บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

<u>หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเสียกับอัตราการไหลของอากาศ</u> (ไพศาล, 2540)

ผลการทดลองโดยทำการเปลี่ยนค่าปริมาณอัตราการไหลของอากาศ โดยให้อัตราการไหลของน้ำเสียคงที่

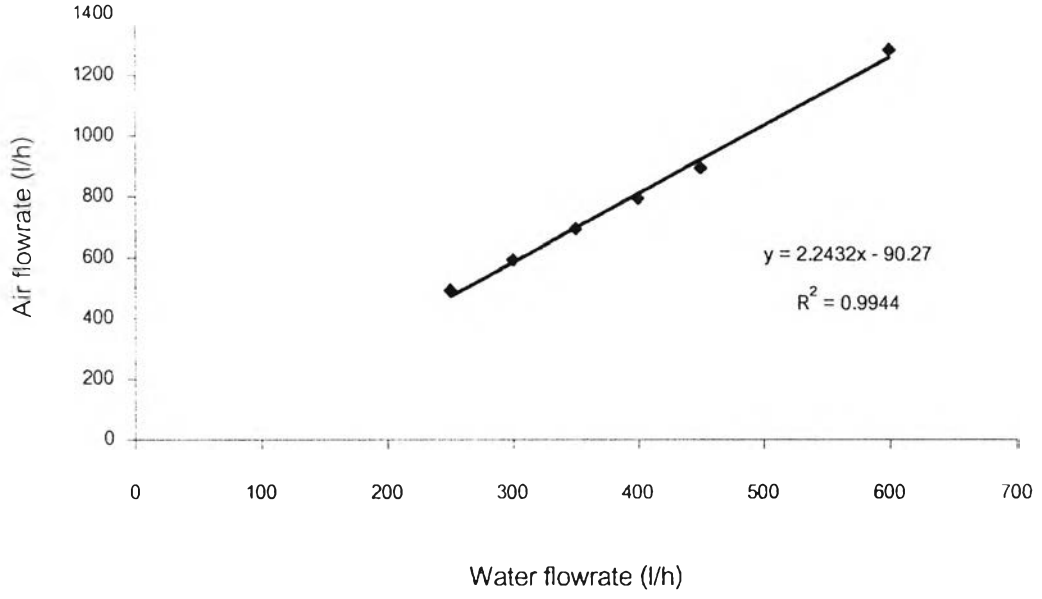
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับอัตราการไหลของน้ำเสียที่ให้ค่าบีโอดีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย

อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลิตรต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำเข้า (มก.ต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำออก (มก.ต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)
250	390	429.8	102.0	79.99
	440	435.6	82.3	85.01
	490	432.9	58.4	90.70
	540	436.7	61.7	89.99
	590	435.8	61.6	90.00
300	490	436.5	145.0	69.99
	540	429.8	126.5	74.01
	590	428.4	76.8	86.09
	640	429.7	77.4	85.99
	690	430.4	77.5	85.99
350	590	431.2	163.9	65.00
	640	436.9	145.1	69.99
	690	435.7	94.2	82.15
	740	431.8	94.1	82.01

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลิตรต่อชั่วโมง)	อัตราการไหลของอากาศ (ลิตรต่อชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำเข้า (มก.ต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยบีโอดีของน้ำออก (มก.ต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)
300	790	435.6	94.8	82.00
400	690	436.7	207.5	55.00
	740	432.8	185.1	60.00
	790	433.2	114.3	77.18
	840	436.5	115.8	77.00
	890	434.8	127.8	74.01
450	790	433.2	226.6	50.00
	840	434.6	194.1	58.01
	890	429.8	136.8	71.50
	940	428.4	138.4	71.01
	990	429.7	142.9	70.00
600	1180	435.6	248.6	45.00
	1230	432.9	234.7	48.00
	1280	436.7	189.3	59.37
	1330	435.8	190.5	58.99
	1360	436.5	211.6	54.00

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดลองโดยทำการปรับอัตราการไหลของน้ำเสียให้คงที่ค่าหนึ่งแล้วทำการเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศ หาปริมาณอากาศที่เหมาะสมโดยดูจากค่าร้อยละการบำบัดบีโอดี จากนั้นเลือกอัตราการไหลของอากาศที่มีค่าร้อยละการบำบัดน้ำเสียสูงสุด นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของน้ำเสียกับอัตราการไหลของอากาศ ที่ตำแหน่งประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเสียและอัตราการไหลของอากาศที่ให้ค่าการบำบัดบีโอดีสูงสุด

จากกราฟสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของน้ำเสียกับอัตราการไหลของอากาศได้ความสัมพันธ์ดังนี้ Y = 2.2432X-90.27 ที่ค่า R^2 = 0.9944 โดยที่ค่า Y คือ อัตราการไหลของอากาศ และค่า X คือ อัตราการไหลของน้ำเสีย โดยสมการนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณของอากาศที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียต่อไป (ไพศาล, 2541)

ผลการบำบัดน้ำเสียและวิเคราะห์ผล

1. ปริมาณสารอาหาร (Nutrients)

ธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก เป็นสารอาหารที่สำคัญสำหรับจุลินทรีย์ที่ต้องนำไปสร้างเซลล์ใหม่ จึงจะต้องมีการตรวจสอบปริมาณสารอาหาร ปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมมีค่า BOD : N : P = 100 : 5 : 1 (Metcalf และ Eddy, 1991) ในน้ำเสียทั่วไป ๆ จะมีปริมาณธาตุคาร์บอน และธาตุเหล็ก อย่างเพียงพอในการทดลองนี้จะหาปริมาณ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารอาหารเสริม ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสเปรียบเทียบกับค่าบีโอดี ที่มีอยู่ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด

วันที่	บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	BOD :N : P
14 มกราคม 2542	418.4	28.53	19.40	100:6.82:4.64
23 กรกฎาคม 2542	426.5	24.35	22.64	100:5.71:5.31
7 ตุลาคม 2542	430.3	26.41	16.45	100:6.14:3.83

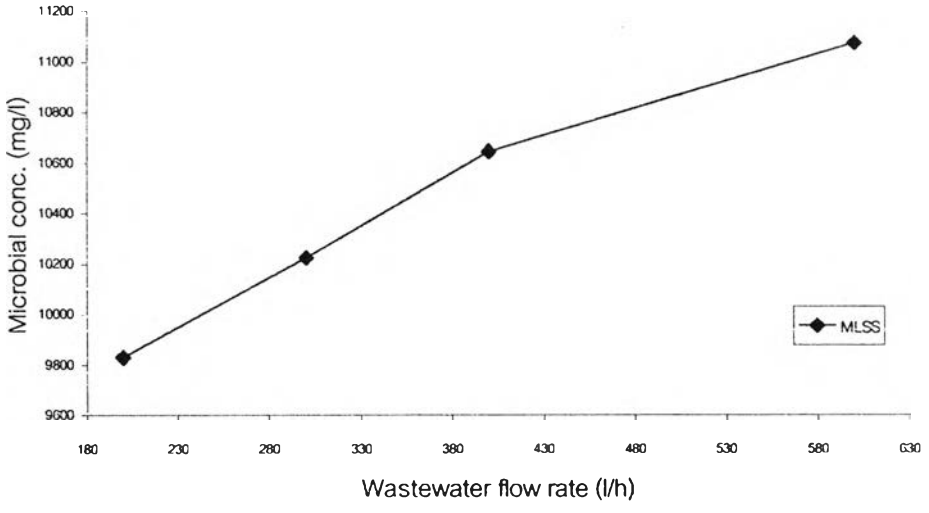
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารอาหารเสริม ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสเปรียบเทียบกับค่าบีโอดี ในน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัด

วันที่	บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	BOD :N : P
25 กุมภาพันธ์ 2542	50.86	19.8	10.6	100:38.39:20.84
15 กันยายน 2542	71.50	13.4	5.1	100:18.74:7.13
9 ธันวาคม 2542	86.10	18.7	7.9	100:21.72:9.17

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 ทำการวัดหาปริมาณธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดที่ทำการทดลองอยู่ นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบค่า BOD : N : P พบว่ามีอัตราส่วนอยู่ในช่วงที่เหมาะสมจึงไม่จำเป็นต้องเติมอาหารเสริมลงไปในน้ำเสียก่อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด และออกจากปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด ผลจากการวิเคราะห์นี้จะเป็นตัวที่บ่งบอกปริมาณสารอาหารเสริมที่มีมากพอในการนำไปสร้างเซลล์จุลินทรีย์ใหม่จึงไม่มีผลต่อปฏิกิริยารวมของการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดฟลูอิไดซ์เบด

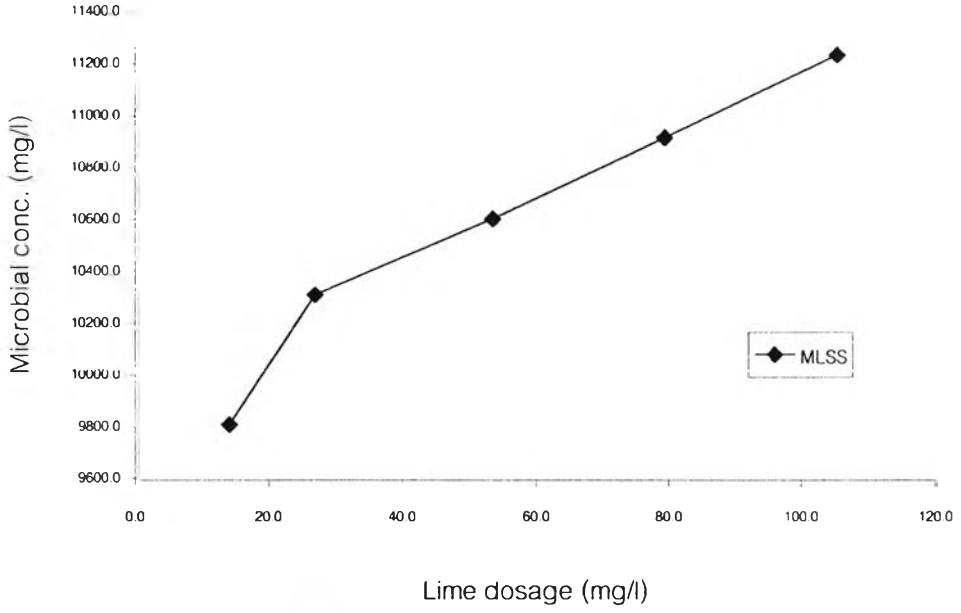
2. ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด (MLSS)

ความเข้มข้นของตะกอนที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดในทางวิศวกรรมการบำบัดน้ำเสียถือว่าเป็นตัวที่สามารถบ่งบอกถึงความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบได้ นั่นคือความเข้มข้นของตะกอนสูงจะมีความเข้มข้นของจุลินทรีย์สูงตามไปด้วย ในการทดลองนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด (MLSS) เป็นค่าดัชนีในการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบ Jeris, J.S. and Owen, R.W. (1975) กล่าวว่าในขณะทำการทดลอง ความเข้มข้นของตะกอนถือว่าเป็นส่วนสำคัญของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด กับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ

จากรูปที่ 4.2 มีค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 9830-11073 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด กับปริมาณปูนขาวที่เติมลงในระบบ ที่อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

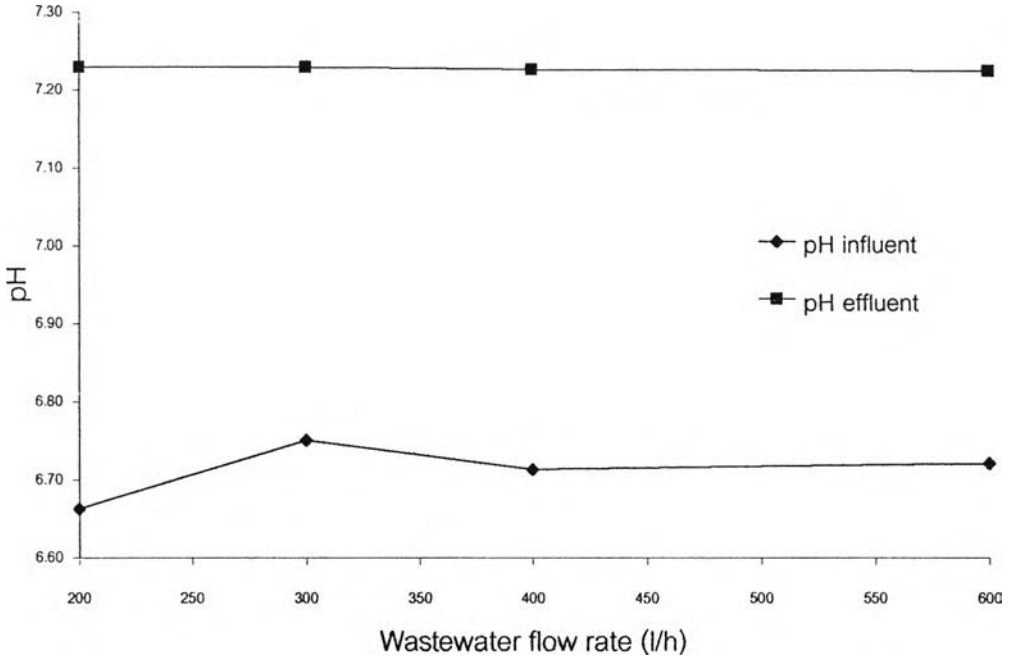
ส่วนรูปที่ 4.3 มีค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 9812.5-11232.7 มิลลิกรัมต่อลิตร

ลักษณะกราฟทั้งสองรูปมีลักษณะคล้ายกันคือมีค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียและปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้น แสดงว่ามีการสะสมของจุลินทรีย์มากขึ้น จุลินทรีย์ยึดเกาะตัวกลางได้ดีขึ้น เนื่องจากที่อัตราการไหลน้ำเสียมาก ระยะเวลาที่สารอินทรีย์เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์สั้น แต่มีปริมาณมาก ส่วนปูนขาวที่เติมลงในน้ำเสียก่อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์จะไปตกตะกอนสารอินทรีย์ สารพิษ และฟอสฟอรัสบางส่วนออกมา แต่ปริมาณฟอสฟอรัสยังคงมีเพียงพอต่อจุลินทรีย์ดังแสดงในตาราง 4.2 และพีเอชของปูนขาวยังคงอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ทำงานได้ดี ยิ่งปูนขาวเพิ่มค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ในการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียที่ทำงานวิจัยนี้กับระบบเลี้ยงตะกอนเร่งจะเป็นระบบบำบัดขั้นสูง (High-rate Aeration) มีค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ 9000-10000 มิลลิกรัมต่อลิตร สุเมธ (2535) หรือเป็นแบบ Contact Stabilization มีค่าอยู่ในช่วง 9000–10000 มิลลิกรัมต่อลิตร สุเมธ (2535) ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในส่วนของระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง และถ้านำไปเปรียบเทียบกับ Forster,C.F.(1986) ระบบฟลูอิไดซ์เบดของงานวิจัยในอดีต ค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในเครื่องปฏิกรณ์ 15000 – 30000 มิลลิกรัมต่อลิตร

