มีปริมาณการใช้ปุ๋ย 0.962 กิโลกรัม P ต่อปี ต่อไร่ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Griffith, et .al. (1973) พบว่าปริมาณฟอสเฟตจากทะเลสาบ 3 แห่งในทวีปยุโรป ได้แก่ ทะเลสาบConstance , ทะเลสาบ Zurich และทะเลสาบ Greifensee ที่มีแหล่งปล่อยมาจากการเกษตรกรรมนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และทะเลสาบ Constance มีอัตราการเพิ่มปริมาณฟอสเฟตสูงถึง 22.6 เท่า ภายในช่วงเวลาปี ค.ศ. 1950 – 1970 ดังตารางที่ 1.5 ทำให้มีสาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีน้ำเงิน และ *Oscillatoria rubescens* เจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้น

ตารางที่ 1.3 ปริมาณจำหน่ายสารประกอบฟอสฟอรัสที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในปี พ.ศ. 2535 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2536)

ลำดับที่	ประเภทอุตสาหกรรม	ตันของ P_2O_5	ตันของ P
1	Detergent production – Laundry detergent	15,680 – 16,800	6,582 – 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

ตารางที่ 1.3 (ต่อ) ปริมาณจำหน่ายสารประกอบฟอสฟอรัสที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ
ในปี พ.ศ. 2535 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2536)

ลำดับที่	ประเภทอุตสาหกรรม	ตันของ P_2O_5	ตันของ P
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	239 – 351
10	Chemical stabilizer (polyurethane polystyrene etc.)	63 – 79	28 – 35
11	Toothpaste	2,460 – 2,870	1,075 – 1,254

ตารางที่ 1.4 ปริมาณการนำเข้าปุ๋ยของไทยในช่วงปี พ.ศ. 2531 – 2533 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และ
คณะ, 2536)

ปี พ.ศ.	ปริมาณการสั่งปุ๋ยเข้า		พื้นที่เกษตรกรรม ล้านไร่	ปริมาณการใช้ปุ๋ย กิโลกรัม P ต่อปี	
	ตัน P_2O_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

ปริมาณการระบายฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำในประเทศไทย อยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับประเทศในแถบยุโรป ดังตารางที่ 1.6 นอกจากนี้ยังพบว่าประเทศในแถบสแกนดิเนเวียมีการระบายฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำน้อยกว่าประเทศอื่น และปริมาณสารประกอบฟอสฟอรัสที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำต่อพื้นที่ประเทศไทยมีค่าต่ำ เมื่อเทียบกับประเทศที่มีปัญหาการเกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ เช่น ประเทศเบลเยียมและเดนมาร์ก ที่มีปริมาณการระบายสารประกอบฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำต่อพื้นที่ของประเทศเท่ากับ 1.10, 0.84 ตันฟอสฟอรัสต่อตารางไมล์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 1.7 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2536)

ตารางที่ 1.5 ปริมาณฟอสเฟตในทะเลสาบของทวีปยุโรปตอนกลาง ปี ค.ศ. 1940 – 1970

(Griffith, et..al., 1973)

ปี ค.ศ.	ปริมาณฟอสเฟต (มก./ลบ.ม.)		
	Constance	Zurich	Greifensee
1940	0	-	-
1945	-	69.6	-
1950	5	82.4	180
1955	12	126.1	550
1960	30	152.0	900
1965	52	231.6	1300
1970	113	251.2	1450

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้ทำการศึกษา

2. ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) เป็นสภาวะที่แหล่งน้ำมีปริมาณธาตุอาหาร (โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) สูงมากกว่าปกติ ซึ่งเกิดจากการชะล้างปุ๋ยและธาตุอาหารต่าง ๆ จากพื้นที่เกษตรกรรมลงสู่แหล่งน้ำ และน้ำทะเล เป็นสาเหตุให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายหรือแพลงก์ตอน โดยเหตุการณ์นี้จะเกิดบริเวณชายฝั่งทั่วไปทุกส่วนในอ่าวไทย ชาวประมงจึงเรียกว่า ปรากฏการณ์ซีปลาวาฬ โดยเกิดจากแพลงก์ตอนบางชนิดได้รับอาหารหรือสภาวะเหมาะสมจึงเจริญเติบโตขยายจำนวนมากและรวดเร็ว โดยแพลงก์ตอนแต่ละชนิดก็มีสีในตัวของมันเอง จึงทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนสีไปตามสีของแพลงก์ตอนที่มียุคนั้นเอง เช่น สีเขียว น้ำตาล เหลืองขาว น้ำตาลแดง หรือสีสนิม ฯลฯ (www.deqp.go.th/café/detail_head.asp?idh=124)

ปัจจัยสำคัญในการควบคุมปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารในรูปของคาร์บอน สารอนินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แสง ความเร็ว อัตราการไหลของน้ำ และระยะเวลาที่เก็บน้ำโดยแหล่งคาร์บอนในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของคาร์บอนเดชั่น แหล่งของไนโตรเจนนั้นได้มาจากการชะล้างปุ๋ยจากพื้นดิน และการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสมาจากหินฟอสเฟตจากการทำเหมืองแร่ อูจจาระสัตว์ ซากพืชที่ย่อยสลาย ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าการเกิดยูโทรฟิเคชัน คือการเพิ่มขึ้นของปริมาณมวลชีวภาพในแหล่งน้ำขณะที่ความหลากหลายของสายพันธุ์ของสัตว์และพืชจะลดลง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2536)

ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำเมื่อเกิดการ bloom แล้วเกิดการตายของสาหร่ายพร้อมกันทำให้เกิดเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ โดยการที่สัตว์น้ำเมื่อได้รับพิษจากแพลงก์ตอนพืชโดยตรง หรือในแง่ของการเข้าไปอุดตันเหงือกทำให้สัตว์แลกเปลี่ยนก๊าซไม่ได้ เป็นต้น การเกิดพิษกับคนโดยตรงผ่านอาหารทะเล โดยเฉพาะในพวกหอยสองฝา ซึ่งพิษนั้นอาจไม่เป็นต่อหอยแต่หอยจะมีการสะสมพิษไว้ เมื่อคนกินหอยเหล่านั้นเข้าไป จะแสดงอาการซึ่งพิษบางชนิดทำให้เสียชีวิตได้ (www.talaythai.com/Education/43620434/43620434.php3)

ตารางที่ 1.6 ข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณสารประกอบฟอสฟอรัสที่ระบายจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ในประเทศไทยเปรียบเทียบกับของต่างประเทศ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2536)

รายการ	ประเทศไทย		ประเทศยุโรป	ประเทศญี่ปุ่น
	กทม.	ต่างจังหวัด		
1. การขับถ่าย กรัม P / คน / วัน	0.38	0.38	1.6	1.0
2. กิจกรรมในบ้านเรือน		1.06		
2.1 การซักล้าง กรัม P / คน / วัน	0.50		1.0	0.511
2.2 อาบ – ครีว กรัม P / คน / วัน	1.02		0.3	0.37
3. ปศุสัตว์				
วัว กิโลกรัม P / ตัว / ปี	1.168	-	9.5	-
1 สมว – ฟ* เท่ากับ				
วัว (ตัว)	1	-	1	-
ควาย (ตัว)	0.4	-	-	-
ม้า (ตัว)	-	-	0.77	-
หมู (ตัว)	0.8	-	1.6	-
แกะ (ตัว)	-	-	6.1	-
ไก่ (ตัว)	49.01	-	152.0	-
เป็ด (ตัว)	16.0	-	-	-
4. การใช้ปุ๋ยต่อพื้นที่กิจกรรม กิโลกรัม P / เฮกเตอร์ / ปี	6.01	-	35.0	-

หมายเหตุ: *สมว – ฟ = ค่าสมมูลประชากรวัวเทียบกับการขับถ่ายสารประกอบฟอสฟอรัสของสัตว์ต่าง ๆ, - หมายถึง ไม่ได้ทำการศึกษา

ตารางที่ 1.7 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟอสฟอรัสที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำต่อพื้นที่ประเทศ
กลุ่มประเทศยุโรปกับประเทศไทย (ชงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2536)

ประเทศ	พื้นที่ประเทศ (พันตารางไมล์)	สาร P ที่ระบายลงสู่ แหล่งน้ำ (พันตัน / P)	สาร P ที่ระบายลงสู่ แหล่งน้ำต่อพื้นที่ ประเทศ (ตัน P / ตารางไมล์ / ปี)
ออสเตรเลีย	32.4	12	0.37
เบลเยียม **	11.8	13	1.10
เดนมาร์ก***	16.6	14	0.84
ฟินแลนด์ *	130.0	13	0.10
ฝรั่งเศส	220.7	104	0.47
กรีซ	51.1	17	0.33
ไอซ์แลนด์	27.1	14	0.52
อิตาลี	116.3	53	0.46
นอร์เวย์ *	125.2	19	0.08
โปรตุเกส	36.4	15	0.41
สเปน	196.8	72	0.36
สวีเดน *	137.7	17	0.09
ประเทศไทย	198.5	26	0.13