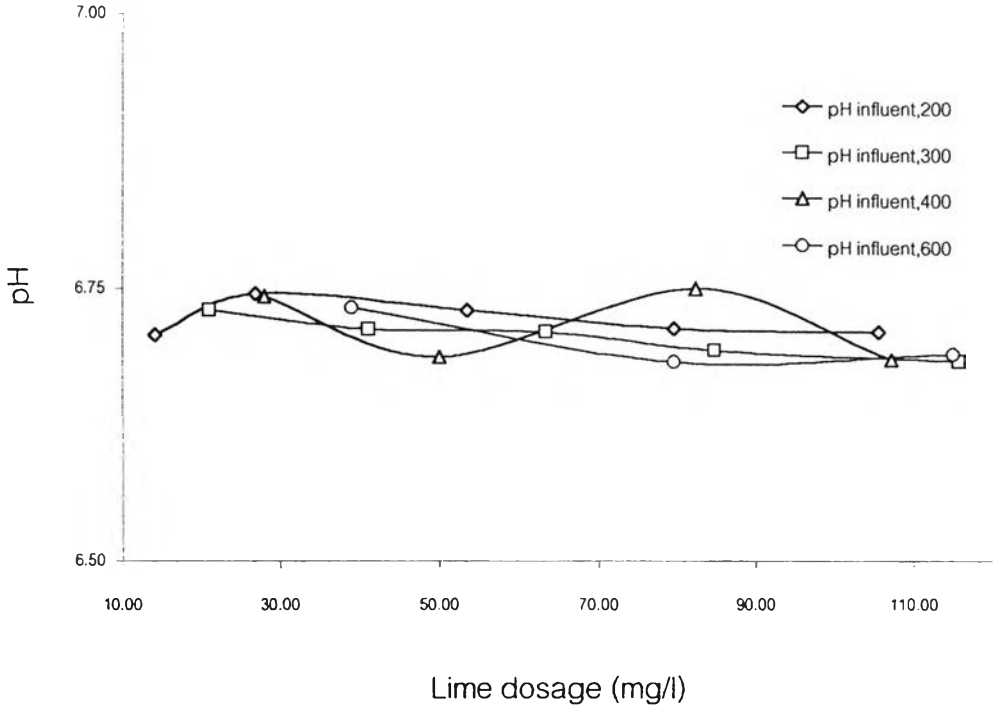
ในการทดลองนี้ที่ให้ค่าตะกอนแขวนลอยต่ำกว่าระบบฟลูอิไดซ์เบดของงานวิจัยอื่น ๆ เนื่องจากมีความแตกต่างกันทางสมบัติของน้ำเสีย เช่น ความเข้มข้นสารอินทรีย์ และขั้นตอนบำบัดน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย ในการทำการทดลองนี้ระบบบำบัดน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดฟลูอิไดซ์เบดมีประสิทธิภาพไม่ดีพอ เนื่องมาจากมีตะกอนไขมันเข้ามาในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นผลทำให้การเกาะของจุลินทรีย์บนตัวกลางไม่ดี

3. ค่าพีเอช

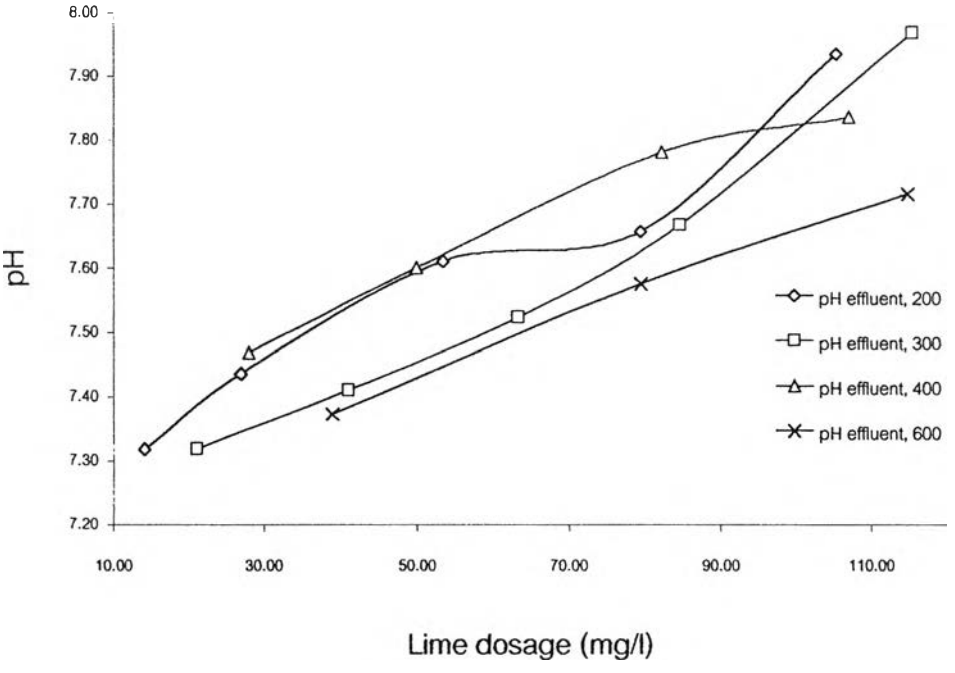
ในการทดลองนี้ค่าพีเอชของน้ำเสีย มีค่าแตกต่างกันตามอัตราการไหล ช่วงเวลา แต่ในทางสถิติจะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ถือว่าค่าพีเอชที่ใช้อยู่นี้จะไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังแสดงในกราฟด้านล่าง



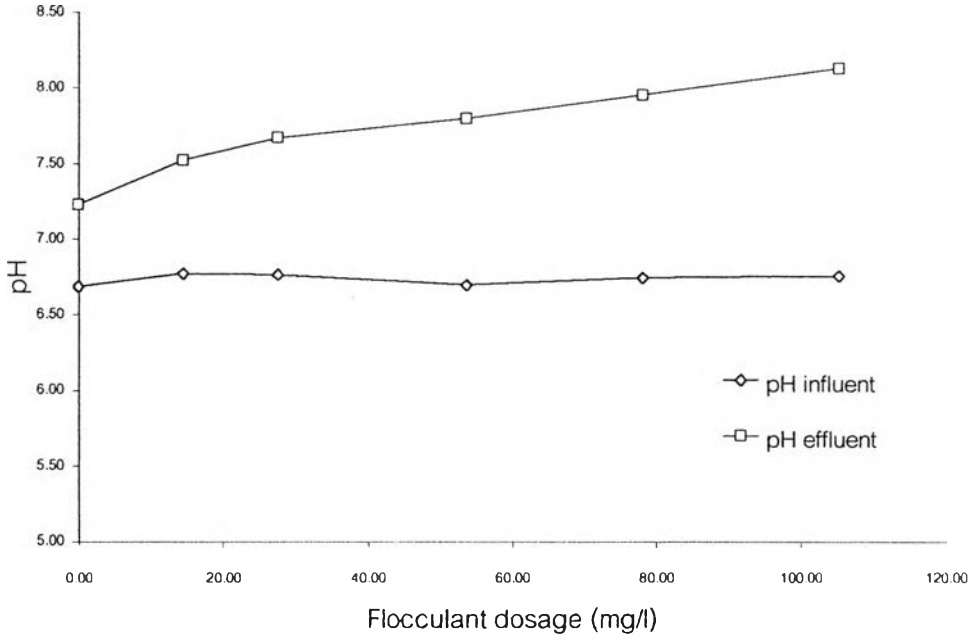
รูปที่ 4.4 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ เข้าระบบ และ ออกจากระบบ ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 200, 300, 400 และ 600 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 **ค่าพีเอชของน้ำเสียที่** เข้าระบบ **ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย** 200, 300, 400 และ 600 **ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อเติมปูนขาว**



รูปที่ 4.6 **ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ออกจากระบบ ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย** 200, 300, 400 และ 600 **ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อเติมปูนขาว**



รูปที่ 4.7 ค่าพีเอชน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัด และออกจากระบบบำบัด ที่การเติมปูนขาว และสารสร้างตะกอน ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 200 ลิตรต่อชั่วโมง

กราฟรูปที่4.4 ได้ทำการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสีย พบว่าค่าพีเอชที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำเสียอยู่ในช่วง 6.68 - 7.2 ซึ่งเป็นช่วงที่ จุลินทรีย์ทำงานได้ดี สุเมธ (2535) ค่าพีเอชของน้ำเสียมีค่าต่ำสุดไม่เกิน 6.5 และ สูงสุดไม่เกิน 8 จึงจะไม่มีผลต่อจุลินทรีย์ในน้ำเสีย จากการทดลองนี้ พบว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน เป็นผลที่เกิดจากปฏิกิริยาชีวเคมีภายในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีจุลินทรีย์ คือเกิดการเจริญเติบโต การย่อยสลายสารอินทรีย์ และการสร้างเซลล์ใหม่ของจุลินทรีย์ โดยมี น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และส่วนประกอบบางส่วนที่ได้แอมโมเนีย เป็นผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์

จากรูปที่ 4.5 ค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดอยู่ในช่วง 6.63 - 7.5 ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ทำงานได้ดี จากการทดลองนี้ ได้ทำการเติมปูนขาวที่อัตราการไหลของน้ำเสียต่างๆ กัน พบว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน กราฟมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง ซึ่งถือว่ากราฟคงที่

รูปที่ 4.6 แสดงค่าพีเอชของน้ำเสียออกจากระบบบำบัดมีค่าสูงขึ้น เมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียเพิ่มขึ้นเนื่องจากปูนขาวที่เติมลงไปมีความเป็นด่างสูง เมื่อใส่ในปริมาณมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกอัตราการไหล แต่ค่าพีเอชที่สูงขึ้นมีค่าไม่เกิน 8 คือยังอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ทำงานได้ดี

กราฟรูปที่4.7 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง มีค่าเฉลี่ย 6.7 และน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารสร้างตะกอน มีค่า 7.2-8.2 เพราะอาจเกิดจากพีเอชของสารสร้างตะกอนเอง หรือเกิดจากแอมโมเนีย (NH_3) ที่เกิดขึ้นในเบตทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น

ผลของค่าพีเอชที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีการบำบัดน้ำเสียอธิบายจาก สมการการย่อยสลายสารอินทรีย์ และ สร้างเซลล์ใหม่โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (สุเมธ, 2535)

$$\text{Organic matter} + \text{Nutrients} + O_2 + \text{Bacteria} \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{energy} + \text{new cell}$$

เซลล์แบคทีเรียที่ตายเป็นอาหารของแบคทีเรียตัวอื่นๆ

$$\text{Protoplasm} + O_2 + \text{Bacteria} \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{Energy} + NH_3$$

ในส่วนที่เป็นรูพรุนภายในเม็ดตัวกลางถ้าออกซิเจนเข้าไปไม่ถึง

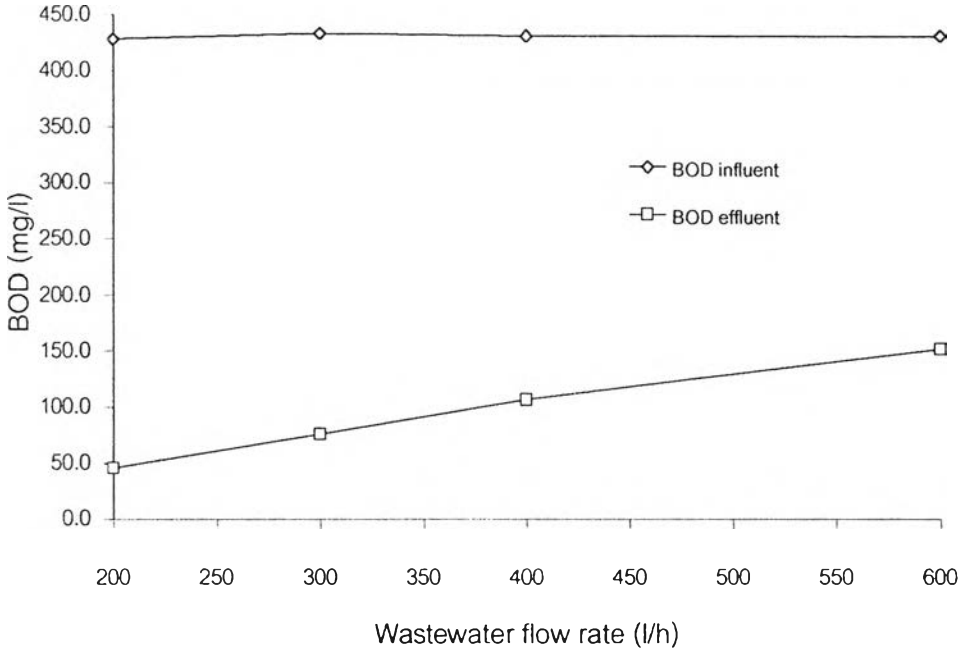
$$\text{Organic matter} + \text{Bacteria} \longrightarrow CH_4 + CO_2 + NH_3 + H_2O$$

$$NH_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow NH_4HCO_3 \uparrow \text{pH}$$

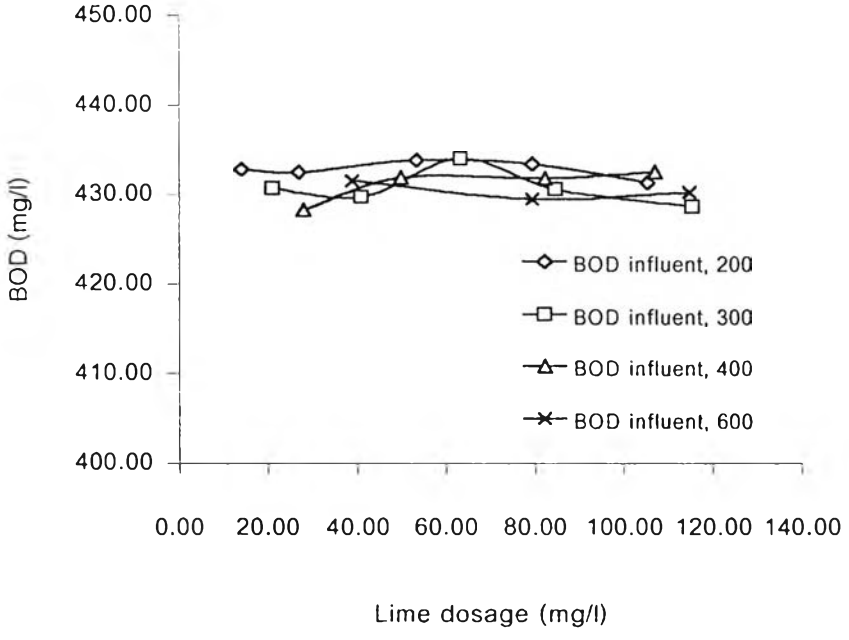
ในสมการสุดท้ายได้ แอมโมเนียไฮโดรเจนคาร์บอเนต มีสมบัติเป็นเบส น้ำเสียที่ผ่านระบบการบำบัดแล้วจึงมีค่าความเป็นกรด-เบสสูงขึ้น แต่ค่าความเป็นกรด-เบสนี้ไม่สูงเกินกว่าค่าที่จุลินทรีย์จะสามารถดำรงชีวิตได้ จึงไม่เป็นผลเสียต่อระบบบำบัดน้ำเสียฟลูอิไดซ์เบดในการทดลองนี้