หมายเหตุ: * = กลุ่มประเทศในแถบสแกนดิเนเวีย

** = กลุ่มประเทศที่เกิดปัญหายูโทรฟิเคชั่น

3. เทคโนโลยีในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย

3.1 การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ

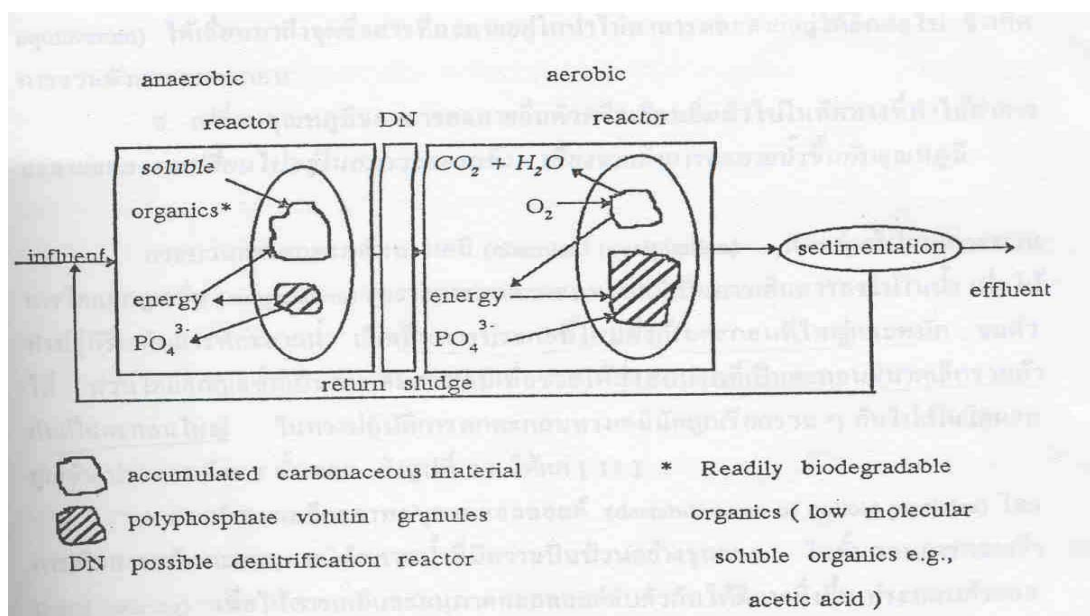
ในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพนั้น จุลินทรีย์จำเป็นต้องมีอาหารเพียงพอในการสร้างเซลล์ ซึ่งสามารถแบ่งอาหารของจุลินทรีย์ได้เป็น 4 จำพวก คือ 1. สารประกอบซึ่งให้คาร์บอน ในโตรเจน ฟอสฟอรัส 2. สารประกอบซึ่งให้พลังงานในการดำรงชีวิต 3. สารอนินทรีย์ และ 4. สารที่ต้องการเพียงเล็กน้อย โดยทั่วไปจุลินทรีย์ต้องการแร่ธาตุหลักได้แก่ โปตัสเซียม แคลเซียม สังกะสี แมงกานีส เหล็ก โคบอลต์ แมกนีเซียม และทองแดง ซึ่งในน้ำเสียชุมชนจะมีสารอาหารเหล่านี้เพียงพอในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่ถ้าเป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจ

ขาดแร่ธาตุบางอย่างไป จึงจำเป็นต้องเติมลงไป เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จุลินทรีย์ในระบบที่ใช้ออกซิเจนมีสูตรโมเลกุล $C_3H_7O_2NP_{0.2}$ ประกอบด้วยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยน้ำหนักในสัดส่วนร้อยละ 11.2 และ 5.2 ตามลำดับ ซึ่งแบคทีเรียสามารถนำเอาไนโตรเจนมาใช้ได้จากแอมโมเนีย ไนเตรทและไนไตรท์ ส่วนฟอสฟอรัสนั้นแบคทีเรียจะใช้ในรูปของออร์โธฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ (PO_4^{3-}) โดยอัตราส่วนระหว่างบีโอดีต่อความต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่ากับ 100 : 5 : 1 (Metcalf and Eddy, 1991)

ฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดโดยทางชีวภาพ โดยการดูดซับออร์โธฟอสเฟต โพลีฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปของเนื้อเยื่อเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดในระหว่างการบำบัดขั้นสองอยู่ในรูปตะกอน มีตั้งแต่ร้อยละ 10 – 30 ของปริมาณของฟอสฟอรัสในน้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบบำบัด (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2536) โดยจุลินทรีย์ไม่เพียงแต่ใช้ฟอสฟอรัสในการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของเซลล์ สังเคราะห์สาร และถ่ายทอดพลังงานในเซลล์เท่านั้น แต่ยังสามารถเก็บฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์เป็นพลังงานสะสมที่ใช้อากาศและสภาวะไร้อากาศ สามารถทำได้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา เรียกว่า “mainstream” ส่วนการกำจัดฟอสฟอรัสในตะกอนจุลินทรีย์ที่สูบกลับ(return sludge) เรียกว่า “sidestream”

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพที่นิยมใช้กันมาก มีหลักการว่าในสภาวะไร้อากาศซึ่งมีค่ากรดสูง จุลินทรีย์จะใช้พลังงานที่สะสมในรูปสารประกอบโพลีฟอสเฟต และจะปลดปล่อยฟอสเฟตออกมาจากเซลล์ เพื่อที่จะใช้สารอินทรีย์ที่ใช้ได้ง่ายคือกรดไขมัน แต่เมื่อจุลินทรีย์ถูกป้อนเข้าสู่บริเวณที่มีออกซิเจน (aerobic reactor) จุลินทรีย์พยายามสะสมฟอสฟอรัสในรูปของโพลีฟอสเฟตไว้ในเซลล์ในปริมาณมากกว่าปกติ (luxury uptake) ดังภาพประกอบ 1.1 นั่นคือฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดออกจากรูปร่างในรูปตะกอนจุลินทรีย์ โดยใช้หลักการสร้างสภาวะที่เปลี่ยนแปลงระหว่างไร้อากาศและใช้อากาศ