4. ค่าบีโอดี

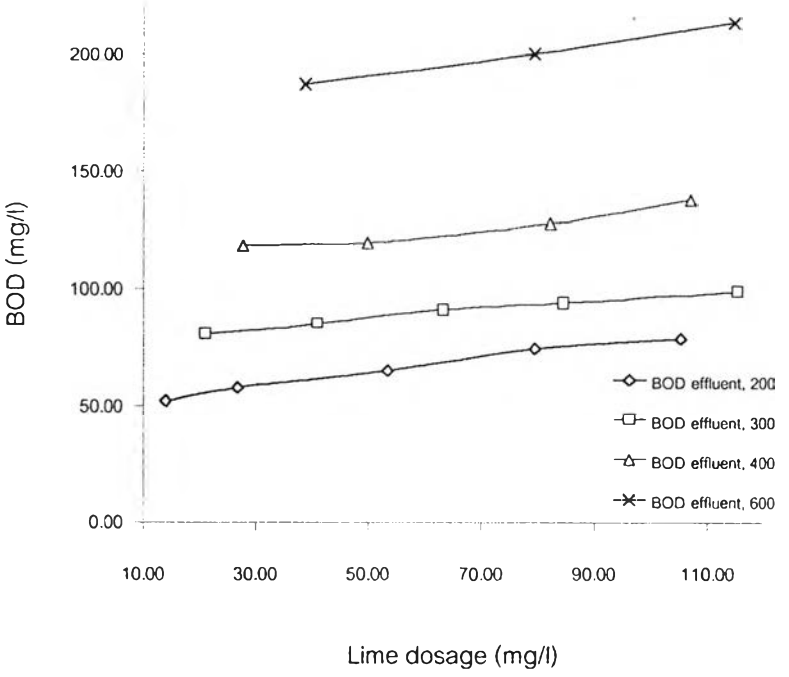
ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยทำการวิเคราะห์น้ำเสียที่อัตราการไหลต่างๆ ได้ผลการทดลองดังนี้



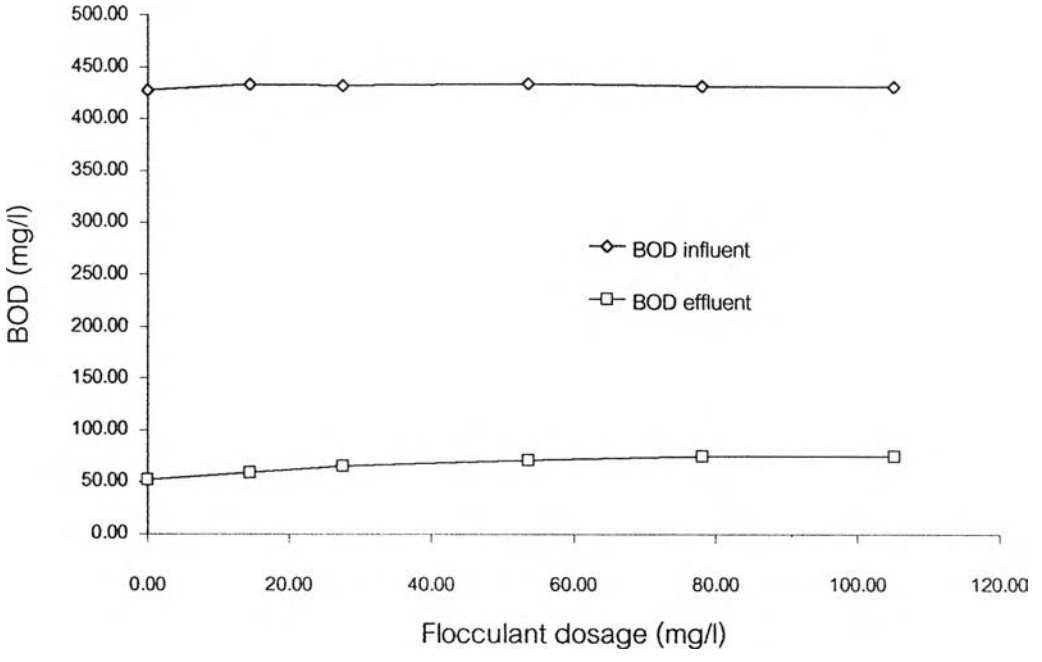
รูปที่ 4.8 ค่าบีโอดีน้ำที่เข้าระบบบำบัด และออกจากระบบบำบัด ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 200, 300, 400 และ 600 ลิตรต่อวโมง ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 ค่าบีโอดีน้ำที่เข้าระบบบำบัดที่เติมปูนขาว ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 200, 300, 400 และ 600 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ค่าบีโอดีน้ำที่ออกจากระบบบำบัดที่เติมปูนขาว ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 200, 300, 400 และ 600 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ค่าบีโอดีน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัด และออกจากระบบบำบัด ที่การเติมปูนขาว และสารสร้างตะกอน ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 200 ลิตรต่อชั่วโมง

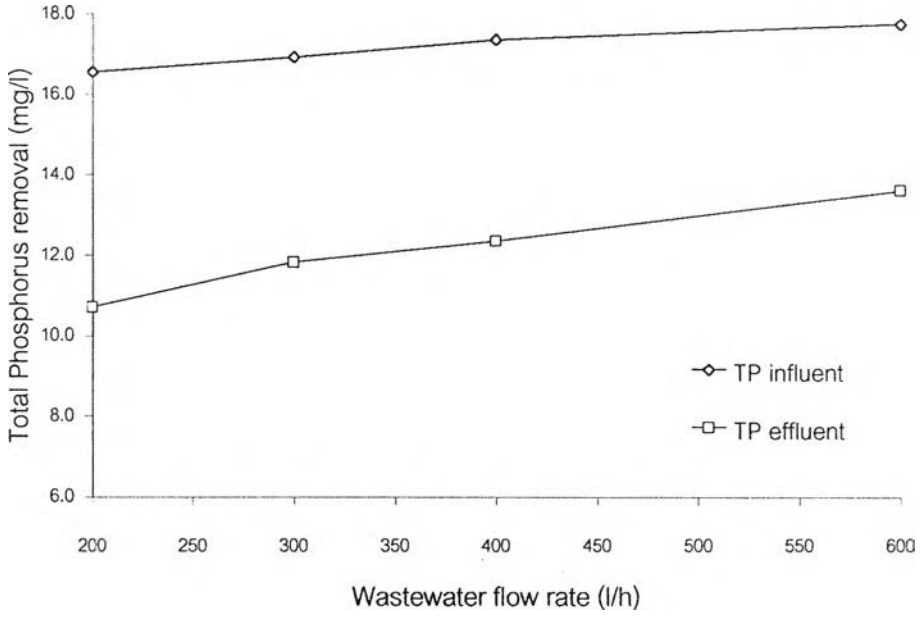
จากรูปที่ 4.8 เป็นการวัดค่าบีโอดีของน้ำเสียก่อนเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 200, 300, 400 และ 600 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ย 430.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ย 44.9, 75.4, 106.3 และ 151.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีมีค่าร้อยละ 93.9, 86.6, 79.0 และ 68.1 ที่อัตราการไหลน้ำเสีย 200, 300, 400 และ 600 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าค่าบีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดมีค่าลดลงเนื่องจากมีเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์เมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียเพิ่ม โดยการย่อยจะเป็นแบบผสมระหว่างจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากระยะเวลาในการกักเก็บน้อยลง

จากกราฟรูปที่ 4.9 ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดมีลักษณะคงที่ มีค่าเฉลี่ยในช่วง 428 – 435 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่ออกจากระบบแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าค่าบีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดมีเพิ่มขึ้นเมื่อเติมปูนขาว เนื่องจากปูนขาวที่เติมลงไปทำให้พีเอชของน้ำเพิ่มขึ้นมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ระยะเวลาในการกักเก็บน้อยลงประสิทธิภาพการลดค่าบีโอดีมีค่าร้อยละ 85.77, 80.78, 71.52 และ 52.84 ที่อัตราการไหล 200, 300, 400 และ 600 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากการทดลองนี้อัตราการไหลของน้ำเสียที่เหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงคือ 200 ลิตรต่อชั่วโมง

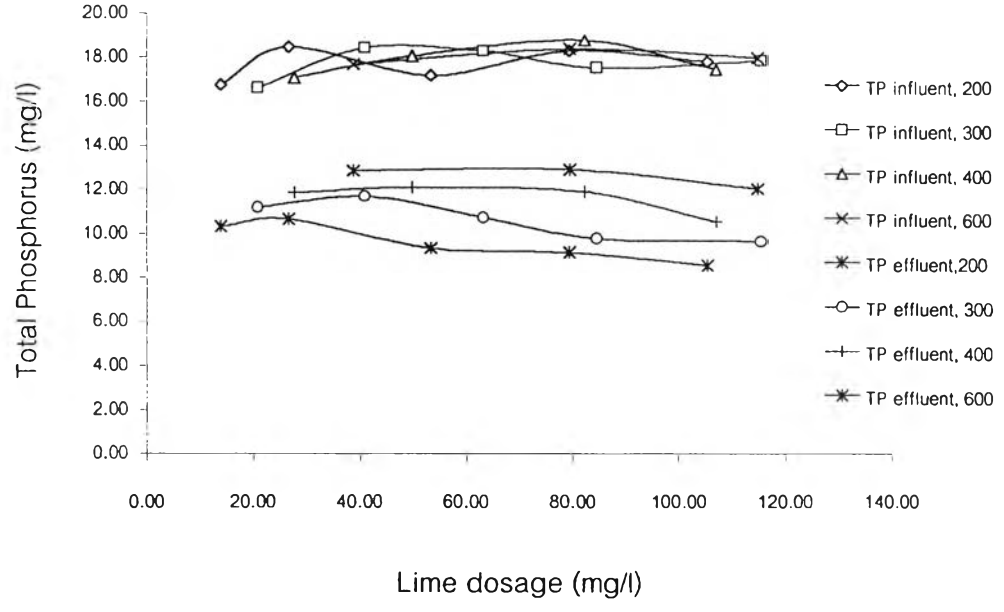
กราฟรูปที่ 4.11 ได้เลือกอัตราการไหลน้ำเสียที่ 200 ลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากที่สุด จึงเลือกมาศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟต ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดมีลักษณะคงที่ มีค่าเฉลี่ยในช่วง 428 – 435 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดมีลักษณะเพิ่มขึ้นในปริมาณน้อยมาก ผลมาจากการเติมปูนขาวและสารสร้างตะกอนที่เติมลงไปจะไปทำให้พีเอชของน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อจุลินทรีย์ในระบบ ทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีลดลง

5. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

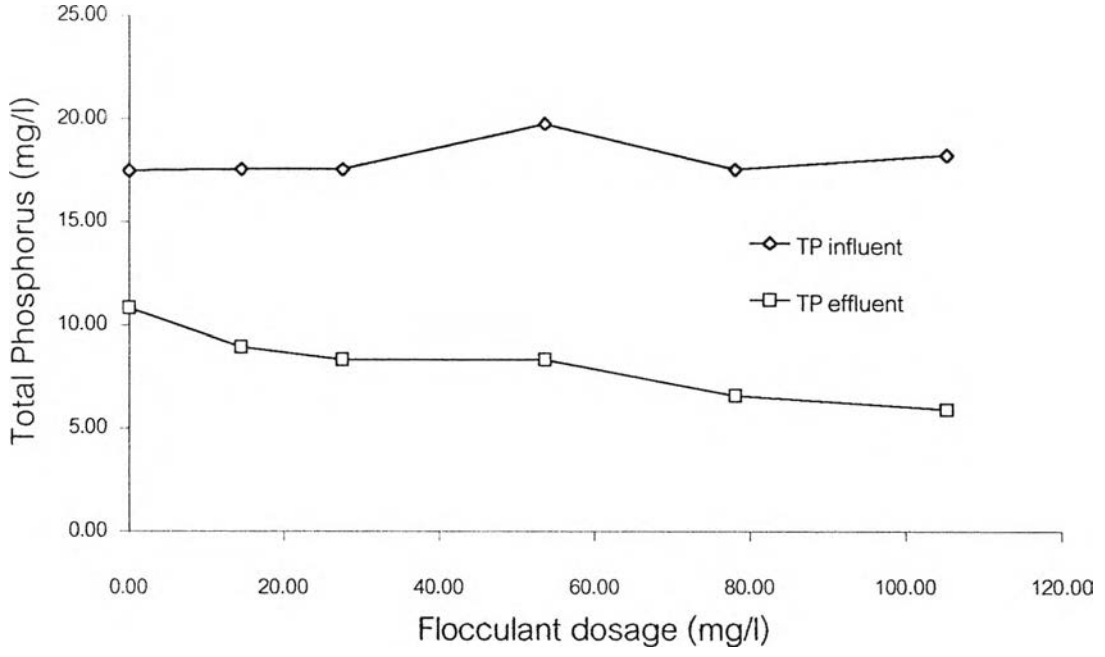
ทำการวัดปริมาณฟอสเฟตในรูปปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย โดยทำการวิเคราะห์น้ำเสียที่อัตราการไหลต่างๆ ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.12 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าระบบบำบัด และออกจากระบบบำบัด ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 200, 300, 400 และ 600 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าระบบบำบัด และออกจากระบบบำบัด ที่การเติมปูนขาว ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 200, 300, 400 และ 600 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าระบบบำบัด และออกจากระบบบำบัด ที่การเติมปูนขาว และสารสร้างตะกอน ที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 200 ลิตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4.12 เป็นการวัดค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย และออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่า 16.5, 16.9, 17.4 และ 17.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่ออกจากระบบมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 10.7, 11.8, 12.4 และ 13.6 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 35.05,29.66, 25.53 และ 23.38 ที่อัตราการไหลน้ำเสีย 200, 300, 400 และ 600 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.13 เป็นการวัดค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าและออกระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเติมปูนขาวที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 200, 300, 400 และ 600 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าคงที่มีค่าเฉลี่ย 17.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่ออกจากระบบมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่า 10.33-8.53, 11.18-9.63, 11.85-10.53 และ 12.83-12.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 55.05, 46.24, 39.44 และ 33.55 ตามลำดับ