เพื่อให้ได้ระบบที่ต่อเนื่อง จะต้องมีการเคลื่อนที่ของเซลล์จุลินทรีย์ไปพร้อมกับน้ำเสียที่จะบำบัดในถังที่สร้างสภาวะต่างกัน ดังนั้นการกำจัดฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีวภาพจึงใช้ประกอบได้กับระบบเดิมที่เป็นระบบเอเอส (activated sludge) แต่ไม่สามารถใช้กับระบบโปรยกรอง (trickling-filter) หรือไม่เหมาะสมเมื่อระบบเดิมเป็นแบบคลองหมุนเวียน (oxidation ditch) ระบบการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพนี้ สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสให้เหลือระดับความเข้มข้น 1- 2 มก./ล. ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วย เช่น ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัด (effluent) เนื่องจากในตะกอนมีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสอยู่ประมาณร้อยละ 5 นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (BOD) ต่อฟอสฟอรัสในน้ำเสีย ซึ่งควรมีมากกว่า 10 : 1 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ, 2536)



ภาพประกอบที่ 1.1 กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ (Eckenfelder, 1989)

จากหลักการในการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพดังกล่าว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสได้หลากหลายดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตารางที่ 1.8 งานวิจัยในการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ

ผู้วิจัย	ชนิดของงาน	ผลการศึกษา
Pedro, et.al. (1999)	การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพด้วย Biofilm membrane	มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงสุดที่ 89 %
Tilche, et.al. (1999)	การกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนทางชีวภาพด้วยระบบ SBR ในการบำบัดน้ำเสียของฟาร์มหมู	มีประสิทธิภาพสูงกว่า 98 %
Obaja, et.al. (2003)	ไนตริฟิเคชัน ดีไนตริฟิเคชัน และการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพในน้ำเสียฟาร์มหมูโดยใช้ระบบ SBR	มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส 99.7 % ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส SRT 1 วัน และ HRT 11 วัน

ตารางที่ 1.8 (ต่อ)

ผู้วิจัย	ชนิดของงาน	ผลการศึกษา
Li, et.al. (2003)	ลักษณะการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยใช้ไบโอฟิล์มในระบบ SBR	มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส 90 %
Sarioglu (2005)	การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพในระบบ SBR โดยใช้การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์บริสุทธิ์	มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟต 100 % ที่ปริมาณฟอสฟอรัส 20 มก./ล. และระยะเวลาเก็บกัก 35 วัน

จากงานวิจัยการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพในตารางที่ 1.8 พบว่ามีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดฟอสฟอรัสแต่วิธีการกำจัดฟอสฟอรัสนั้นเป็นวิธีการที่ยุ่งยากและซับซ้อน ดังนั้นการใช้วิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริงนั้นต้องใช้ผู้ที่มีความรู้ และความชำนาญสูงในการควบคุมระบบ อีกทั้งเทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ต้นทุนสูง ดังนั้นในการเลือกใช้วิธีการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย

3.2 การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยวิธีทางเคมี

การตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) เป็นกระบวนการทางฟิสิกส์ - เคมีที่เปลี่ยนสารที่อยู่ในรูปของสารละลายให้มาอยู่ในรูปของตะกอน ซึ่งจะแยกออกจากสารละลายนั้นได้ การตกตะกอนทางเคมีขึ้นอยู่กับสภาวะสมดุลทางเคมีที่มีผลต่อการละลายในน้ำของสารนั้น ๆ ซึ่งการตกตะกอนทางเคมีเกิดขึ้นได้หลายวิธี โดยมีกระบวนการเป็นไปตามขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งหรือหลายขั้นตอนรวมกันดังต่อไปนี้ (อุบลวรรณ กมลศิริประเสริฐ, 2536)

1. ใส่สารเคมีสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารที่ละลายในน้ำ เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้น้อย
2. ใส่สารซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะสมดุลของการละลายน้ำ (solubility equilibrium) ให้เลื่อนมาถึงจุดที่สารละลายในน้ำไม่สามารถละลายได้อีกต่อไป จึงเกิดการรวมตัวและตกตะกอน
3. เปลี่ยนอุณหภูมิของสารละลายอิ่มตัว หรือเกือบอิ่มตัวไปในทิศทางที่ทำให้ค่าการละลายลดลงจนเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะของแข็ง เนื่องจากค่าการละลายน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

กระบวนการการตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) เป็นกระบวนการที่แตกต่างจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation) เพราะการตกตะกอนทางเคมีเป็นการเติมสารลงไปใต้น้ำ เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับสารที่ละลายน้ำ เกิดเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งเป็นการตกตะกอนที่ใหญ่และหนัก จมตัวได้ ส่วนใหญ่โคแอกกูเลชันเป็นการเติมสารเคมีเพื่อช่วยให้สิ่งสกปรกที่เป็นตะกอนขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ ในทางปฏิบัติการตกตะกอนทางเคมีมักถูกเรียกรวม ๆ กันไปเป็นโคแอกกูเลชัน

ในปัจจุบันสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสมีหลายชนิด ได้แก่ (จารุวรรณ เกษมทรัพย์, 2538)

1. เบนโทไนท์ (Bentonite) เป็นดินเหนียวที่เกิดจากการสะสมของเถ้าภูเขาไฟประกอบด้วย เบนโทไนท์ร้อยละ 55 และ สารอนินทรีย์ร้อยละ 45 ซึ่งอยู่ในรูปของอลูมิเนียมออกไซด์, เพอร์สอออกไซด์, ซิลิกอนออกไซด์, เพอร์ริกออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์ มีข้อดีคือ

- ก. ใช้กับน้ำที่มีความขุ่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในน้ำได้
- ข. สามารถดูดซับประจุบวกได้ดี
- ค. ราคาถูก หาได้ง่าย
- ง. ตะกอนมีน้ำหนักจึงตกเร็ว
- จ. พิเอชมักไม่มีผลต่อการตกตะกอน

แต่มีข้อเสียคือมักจับตัวกันเป็นก้อนเหนียว เมื่อใส่ลงไปใต้น้ำที่เคียว ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงนิยมตีหรือกวนให้ก้อนดินแตกก่อนแล้วค่อยผสมลงไปใต้น้ำ

2. ปูนขาว (Lime) หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2 มีข้อดีคือ

มีราคาถูก สร้างตะกอนได้ดี ทำให้พีเอชหลังตกตะกอนมีค่าสูงขึ้น แต่มีข้อเสียคือจะเกิดตะกอนมาก ทำให้เป็นปัญหาในการกำจัดได้โดยปูนขาวทำปฏิกิริยากับความเป็นด่างและฟอสฟอรัสในน้ำเสียเกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์อาพาไทต์ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

3. อลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) หรือสารส้ม มีข้อดีดังนี้

- ก. ราคาถูก หาได้ง่าย
- ข. จับตัวกันเป็นก้อนกับคอลลอยด์ได้ดี
- ค. ใช้งานง่าย สะดวกสบาย
- ง. ละลายน้ำได้ 86.9 ส่วนต่อน้ำ 100 ส่วนที่ 0°C

แต่ข้อเสียคือ

ก. เป็นเกลือของกรดที่ละลายน้ำได้ดี เกิดสภาพกรดทำให้เกิดการกัดกร่อน ภาชนะที่ใช้ งานตลอดจนคอนกรีต

ข. ทำให้เกิดความกระด้างถาวรเพิ่มขึ้น

ค. ต้องพึงความเป็นกรดต่างให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน แต่ถ้าเพิ่ม ความเป็นต่างมากเกินไปจะเกิดความคงทนของสีในน้ำได้

ง. เพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำได้ ทำให้เพิ่มการกัดกร่อน

จ. ปฏิกริยามักเกิดไม่ค่อยสมบูรณ์ ถ้าในน้ำมีปริมาณคอลลอยด์มาก บางครั้งอาจไป ขัดขวางปฏิกริยาได้ ทำให้มีค่าปริมาณสารส้มเหลือในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบกำจัดมากทำให้เกิดการ อุดตันต่อสารกรองได้โดยมักจะอยู่ในรูป Al_2O_3 ไม่ได้อยู่ในรูป $Al_2(SO_4)_3$ และสารส้มที่ตกค้างมักไม่ เกิน 0.3 มก./ล.

4. เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) หรือ copperas มีข้อดีดังนี้

ก. ตกตะกอนได้ที่พีเอชกว้างประมาณ 4-11

ข. เวลาในการตกตะกอนและรวมตัวให้เกิดตะกอนจะสั้นกว่าสารส้ม

ค. ตะกอนที่ได้มีขนาดใหญ่

ง. มีเหล็กออกสู่น้ำทิ้งน้อย

จ. ประหยัดกว่าสารส้ม ราคาถูกกว่า

แต่ข้อเสียคือ

ก. มักให้ตะกอนสีน้ำตาลแดง

ข. เกิดการกร่อนถ้าอยู่ในรูป Fe^{2+}

ค. ไม่เหมาะสมกับน้ำที่มีความเป็นด่างต่ำและมีสี

3.3 การกำจัดฟอสฟอรัสทางกายภาพ จะใช้กระบวนการดูดซับ (adsorption process) โดยใช้สารดูดซับ (adsorbent) เป็นดูดซับฟอสเฟต adsorbent ที่ใช้ เช่น activated alumina (เพ็ญ สุขมาก, 2543) นอกจากนี้ยังมีการใช้ adsorbent อื่น ๆ มากำจัดฟอสฟอรัสซึ่งมีประสิทธิภาพสูงถึง 99 % ในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย อีกทั้งวิธีการในการกำจัดฟอสฟอรัสยังไม่ยุ่งยากจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญที่จะประยุกต์ใช้การกำจัดฟอสฟอรัสทางกายภาพในการบำบัดน้ำเสีย ดังแสดงในตารางที่ 1.9

ตารางที่ 1.9 งานวิจัยในการกำจัดฟอสฟอรัสทางกายภาพ

ผู้วิจัย	ชนิดของงาน	ผลการศึกษา
Qzacar (2003)	การดูดซับฟอสเฟตออกจากน้ำเสีย สังเคราะห์โดยใช้ alunite	มีประสิทธิภาพในการกำจัด ฟอสเฟต 99 %

ตารางที่ 1.9 (ต่อ)

ผู้วิจัย	ชนิดของงาน	ผลการศึกษา
Ensar, et.al. (2003)	การกำจัดฟอสเฟตจากน้ำเสียโดยใช้ ก๊าซที่เกิดขึ้นจากของเสียของการ ผลิตคอนกรีต	มีประสิทธิภาพในการกำจัด ฟอสเฟต 99 %
Qguz (2004)	การกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย สังเคราะห์โดยใช้เศษถ่านหินจาก เตาหลอม	มีประสิทธิภาพในการกำจัด ฟอสเฟต 99 %

4. ความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity)

การศึกษาความสามารถในการดูดซับ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ไปกับความเข้มข้นของสารที่เหลืออยู่ ณ จุดสมดุล โดยมีจุดมุ่งหมาย เพื่อหาความสามารถในการดูดซับของถ่านลอมจากเตาเผาขยะที่เกิดขึ้นในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำ โดยอาศัยไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอร์มการดูดซับ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักหรือปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารที่ยังคงเหลืออยู่ที่จุดสมดุลของการดูดซับ (Schuliger, 1978) ซึ่งแบบจำลองที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์การดูดซับมี 2 รูปแบบ ได้แก่ Langmuir isotherm และ Freundlich isotherm (Voundrias, et.al., 2002) ดังสมการที่ (1) ถึง สมการที่ (4)

$$\text{Langmuir isotherm : } C_s = x/m = (abC_e)/(1+bC_e) \quad (1)$$

$$\text{หรือ } C_e/C_s = (1/ab)+(C_e/a) \quad (2)$$

$$\text{Freundlich isotherm : } C_s = x/m = K_F C_e^{1/n} \quad (3)$$

$$\text{หรือ } \log C_s = \log K_F + (1/n) \log C_e \quad (4)$$

เมื่อ C_s = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (มก./ล.)

C_e = ความเข้มข้นสมดุลของตัวถูกดูดซับ (มก./ล.)

x = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (มก.)

m = ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (ก.)

a = ค่าคงที่

b	=	ค่าสัมประสิทธิ์การอิ่มตัว (ล./ก.)
K	=	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของ Freundlich (มก./ก.)
n	=	ค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลอง

Langmuir isotherm เป็นรูปแบบของการดูดซับแบบ Monolayer บนผิวของตัวดูดซับที่มีลักษณะเป็น Homogeneous surface และสารถูกดูดซับไม่มี Interaction ระหว่างกัน ส่วน Freundlich isotherm นั้นเป็นรูปแบบของการดูดซับแบบ Multilayer ที่นอกจากโมเลกุลของสารดูดซับจะมี Interaction กับผิวของตัวดูดซับแล้ว ยังมี Interaction ระหว่างกันเองอีกด้วยจึงทำให้จำนวนชั้นของการดูดซับได้ไม่จำกัดหรืออาจเกิดจากการดูดซับแบบ Monolayer ที่มาซ้อนทับกัน อันเนื่องมาจากโครงสร้างที่ซับซ้อนของโมเลกุลของสารถูกดูดซับเป็นเหตุให้พลังงาน Binding sites ณ จุดต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกัน (Aygun, et.al., 2003)

5. ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะมูลฝอยและการใช้ถ้ำลอยในการบำบัดน้ำเสีย

5.1 ลักษณะของถ้ำลอยจากเตาเผาขยะมูลฝอย

ถ้ำที่เกิดจากที่เกิดจากการกำจัดขยะ โครงการเผาไหม้มี 2 ประเภท

(www.phuketcity.go.th/html/news/incinerator.inc44001.html)

1. ถ้ำหนัก เกิดจากเมื่อเผาขยะแล้ววัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้ เช่น โลหะ แก้ว เศษอิฐ เศษหิน จะออกมาข้างล่างเตาเรียกถ้ำหนัก ถ้ำหนักที่ออกมาจากเตาเผาจะร้อนมาก ในกระบวนการเตาเผาจะมีระบบทำให้เย็น โดยทิ้งลงไปใต้น้ำให้เย็นก่อนจึงนำออกจากระบบเตาเผา ดังนั้นถ้ำที่ออกจากเตาจึงมีอุณหภูมิไม่เกินจุดเดือดของน้ำคือ 100 องศาเซลเซียส และถ้ำดังกล่าวทางโรงงานจะนำไปเก็บไว้ประมาณ 2 วัน เพื่อให้เย็นลงไปอีก แต่บางส่วนของถ้ำที่อยู่ด้านล่างอาจเย็นช้าหรือยังพอร้อนอยู่เมื่อขนไปฝังกลบดังนั้นประเด็นว่าถ้ำยังอุ่น ๆ อยู่ก็มีเพียงบางส่วนและการที่ถ้ำร้อนอยู่ไม่ใช่ป้องกันการเกิดฝุ่น แต่เกิดจากระบวนการและถ้ำหนักที่นำไปฝังกลบไม่มีทางลอยเป็นฝุ่นได้ เพราะถ้ำส่วนที่ลอยได้ที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกแยกแยกมาเก็บคนละที่กัน

2. ถ้ำลอย เป็นถ้ำที่เกิดจากเตาเผาเช่นกัน ซึ่งประกอบด้วย

2.1 ขยะที่ถูกเผาจะมีขนาดที่เล็กลงมาก จนถูกลมพัดพาออกจากเตาไปตามท่อ แล้วถูกกรองโดยถุงกรอง ก่อนปล่อยก๊าซออกจากปล่องควัน

2.2 ถ้ำลอยอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการที่ระบบเตาเผามีการกำจัดก๊าซจากการเผาไหม้ โดยการพ่นสารเคมี ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) เข้าไปจับกับก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ 2 ตัว (SO_x , NO_x) ออกจากก๊าซจากการเผาไหม้ ซึ่งสารที่เกิดจากการทำปฏิกิริยามีลักษณะเป็นฝุ่นเล็ก ๆ ก็จะถูกจับแยกจากก๊าซ โดยถุงกรองรวมอยู่กับถ้ำลอยในข้อ 2.1

เถาวัลย์ทั้งหมดเมื่อถูกรองแยกออกมาจะนำมาเก็บไว้ในบ่อพักแยกต่างหากจากเถาหนัก ซึ่งเถาวัลย์มีลักษณะคล้ายปูนซิเมนต์ แต่เนื่องจากกระบวนการก่อนนำไปฝังกลบมีการฉีดน้ำทำให้จับตัวกันเป็นก้อนเหลว ๆ ในบ่อฝังกลบเถาวัลย์จึงมีวัสดุองพื้นและมีรูปร่างขี้ก้นรอบบริเวณดังกล่าวเพื่อป้องกันบุคคลภายนอก

5.2 การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพโดยใช้เถาวัลย์

1. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยใช้เถาวัลย์

Ugurlu and Salman (1998) ใช้เถาวัลย์จากสถานีไฟฟ้าในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า อุณหภูมิ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และ ความเข้มข้นของเถาวัลย์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส โดยการกำจัดฟอสฟอรัสจะมีประสิทธิภาพ 99 % ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและเมื่อนำไปทดสอบการดูดซับในคอลัมน์การดูดซับ พบว่าเถาวัลย์เป็นสารดูดซับที่มีความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสเนื่องมาจากความเข้มข้นแคลเซียมสูงถึง 388 กรัม/กิโลกรัม แต่การกำจัดฟอสฟอรัสจะลดลงเหลือ 80.4 % ที่ระยะเวลาเก็บกัก 72 ชั่วโมง

Wongsiri , Haraguchi and Yamada (2000) ได้ทดลองใช้เถาวัลย์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะในการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย เถาวัลย์ดังกล่าวที่มีมีลักษณะพิเศษคือมีปริมาณของแคลเซียมสูงเหมาะสมกับการกำจัดฟอสฟอรัส จากการศึกษาพบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงมากกว่า 90 % และพบว่าสถานะที่ พีเอช 10 ระยะเวลาเก็บกัก 120 นาที ให้เกิดผลดีที่สุดแต่ถ้าเมื่อเติมไอออนอื่น ๆ ลงไปจะไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส

Yamada, et.al. (2000) ใช้เถาวัลย์ลิกไนต์กำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการตกผลึก พบว่าการกำจัดฟอสฟอรัสสูงถึง 90 % ที่พีเอช 10 เมื่อเติมไอออนอื่น ๆ ลงไปก็ไม่มีผลกับการกำจัดฟอสฟอรัส

2. การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้เถาวัลย์

จันทร์นา สงวนรุ่งวงศ์ ורתัย ขวาลภาฤทธิ์ และ ชิดพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ (2539) ศึกษาการใช้เถาวัลย์ลิกไนต์กำจัดโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม และตะกั่ว พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดนิกเกิลคือ 10 โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เวลา 10 นาที โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.52 สำหรับการกำจัดแคดเมียมได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมการกำจัดคือ 10 เมื่อมีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เวลา 30 นาที โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.12 สำหรับการกำจัดตะกั่ว ได้ค่าพีเอชที่

เหมาะสมในการกำจัดคือ 10 เมื่อมีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เวลา 5 นาที โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับร้อยละ 99.5

เพ็ญประภา คำป้อม (2541) ศึกษาการกำจัดโครเมียมไอออนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังโดยวิธีตกตะกอนด้วยเถ้าลอย พบว่าที่ พีเอช 9 โดยใช้เถ้าลอย 1.25 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเท่ากับ 95.79 เปอร์เซ็นต์และพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

สุโขทัย เศรษฐวิช (2544) ใช้เถ้าลอยในการกำจัดโครเมียม นิเกิล ทองแดง และสังกะสี ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมตกแต่งผิวโลหะการวิจัยเชิงทดลองแบบ Batch โดยแปรเปลี่ยนอัตราส่วนของเถ้าลอยและเถ้าหนักและระยะเวลาในการผสมกวน พบว่าการกำจัดโครเมียม นิเกิล ทองแดง และสังกะสีมีประสิทธิภาพในช่วง 99.5 - 99.99 % , 93.52 - 99.99 % , 93.80 - 99.91 % และ 99.44 - 99.94% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์อิทธิพลของอัตราส่วนของเถ้าลอยและเถ้าหนักในทางสถิติพบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมสำหรับทุกอัตราส่วนของเถ้าลอยและเถ้าหนักในทางสถิติ พบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดนิเกิล และสังกะสีที่อัตราส่วนเถ้าลอยต่อเถ้าหนักเท่ากับ 3: 1 และ 2.5 : 1 มีค่ามากกว่าอัตราส่วนอื่น แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงที่อัตราส่วนเถ้าลอยต่อเถ้าหนัก 1: 1 และ 1.5: 1 ค่ามากกว่าอัตราส่วนอื่น นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมและสังกะสีที่ระยะเวลาในการกวนผสมเท่ากับ 2 และ 3 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพสูงสุด ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงที่ระยะเวลาในการกวนผสมเท่ากับ 1 ชั่วโมงมีประสิทธิภาพสูงสุด สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดคือที่อัตราส่วนของเถ้าลอย และเถ้าหนักเท่ากับ 1.5:1 และระยะเวลาในการกวนผสมเท่ากับ 3 ชั่วโมง ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม นิเกิล ทองแดง และสังกะสีมีค่าเท่ากับ 99.99 % , 99.98% , 99.25% , 99.93% ตามลำดับ และทำให้ค่าพีเอชมี ของแข็งแขวนลอย ความเข้มข้นของโครเมียม นิเกิล ทองแดง และสังกะสี มีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

Gupta and Ali (2003) ใช้เถ้าลอยชานอ้อยจากโรงงานผลิตน้ำตาลสำหรับการกำจัดตะกั่วและโครเมียม โดยตะกั่วและโครเมียมจะถูกดูดซับสูงถึง 96 - 98 % การกำจัดโลหะหนักทั้งสองชนิดสูง 95 - 96 % ซึ่งทดลองโดยใช้คอลัมน์ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิตร/นาที

Gupta, et.al. (2003) ใช้เถ้าลอยชานอ้อยกำจัดแคดเมียม และนิเกิลจากน้ำเสียซึ่งสามารถกำจัดได้ถึง 90 % ในเวลาประมาณ 60 และ 80 นาที ภายใต้สภาวะการทดสอบ พีเอช ความเข้มข้นของสารดูดซับ ความเข้มข้นของตัวดูดซับ อุณหภูมิ ขนาดของเถ้าลอย มีผลกับการกำจัดแคดเมียมและนิเกิลจึงใช้เป็นตัวที่จะศึกษา การกำจัดแคดเมียมและนิเกิลสูงสุดที่ความเข้มข้น 14

และ 12 มิลลิกรัม/ลิตร และ ที่ พีเอช 6.0 และ 6.5 ความเข้มข้นของตัวดูดซับซึ่งดีที่สุดในการกำจัด โลหะหนัก เท่ากับ 10 กรัม/ลิตร ความสามารถในการดูดซับสามารถอธิบายใน Langmuir model ได้ ดีกว่า Freundlich model การดูดซับโลหะหนักทั้งคู่อจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นตัวชี้บอกถึง การดูดซับความร้อนในกระบวนการดูดซับตามธรรมชาติ

จากข้างต้นแสดงให้เห็นว่า การบำบัดน้ำเสียโดยใช้เถ้าลอยมีประสิทธิภาพสูงทั้งการกำจัด ฟอสฟอรัสและโลหะหนักซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นการใช้เถ้าลอยลิกไนต์ แต่ยังไม่มีการใช้เถ้าลอยจาก เตาเผาขยะ ทั้งนี้ภาคใต้มีแหล่งผลิตเถ้าลอยที่มีปริมาณสูง นั่นคือเตาเผาขยะภูเก็ต จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เถ้าลอยจากเตาเผาภูเก็ตมากำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย โดยเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบ ทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ (ดังตารางที่ 1.8) พบว่า ปริมาณ CaO ของเถ้าลอย จากเตาเผาขยะภูเก็ต 54.26 % ซึ่งสูงกว่าเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ 20.50 % ซึ่ง CaO เป็น องค์ประกอบที่สำคัญในการกำจัดฟอสฟอรัส ดังนั้นเถ้าลอยจากเตาเผาขยะภูเก็ตจึงน่าจะมี ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดฟอสฟอรัส โดยในการศึกษานี้จะศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย โดยใช้เถ้าลอยจากเตาเผาขยะภูเก็ต เพื่อให้มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำที่สุดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ธรรมชาติเพื่อเป็นการป้องกันการเกิดปัญหาหมอกพิษทางน้ำ โดยจะศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสเฉพาะ ในรูปของออร์โธฟอสเฟต

ตารางที่ 1.10 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและเถ้าลอยจากเตาเผาขยะ ภูเก็ต

องค์ประกอบ	เถ้าลอยลิกไนต์ *	เถ้าลอยจากเตาเผาขยะภูเก็ต **
SiO ₂	45.12 %	1.57 %
CaO	20.50 %	54.26 %
Al ₂ O ₃	9.20 %	0.77 %
Fe ₂ O ₃	7.46 %	1.44 %
SO ₃	5.76 %	5.19 %
K ₂ O	1.14 %	9.72 %
MgO	0.83 %	1.60 %
Na ₂ O	0.82 %	5.74 %

ที่มา * (สร้อยดาว วินิจนันท์รัตน์, 2538) ** (สินีนานู พวงมณี, 2547)

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตโดยใช้ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะภูเก็ต
2. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตโดยใช้ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะภูเก็ต
3. เพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นทางด้านเทคนิคเพื่อกำจัดฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียในการใช้ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะภูเก็ต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการนำถ้ำลอย ซึ่งเป็นของเสียจากเตาเผาขยะชุมชนภูเก็ตกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดพื้นที่ในการฝังกลบถ้ำลอย
2. สามารถใช้เทคนิคที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสมากขึ้น