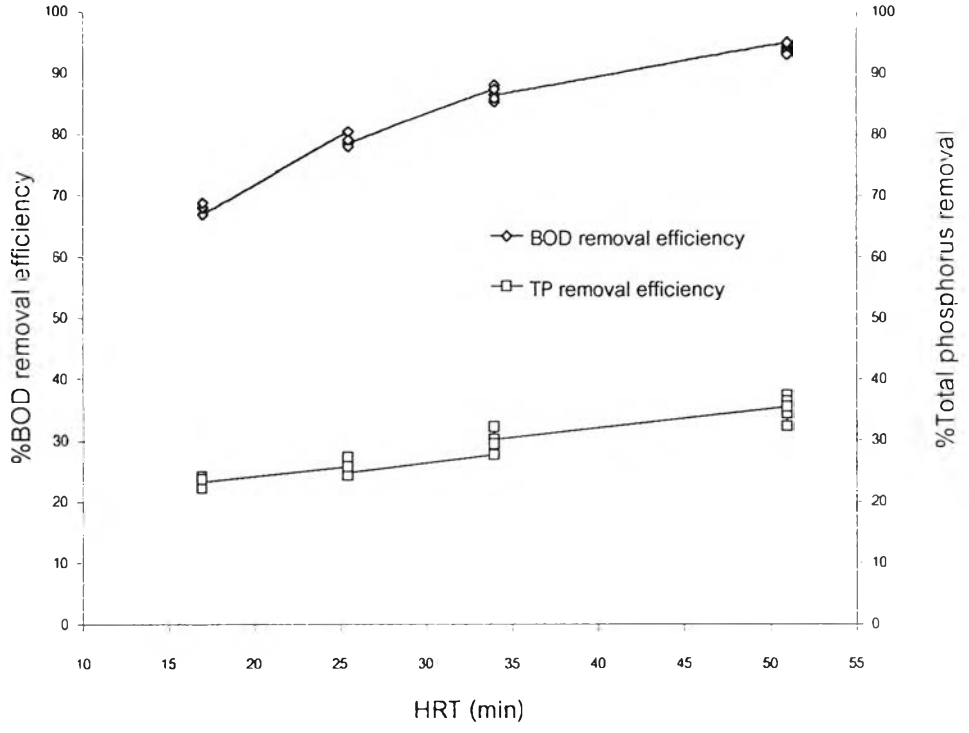
จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเกือบคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ย 17.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ

อัตราการไหลน้ำเสีย และปริมาณปูนขาว เพิ่ม ค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าลดลง เนื่องจากระยะเวลาในการกักเก็บน้อยลง จุลินทรีย์จึงมีเวลาในการดึงฟอสเฟตลดลง และปฏิกิริยาการตกตะกอนของฟอสเฟตเกิดได้ช้าจึงต้องใช้เวลานานในการตกตะกอน ยิ่งเวลาในการกักเก็บมากจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น การลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดด้วยปูนขาวดีกว่าการลดด้วยระบบบำบัดชีววิทยาเพียงอย่างเดียว เพราะปูนขาวที่เติมลงไปจะตกตะกอนฟอสฟอรัสบางส่วนออกมา และอีกส่วนจะบำบัดด้วยจุลินทรีย์ในเบด ปูนขาวจะตกตะกอนได้ดีที่พีเอชสูง แต่ค่าพีเอชต้องไม่เกิน 8 เพราะมีผลต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำเสียที่เหมาะสมในการลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงคือ 200 ลิตรต่อชั่วโมง ด้วยการเติมปูนขาว

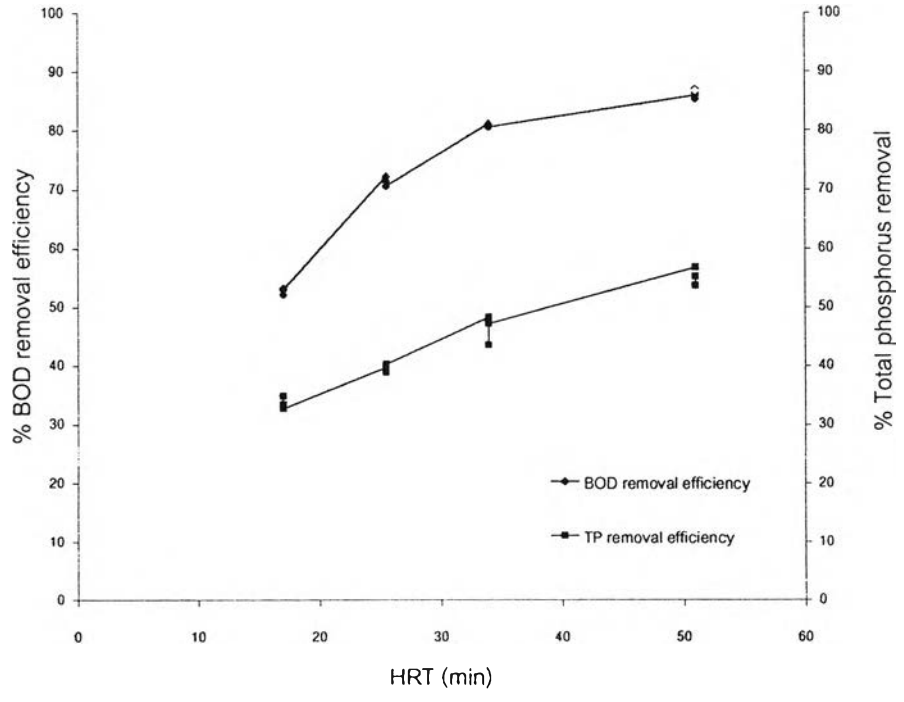
รูปที่ 4.14 เลือกภาวะที่ระบบบำบัดแบบปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากที่สุด คือที่อัตราการไหลน้ำเสียที่ 200 ลิตรต่อชั่วโมง ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส โดยการเติมปูนขาวปริมาณ 28.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และเพิ่มปริมาณสารสร้างตะกอน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เข้าระบบบำบัด มีลักษณะเป็นเส้นตรง มีบางค่าที่อาจจะสูงหรือต่ำไปบ้าง เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีค่าไม่คงที่ แต่เราถือว่าคงที่ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสามารถลดได้ 69.05 ร้อยละ โดยมีค่าสูงกว่าการเติมปูนขาวเพียงอย่างเดียว ยิ่งเพิ่มปริมาณสารสร้างตะกอนมากขึ้น การลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น เพราะสารสร้างตะกอนที่เติมลงไป จะไปเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนฟอสฟอรัส โดยทำให้เกิดการจับตัวของฟอสฟอรัสดียิ่งขึ้น และที่อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะเวลาในการกักเก็บเท่ากับ 51 นาที

6. ระยะเวลาในการกักเก็บ (Hydraulic retention time)

ในการทดลองได้ทำการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียทำให้ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียเปลี่ยนไปด้วย เพราะระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียเป็นอัตราส่วนระหว่าง ปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดต่ออัตราการไหลของน้ำเสีย สำหรับตัวกลางที่ดีควรมีระยะเวลาในการกักเก็บต่ำ ทำการเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาการกักเก็บกับร้อยละบีโอดี และระยะเวลาการกักเก็บกับร้อยละฟอสฟอรัสทั้งหมด ผลการทดลองแสดงในกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการกักเก็บกับร้อยละการกำจัดบีโอดีและฟอสฟอรัสในระบบบำบัดชีวภาพปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการกักเก็บกับร้อยละการลดปริมาณบีโอดีและฟอสฟอรัส ในระบบบำบัดที่รวมการตกตะกอนทางเคมีกับระบบชีวภาพฟลูอิไดซ์เบด

จากกราฟรูป 4.15 และ 4.16 เป็นผลที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากักเก็บกับประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี และประสิทธิภาพการลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่ากราฟทั้งสองมีแนวโน้มเหมือนกันคือมีลักษณะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการกักเก็บเพิ่มขึ้นจากกราฟ 4.15 ระยะเวลากักเก็บเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงขึ้น เพราะสารอินทรีย์ถ้าอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดนานการย่อยสลายสารอินทรีย์จะมีประสิทธิภาพสูง จากข้อมูลพบว่าที่ระยะเวลาการกักเก็บ 51 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีร้อยละ 93.90, 85.77 และ 86.76 ในระบบบำบัดชีววิทยาเพียงอย่างเดียว ระบบบำบัดชีววิทยากับการตกตะกอนด้วยปูนขาว และระบบบำบัดชีววิทยากับการตกตะกอนด้วยปูนขาวและสารสร้างตะกอนตามลำดับ ส่วนกราฟรูป 4.16 พบว่าที่ระยะเวลาการกักเก็บ 51 นาที มีประสิทธิภาพในการลดฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 35.05, 55.05 และ 69.05 ในระบบบำบัดชีววิทยาเพียงอย่างเดียว ระบบบำบัดชีววิทยากับการตกตะกอนด้วยปูนขาว และระบบบำบัดชีววิทยากับการตกตะกอนด้วยปูนขาวและสารสร้างตะกอนตามลำดับ จากรูป 4.15 และ 4.16 พบว่าถ้าประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีสูง แต่ประสิทธิภาพการลดปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ แสดงว่าปูนขาวที่เติมลงไปจะทำให้การลดปริมาณฟอสฟอรัสได้มากขึ้น ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้นตามปริมาณปูนขาว ทำให้จุลินทรีย์สลายสารอินทรีย์ได้ลดลง ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีจึงลดลง

7. การเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียอื่น

ได้นำข้อมูลที่ศึกษาได้มาเปรียบเทียบระบบที่ปฏิบัติอยู่ในขณะนี้ได้แก่โรงบำบัดน้ำเสียของเทศบาลกรุงเทพที่สี่พระยา การตกตะกอนด้วยสารเคมีในระบบฟลูอิไดซ์เบด wetlands และการรวมกันของ Fluidized pellet bed separator, aerobic biological filter และ micro-membrane filter ในที่นี้ขอกล่าวรายละเอียดเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร

โรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยานี้ เป็นกระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) ซึ่งใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสิ่งสกปรกในรูป BOD ให้มีความสกปรกน้อยลงได้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามมาตรฐานก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะอันได้แก่แม่น้ำเจ้าพระยาต่อไป

กระบวนการในการบำบัดน้ำเสีย แบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกันคือ

1. การบำบัดขั้นแรกทางกายภาพ เป็นการแยกขยะและกรวดทรายออกจากน้ำเสีย
2. การบำบัดขั้นที่ 2 ทางชีวภาพ เป็นการเพาะเลี้ยงและใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสิ่งสกปรก (BOD) ในน้ำเสียให้มีความสกปรกน้อยลงได้ตามมาตรฐานก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป
3. การกำจัดตะกอนส่วนเกินเป็นการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งเจริญเติบโตเกินความต้องการ จำเป็นต้องกำจัดทิ้งอย่างต่อเนื่อง หรือแปรสภาพและนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป
4. การฆ่าเชื้อโรค เป็นการฆ่าเชื้อโรคที่มากับน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ โดยการใช้สารเคมี

เปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟลูอิไดซ์เบดกับระบบบำบัดน้ำเสียอื่น ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่4.4 การเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียอื่นกับงานวิจัยที่ทำ

System / Variables	Thesis	Seckler etal. 1996	Juwarka etal. 1995	Thatsuhito etal. 1993	Sipaya Municipal WT.
System	Chemical precipitation and Fluidized bed treatment	Fluidized bed	Wetlands	Fluidized pellet bed separator, aerobic biological filter and micro-membrane filter	Activated sludge
Diameter	28 cm H. 300 cm	0.02,0.05 m H 2.1 m	40 cm 90 X 30	5-20 mm	
Chemical usage	Lime Flocculant	NaOH	-	PAC, weak anionic polymer	
Microorganism usage	YES	NO	Microphyte plants Typha , Phragmites	YES	YES
Air flow	396-1189 l/h	-	-	-	-
Wastewater flow	200-600 l/h	-	-	-	-
% Phosphate removal	33.1, 55.1, 68.3	50-65	75-85	93	31.14
% BOD removal	93.9, 85.3, 86.3	-	65-75	60	91.55
pH	6.75 - 8	7.5-9	-	7-8.2	7.27-7.28

จากการเปรียบการลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียระหว่างระบบบำบัดแบบฟลูอิไดซ์เบดกับระบบบำบัดอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าระบบบำบัดชีวภาพแบบฟลูอิไดซ์สามารถลดปริมาณฟอสเฟตได้ใกล้เคียงกับโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาโดยมีค่าร้อยละ 33.1 และ 31.14 ตามลำดับ โดยมีค่าน้อยกว่าระบบที่มีการตกตะกอนเคมีด้วยระบบฟลูอิไดซ์เบด การรวมกันของ fluidized pellet bed separator, aerobic biological filter และ micro-membrane filter และ wetlands ตามลำดับ แต่ความสามารถในการลดค่าบีโอดีของระบบบำบัดชีวภาพแบบฟลูอิไดซ์กับโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยามีค่าใกล้เคียงกันคือ 93.9 และ 91.55 มากกว่า wetlands และการรวมกันของ fluidized pellet bed separator, aerobic biological filter และ micro-membrane filter มีค่าร้อยละ 65-75 และ 60 ตามลำดับ การบำบัดด้วยระบบฟลูอิไดซ์เบดที่มีการเติมปูนขาวและสารสร้างตะกอนพบว่ามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟอสเฟตสูงขึ้นมีค่าร้อยละ 55.1 และ 68.3 โดยมีประสิทธิภาพในการลดบีโอดีลดลงเหลือร้อยละ 85.3 และ 86. แสดงว่าปูนขาวและสารสร้างตะกอนที่เติมลงไปจะไปเพิ่มประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟอสฟอรัส แต่จะไปทำให้ความสามารถในการลดค่า BOD ของจุลินทรีย์ลดลง

8. ค่าใช้จ่ายในการลดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยสารเคมีในระบบบำบัดทางชีวภาพ

คำนวณที่อัตราการไหลน้ำ 200 ลิตรต่อชั่วโมง ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

ค่าสารเคมี (ปูนขาว)	0.11	บาทต่อวัน
ค่าไฟฟ้า (ปั๊ม)	72.9	บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายทั้งหมดรวม	73.0	บาทต่อวัน

พบว่าค่าใช้จ่ายแต่ละวันประมาณ 73 บาท เป็นค่าที่ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด