บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

4.1 พารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ของน้ำเสีย

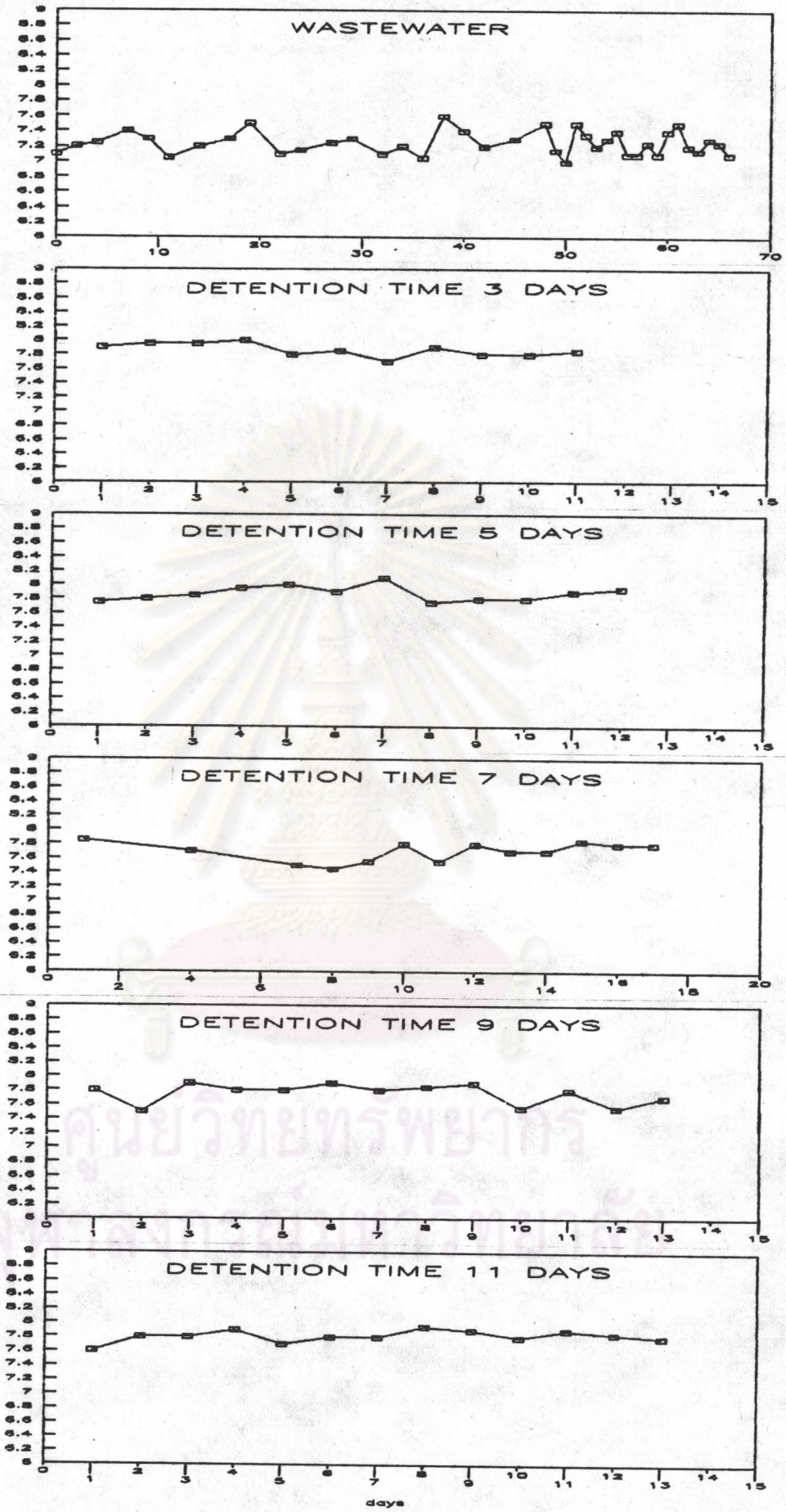
4.1.1 การเริ่มต้นเลี้ยงจุลชีพ

นำหัวเชื้อตะกอน(seed) ที่นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ห้วยขวาง ความเข้มข้นประมาณ 8,000 มก./ล. เติมลงไปในบ่อเติมอากาศ 5 ใบ ที่มีปริมาตร 15,25, 35,45 และ 55 ลิตร ด้วยปริมาณ 1.5,2.5,3.5,4.5 และ 5.5 ลิตร ตามลำดับ แล้วจึงเติมน้ำเสียลงไปในบ่อเติมอากาศด้วยปริมาณ 1.5,2.5,3.5,4.5 และ 5.5 ลิตร ตามลำดับ เติมน้ำเสียในปริมาณดังกล่าวทุกวันจนเต็มบ่อเติมอากาศ หลังจากนั้น จึงเริ่มป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่องด้วยเครื่องสูบน้ำเสียแบบรีดสาย โดยใช้อัตราการป้อนน้ำเสีย 5 ลิตรต่อวัน และเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง รวมเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 67 วัน น้ำเสียที่นำมาทำการทดลองจะเจือจางด้วยน้ำประปา ให้มีความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมดประมาณ 1,000 มก./ล เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ทดลองนำมาจากนิคมอุตสาหกรรมบางปู มีค่าซีโอดีและตะกอนแขวนลอยแปรปรวนมาก จึงจำเป็นที่จะต้องควบคุมค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสีย ให้เท่ากันตลอดการทดลองของการทดลองชุดนี้ น้ำเสียที่ใช้ทดลองมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.2 (อยู่ในช่วง 5.4-7.1) ค่าซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 2600 มก./ล (อยู่ในช่วง 1800-4200 มก./ล) ค่าซีโอดีกรองเฉลี่ยเท่ากับ 1950 มก./ล (อยู่ในช่วง 1500-3400 มก./ล) ค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 300 มก./ล (อยู่ในช่วง 190-360 มก./ล)

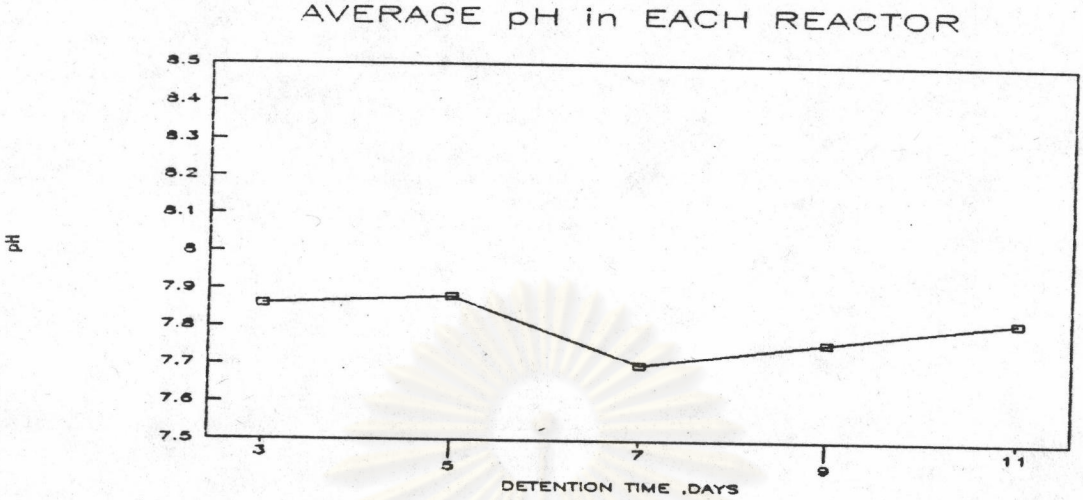
4.1.2 พีเอช

การวัดค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ ทำทันทีหลังจากที่เตรียมน้ำเสียเสร็จ ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบอยู่ในช่วง 7.0-7.6 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.25 ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับพีเอชของน้ำเสียจริงด้วยปูนขาว จนมีค่าพีเอชใกล้เคียง 7.0 ส่วนการวัดค่าพีเอชของน้ำในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ ทำทันทีที่เก็บตัวอย่างน้ำมาจากบ่อเติมอากาศ รูปที่ 4.1 แสดงระดับของพีเอชของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และของน้ำในบ่อเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่ และรูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าพีเอชเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ ของน้ำในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ ซึ่งจากรูปที่ 4.2 พบว่าค่าพีเอชของน้ำในบ่อเติมอากาศแต่ละใบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าพีเอชเฉลี่ยของบ่อเติมอากาศที่มีระยะเวลากักน้ำ 3 วันมีค่าเท่ากับ 7.86 ค่าพีเอชเฉลี่ยของบ่อเติมอากาศที่มีระยะเวลากักน้ำ 5 วัน มีค่าเท่ากับ 7.88 ค่าพีเอชเฉลี่ยของบ่อเติมอากาศที่มีระยะเวลากักน้ำ 7 วันมีค่าเท่ากับ 7.70 ค่าพีเอชเฉลี่ยของบ่อเติมอากาศที่มีระยะเวลากักน้ำ 9 วัน มีค่าเท่ากับ 7.76 และค่าพีเอชเฉลี่ยของบ่อเติมอากาศที่มีระยะเวลากักน้ำ11 วันมีค่าเท่ากับ 7.82

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และระดับพีเอช ในบ่อเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่ในการทดลองชุดที่ 1

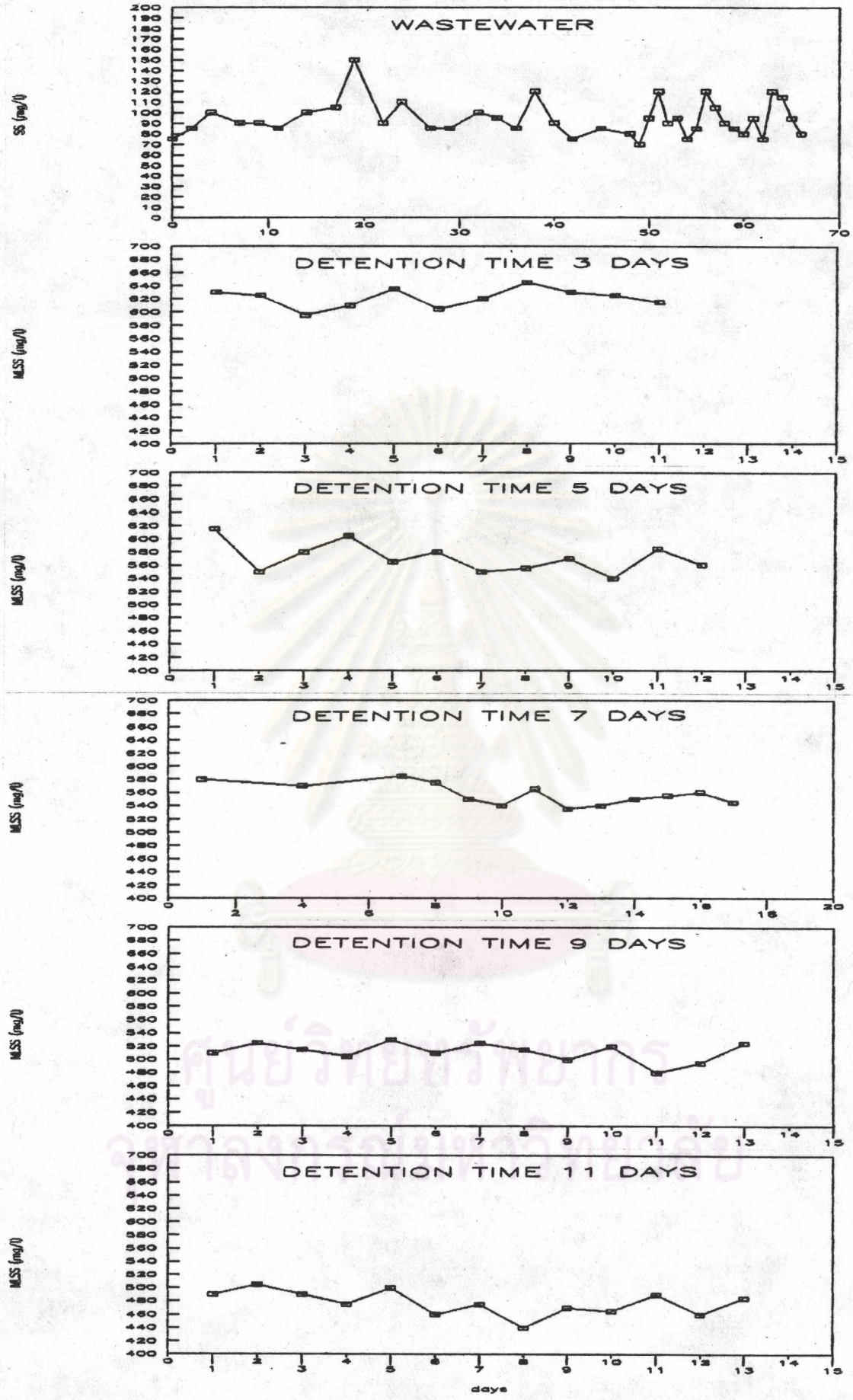


รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าพีเอชเฉลี่ยในบ่อเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่

ค่าพีเอชในบ่อเติมอากาศแต่ละใบมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อาจเนื่องมาจากผลของเติมอาหารเสริมให้แก่แบคทีเรียในรูปของยูเรีย และโปตัสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ซึ่งมีผลในการเพิ่มบัฟเฟอร์ให้กับระบบ

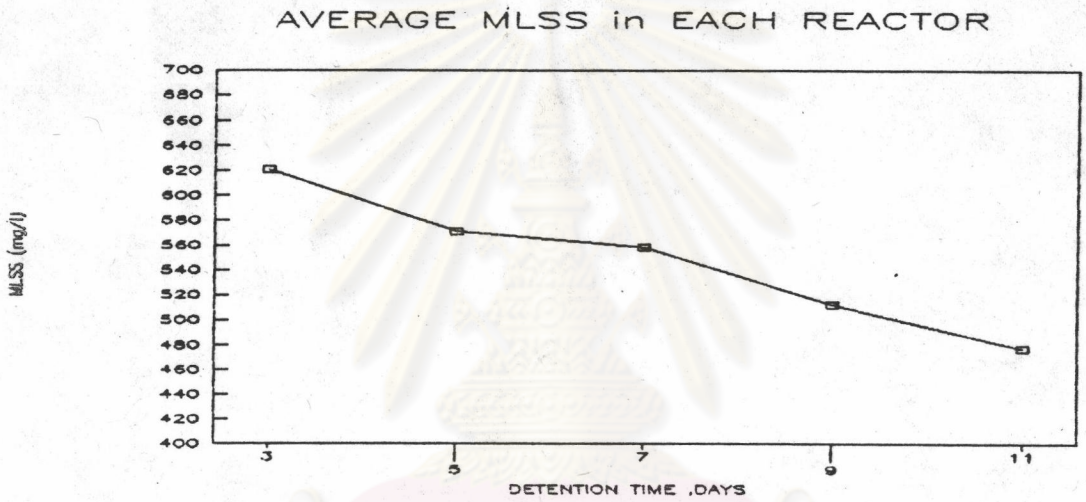
4.1.3 ตะกอนแขวนลอย

รูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบและในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ ในช่วงสภาวะคงที่



รูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และในบ่อเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่ ในการทดลองชุดที่ 1

รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ของบ่อเติมอากาศแต่ละใบ ซึ่งจากรูปพบว่า ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยในบ่อเติมอากาศแต่ละใบที่สภาวะคงที่ ของบ่อเติมอากาศที่มีระยะเวลากักน้ำ 3,5,7,9 และ 11 วัน จะมีค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 621, 571, 558, 512 และ 477 มก./ล ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ของบ่อเติมอากาศแต่ละใบ

ค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในบ่อเติมอากาศที่มีระยะเวลากักน้ำ 3 วัน มีค่าสูงสุดและลดลงตามลำดับเมื่อระยะเวลากักน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยที่ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบต่อปริมาตรบ่อเติมอากาศ (Volumetric Organics Loading) ของบ่อเติมอากาศที่มีระยะเวลากักน้ำ 3,5,7,9 และ 11วัน มีค่าเท่ากับ 0.033,0.02,0.015,0.01 และ 0.009 กก./ม.^{3}-วัน ทำให้แบคทีเรียในบ่อเติมอากาศที่มีระยะเวลากักน้ำ 3 วันได้รับสารอาหารมากกว่าและเกิดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมากขึ้นด้วย

4.1.4 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

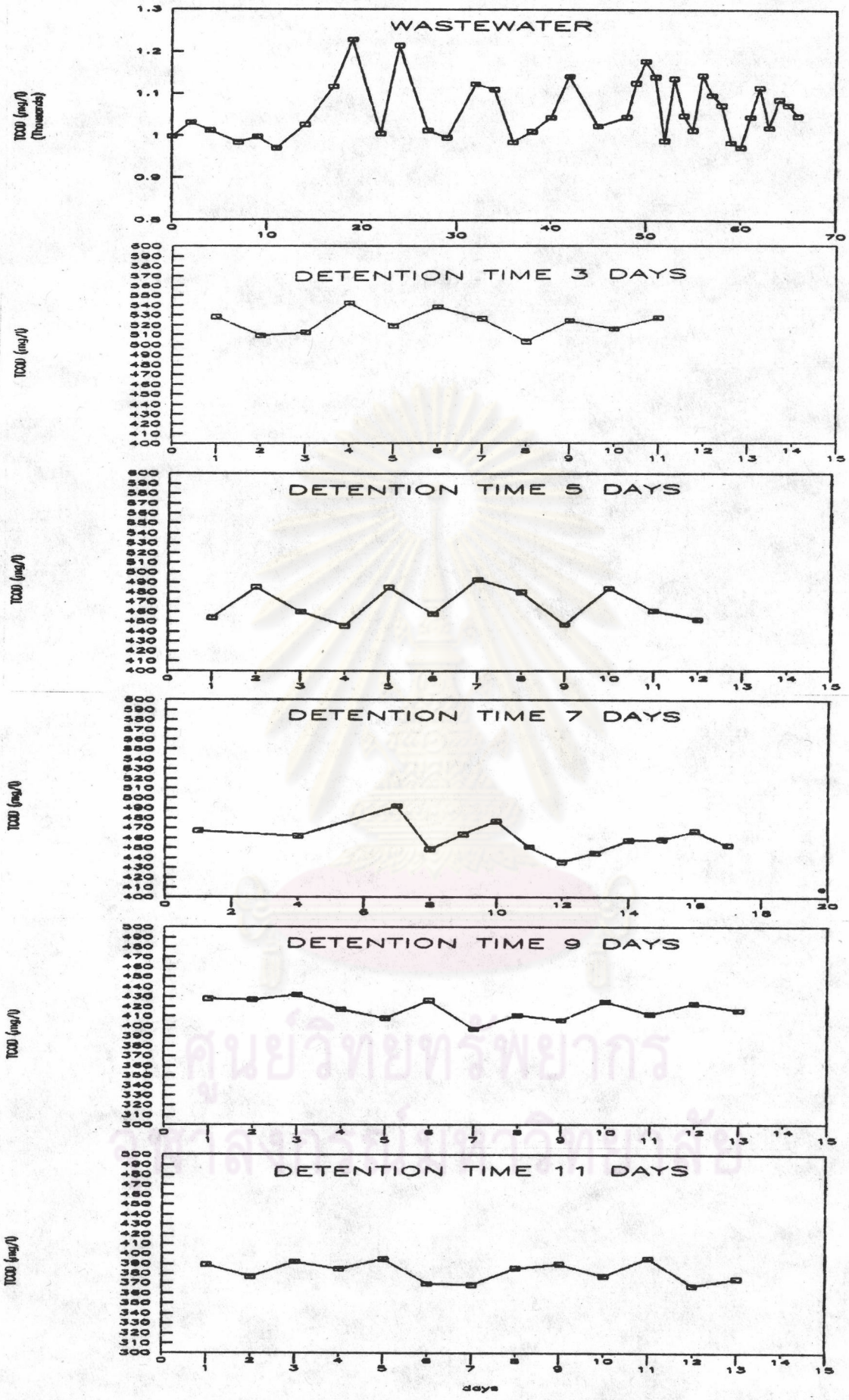
ซีโอดีเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการทดลองตัวหนึ่ง เนื่องจากค่าซีโอดีจะแสดงให้เห็นถึงการลดหลั่นของสารอาหารที่เกิดขึ้นในระบบ และบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย

รูปที่ 4.5 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่นำมาทดลองหลังจากเจือจางแล้ว และปริมาณซีโอดีทั้งหมดในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ ในช่วงสภาวะคงที่

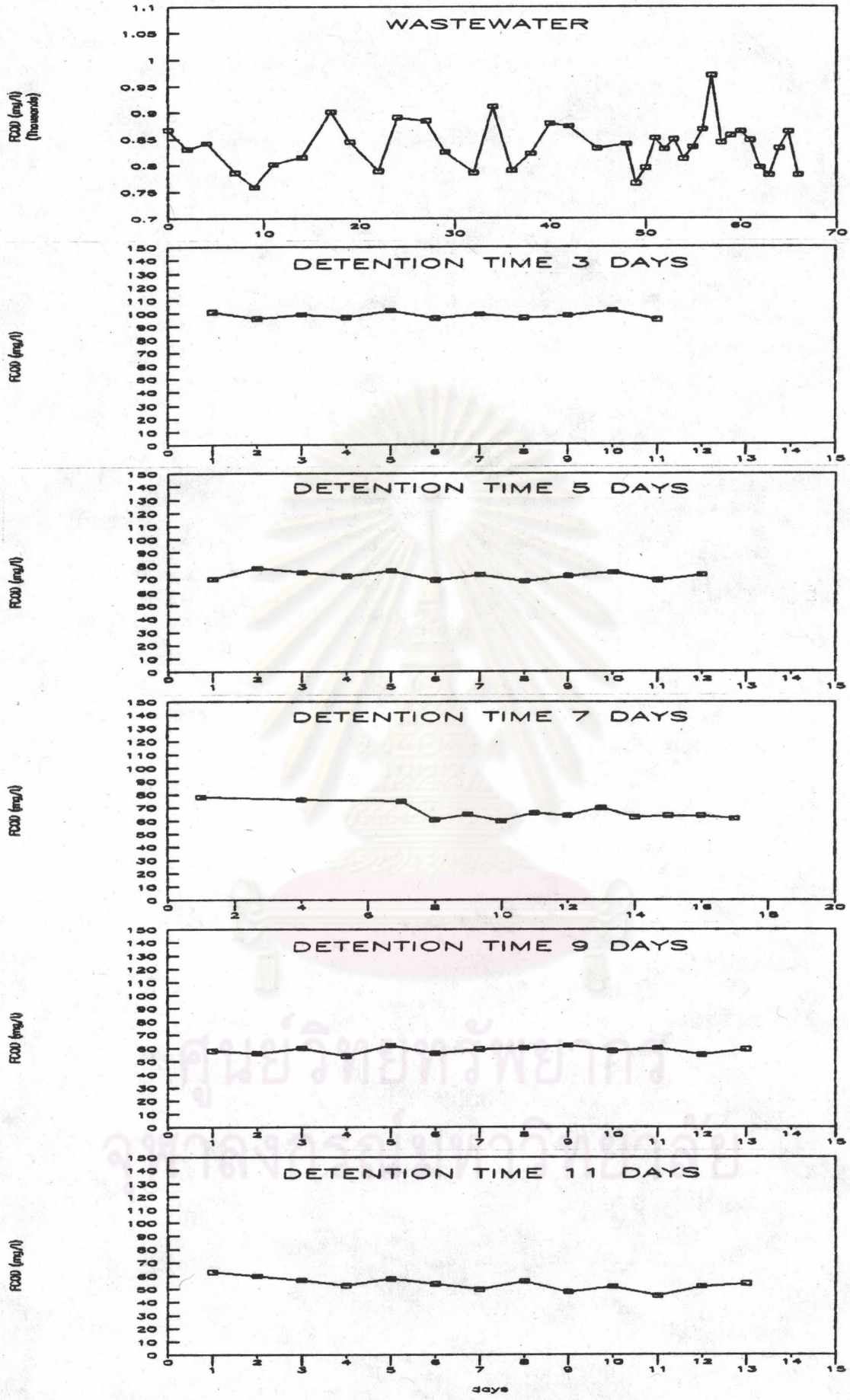
รูปที่ 4.6 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีกรองของน้ำเสียที่นำมาทดลองหลังจากเจือจางแล้วและปริมาณซีโอดีกรองในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ

ผลการทดลองพบว่า เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ค่าเฉลี่ยซีโอดีของน้ำเสียที่นำมาทำการทดลอง มีค่าซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 1061 มก./ล และค่าซีโอดีกรองเฉลี่ยเท่ากับ 836 มก./ล ส่วนค่าซีโอดีในบ่อเติมอากาศที่มีระยะเวลากักน้ำ 3,5,7,9 และ 11 วัน มีค่าเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่เท่ากับ 522,467,460,418 และ 382 มก./ล ตามลำดับ ในรูปของซีโอดีทั้งหมด (ดังแสดงในรูปที่ 4.7) และมีค่าเฉลี่ยของซีโอดีกรองในช่วงสภาวะคงที่เท่ากับ 98,73, 67,58 และ 54 มก./ล ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 4.8) ซึ่งเมื่อนำมาคำนวนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบ่อเติมอากาศแต่ละใบจะเท่ากับ 88,91,92,93 และ 94 % ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 4.9)

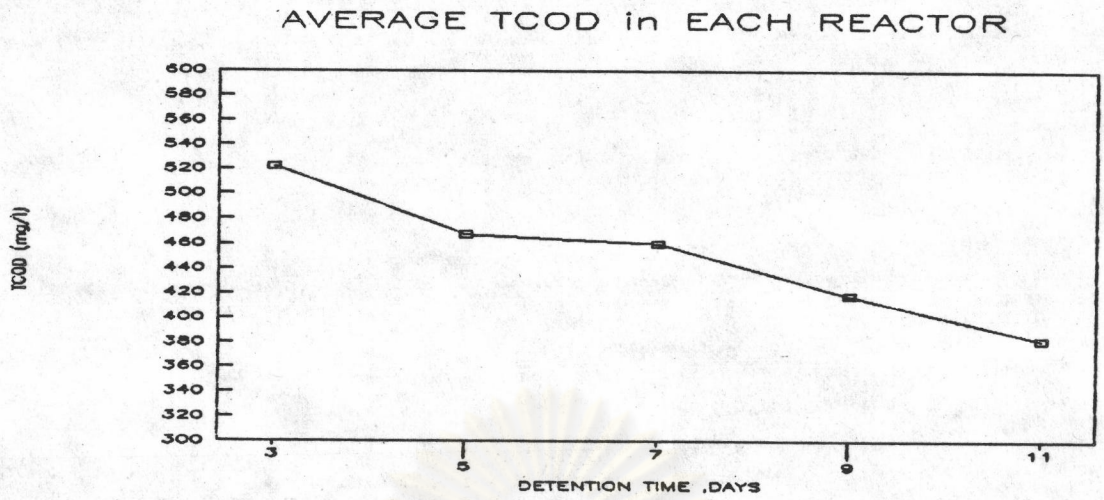
จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลากักน้ำเพิ่มขึ้น แต่ไม่สูงมากนัก อาจเนื่องจากสารอาหารที่เหลือเป็นสารอาหารที่ย่อยสลายได้ยากหรือไม่สามารถย่อยสลายได้ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจึงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย



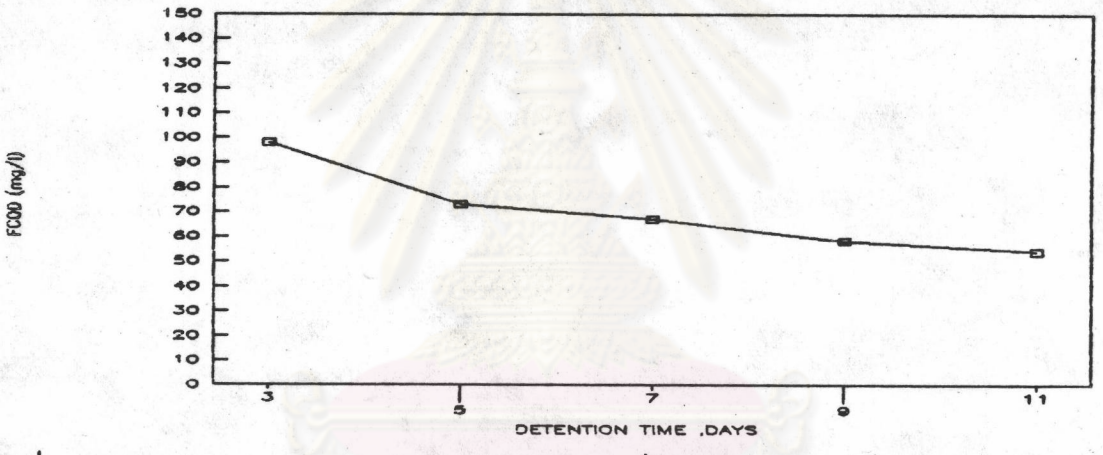
รูปที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบและในบ่อเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่ ในการทดลองชุดที่ 1



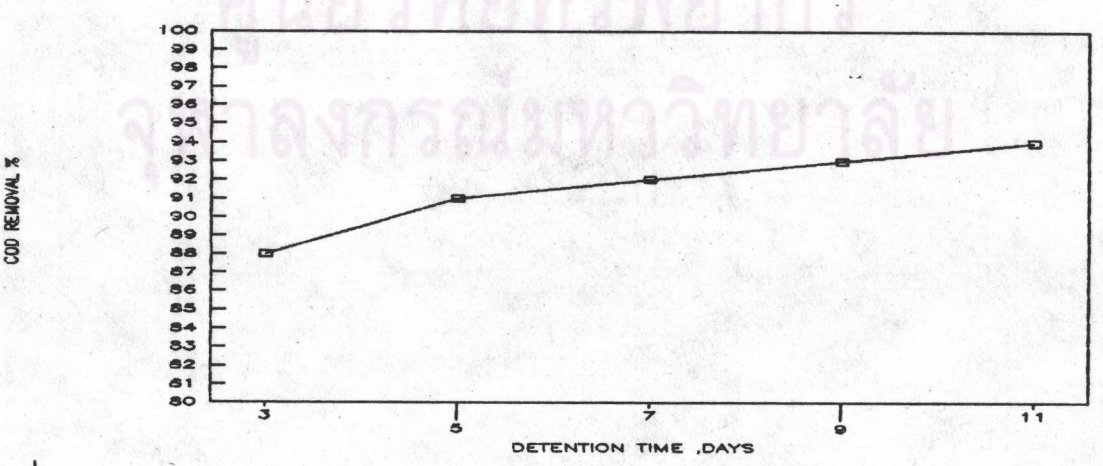
รูปที่ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีกรองของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และในบ่อเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่ ในการทดลองชุดที่ 1



รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ของบ่อเติมอากาศแต่ละใบ



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณซีโอดีกรองเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ของบ่อเติมอากาศแต่ละใบ



รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบ่อเติมอากาศแต่ละใบ

4.1.5 การประเมินพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปเป็นข้อมูลเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ แสดงในตารางที่ 4.1 เพื่อนำไปประเมินหาค่าพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ที่จำเป็นในการออกแบบต่อไป ดังนี้

ตารางที่ 4.1 สรุปข้อมูลเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ในบ่อเติมอากาศที่ระยะเวลากักน้ำต่างๆ

	ซีโอดีทั้งหมด (มก./ล)	ซีโอดีกรอง (มก./ล)	ตะกอนแขวนลอย (มก./ล)
น้ำเสีย	1061	836	94
บ่อเติมอากาศใบที่ 1 (ระยะเวลากักน้ำ 3 วัน)	522	98	621
บ่อเติมอากาศใบที่ 2 (ระยะเวลากักน้ำ 5 วัน)	467	73	571
บ่อเติมอากาศใบที่ 3 (ระยะเวลากักน้ำ 7 วัน)	460	67	558
บ่อเติมอากาศใบที่ 4 (ระยะเวลากักน้ำ 9 วัน)	418	58	512
บ่อเติมอากาศใบที่ 5 (ระยะเวลากักน้ำ 11 วัน)	382	54	477

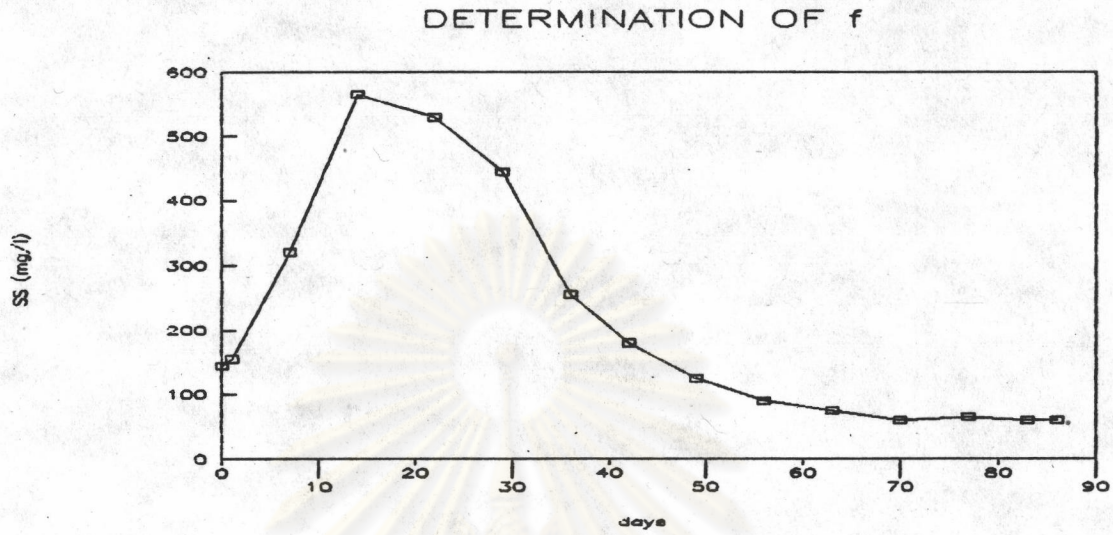
ค่าพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ ซึ่งได้แก่ ค่า μ_m , k_s , σ และ b สามารถหาได้จากข้อมูลที่ทำการทดลองได้ตามตารางที่ 4.1 นำมาประเมินพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์โดยวิธีกราฟได้ดังต่อไปนี้

4.1.5.1 <u>การหาค่า f และ f'</u>

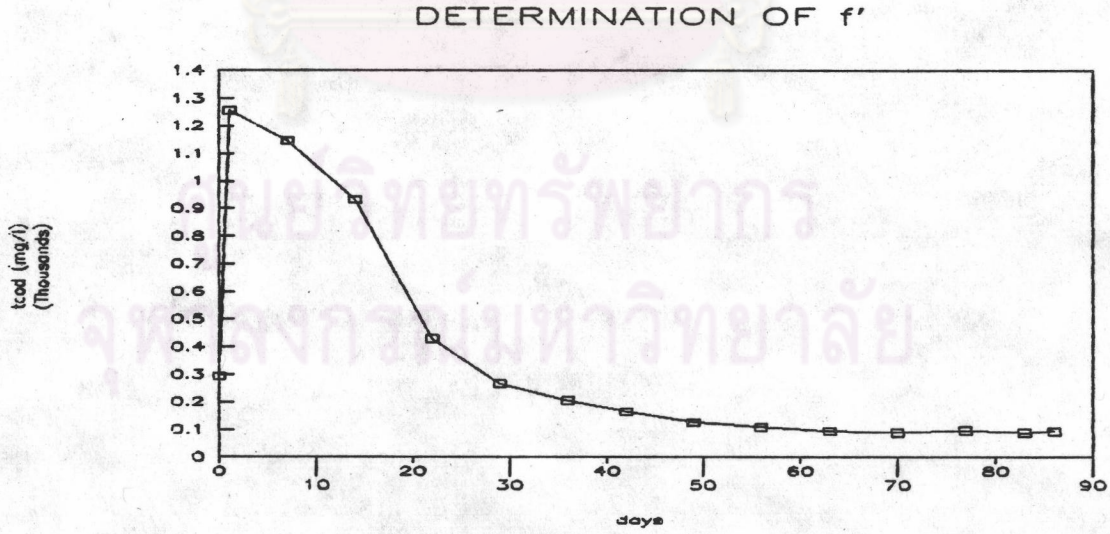
ค่า f คือ อัตราส่วนของตะกอนเฉื่อยต่อตะกอนแขวนลอยของน้ำเสีย ซึ่งหาได้จากการทดลองแบบทีละเท(Batch)ดังรูปที่ 4.10(ข้อมูลแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณตะกอนแขวนลอย ของการทดลองเพื่อหาค่า f แสดงในตาราง ก.12 ในภาคผนวก ก.)

ค่า f' คือ อัตราส่วนของค่าซีโอดีของตะกอนเฉื่อยต่อค่าซีโอดีของตะกอนแขวนลอยของน้ำเสีย ซึ่งหาได้จากการทดลองแบบทีละเท(Batch) ดังรูปที่ 4.11(ข้อมูลแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซีโอดี ของการทดลองเพื่อหาค่า f' แสดงในตาราง ก.12 ในภาคผนวก ก.) ซึ่งจากรูปที่ 4.10 และ 4.11 คำนวณหาค่า f และ f'ได้เท่ากับ 0.41 และ0.32 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณตะกอนแขวนลอยในการทดลองหาค่า f ของน้ำเสียที่ใช้ทำการทดลอง



รูปที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซีโอดีทั้งหมดในการทดลองหาค่า f' ของน้ำเสียที่ใช้ทำการทดลอง

4.1.5.2 การหาค่าซีโอดีที่ไม่ย่อยสลาย(C_i)

จากตารางที่ 4.1 นำค่าที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าอัตราการกำจัดสารอาหารจำเพาะ(q')ของแบคทีเรียในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ ตามตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงการหาอัตราการกำจัดสารอาหารจำเพาะ(q')

τ (Days)	T_o (mg/l)	C_o (mg/l)	Z_o (mg/l)	C (mg/l)	F (l/day)	V (l)	M (mg/l)	q'
3	1061	836	94	98	5	15	621	0.42
5	1061	836	94	73	5	25	571	0.26
7	1061	836	94	67	5	35	558	0.19
9	1061	836	94	58	5	45	512	0.16
11	1061	836	94	54	5	55	477	0.14

โดยที่ τ = ระยะเวลากักน้ำ(วัน)

T_o = ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสีย(มก./ล)

C_o = ค่าซีโอดีกรองของน้ำเสีย(มก./ล)

C = ค่าซีโอดีกรองของน้ำในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ(มก./ล)

F = ค่าอัตราการป้อนน้ำเสีย(ลิตร/วัน)

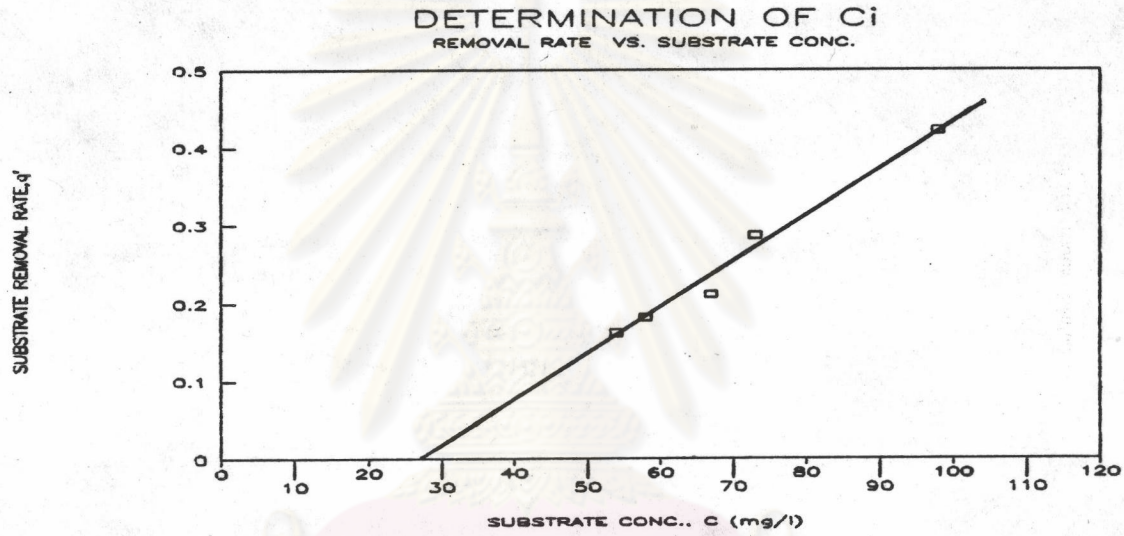
V = ปริมาตรของบ่อเติมอากาศ(ลิตร)

M = ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย(มก./ล)

(รายละเอียดตัวอย่างการคำนวณค่า q'ดูในภาคผนวก ข.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

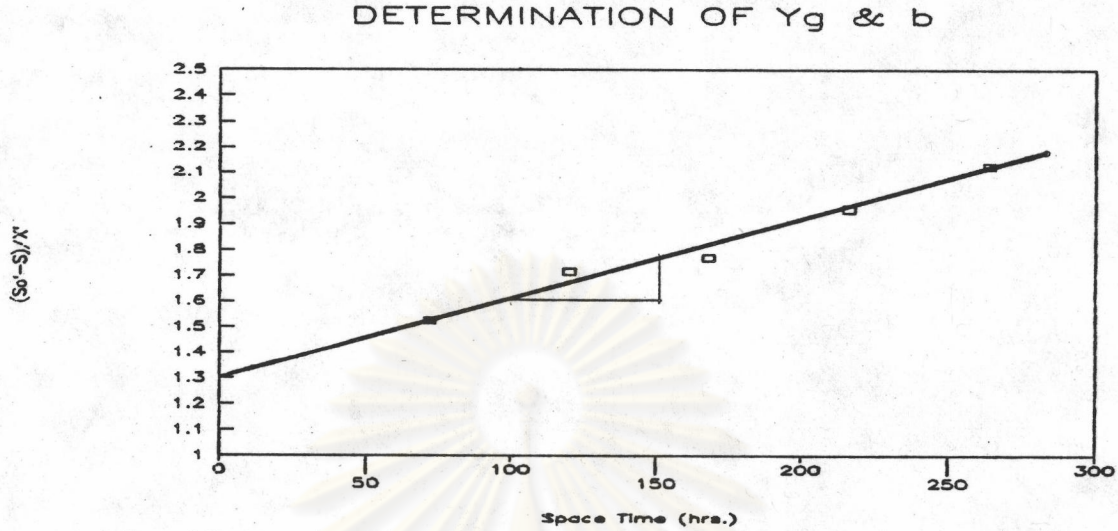
จากตารางที่ 4.2 นำค่า q' และ C มาหาความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.12ซึ่งจุดตัดบนแกนนอน แสดงค่า ซีโอดีของสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้(C_i)ซึ่งละลายอยู่ในน้ำเสีย ค่าC_iที่ได้จากรูปที่ 4.12 มีค่าเท่ากับ 27 มก./ล ซึ่งต้องนำไปหักออกจากค่าซีโอดีที่หาได้ เพื่อจะได้ทราบว่า ในน้ำเสียและในบ่อเติมอากาศมีปริมาณสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นสารอาหารที่แบคทีเรียย่อยสลายได้อยู่เท่าใด



รูปที่ 4.12 แสดงการหาค่า C_i ที่ได้จากการทดลอง

4.1.5.3 <u>การหาค่า Y_g และ b</u>

เมื่อทราบค่า C_i,f และ f' แล้ว จึงนำค่าเหล่านี้ไปคำนวณค่าความเข้มข้นประสิทธิผลของสารละลายอาหารในน้ำเข้า (S_o') ความเข้มข้นประสิทธิผลของแบคทีเรีย (X') และความเข้มข้นของสารอาหารที่เหลืออยู่ในบ่อเติมอากาศ(S) เพื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง (S_o'-S)/X' และ ระยะเวลากักน้ำ ($\bar{\theta}$) ดังรูปที่ 4.13 (รายละเอียดตัวอย่างการคำนวณค่า (S_o'-S)/X' ดูในภาคผนวก ข.)



รูปที่ 4.13 แสดงการหาค่า Y_g และ ค่า b ที่ได้จากการทดลอง

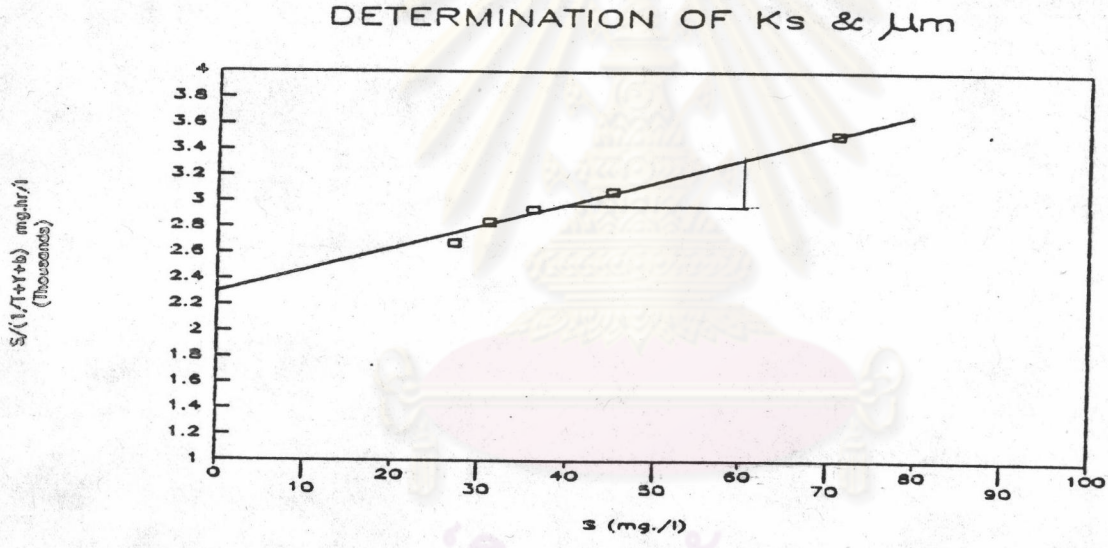
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า(So'-S)/X กับค่าระยะเวลากักน้ำ จุดตัดบนแกนตั้งเป็นค่า $1/Y_g$ ซึ่งจากรูปที่ 4.13 มีค่าเท่ากับ 1.30 ดังนั้นค่าY_gจะเท่ากับ 0.7692 และได้ค่าความลาดเอียงเท่ากับ 0.003 ซึ่งเป็นค่าของ b/Y_g ดังนั้นค่า b จะเท่ากับ 0.0023 ชม$^{-1}$

4.1.5.4 <u>การหาค่า ซ</u>

ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการตายจำเพาะของแบคทีเรีย(ซ) ไม่สามารถหาได้ เนื่องจากข้อจำกัดในด้านวิธีการและอุปกรณ์ในการหาความเข้มข้นของแบคทีเรียที่มีชีวิต(X_v) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงสมมุติค่า ซ เท่ากับ 0.004 ชม.$^{-1}$ (Grady and Roper, 1974 กล่าวว่า ค่า ซ ควรมีค่าน้อยกว่า 0.005 ชม.$^{-1}$ Benefield และคณะ,1980 ทำการทดลองหา ซ ของน้ำเสียจากบ้านเรือน มีค่าประมาณ 0.003 ชม.$^{-1}$)

4.1.5.5 การหาค่า K_s และ μ_m

ค่า K_s และ μ_m หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอาหารละลาย(S) กับค่า S/(1/T+σ+b) ดังรูปที่ 4.14 (รายละเอียดตัวอย่างการคำนวณค่า S/(1/T+σ+b)ดูในภาคผนวก ข.) จากรูปได้ค่าความลาดเอียงของเส้นกราฟเท่ากับ 17.05 ซึ่งเป็นค่าของ $1/\mu_m$ ดังนั้นค่า μ_m จึงมีค่าเท่ากับ 0.059 ชม$^{-1}$ และจุดตัดบนแกนตั้งเป็นค่าของ K_s/μ_m ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2300 ดังนั้นค่า K_s จะมีค่าเท่ากับ 135.70 มก./ล



รูปที่ 4.14 แสดงการหาค่า K_s และค่า μ_m ที่ได้จากการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การเปรียบเทียบผลการทำงานของระบบบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมในการบำบัดน้ำเสียจริง กับผลที่ได้จากการทำนายด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์

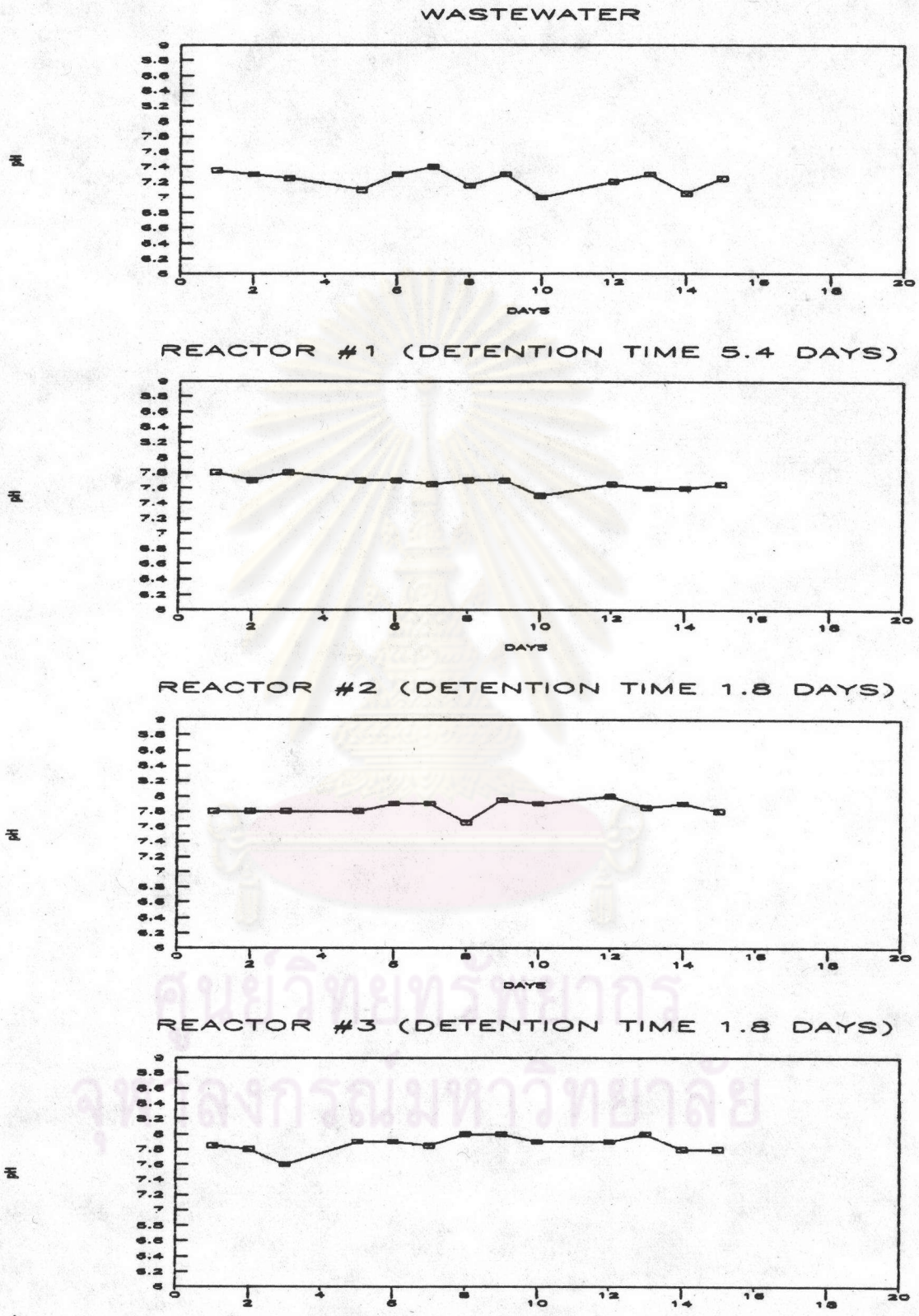
การบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรม บางปู ด้วยระบบบ่อเติมอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์แบบอนุกรม 3 บ่อ โดยบ่อเติมอากาศใบแรก มีปริมาตรเท่ากับ 54 ลิตร บ่อเติมอากาศใบที่สองและใบที่สาม มีปริมาตรบ่อละ 18 ลิตร ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบที่บ่อเติมอากาศใบแรกจุดเดียวด้วยอัตราการไหล 10 ลิตร/วัน ระยะเวลากักน้ำรวมของระบบบ่อเติมอากาศนี้จึงเท่ากับ 9 วัน น้ำเสียที่นำมาทดลองในการทดลองชุดนี้ มีค่าซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 2007 มก./ล ค่าซีโอดีกรองเฉลี่ยเท่ากับ 1581 มก./ล ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 522 มก./ล และค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.23

4.2.1 การเริ่มต้นเลี้ยงจุลชีพ

การทดลองเริ่มต้นด้วยการนำหัวเชื้อตะกอน(seed) เติมลงไปในบ่อเติมอากาศใบแรกด้วยปริมาณ5.4 ลิตรแล้วจึงเติมน้ำเสียลงไปในบ่อเติมอากาศด้วยปริมาณ 5.4 ลิตร ทำการเติมน้ำเสียในปริมาณดังกล่าวทุกวันจนเต็มบ่อเติมอากาศใบแรก หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่องด้วยเครื่องสูบน้ำเสียแบบรีดสาย โดยมีอัตราการป้อนน้ำเสีย 10 ลิตรต่อวัน เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง รวมเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 57 วัน

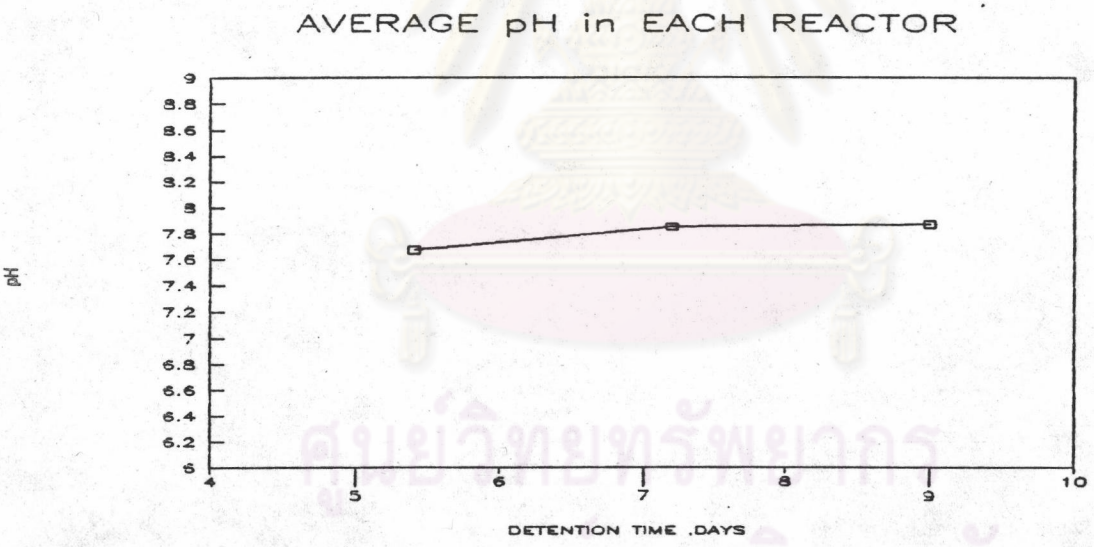
4.2.2 พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ วัดทันทีหลังจากที่เตรียมน้ำเสียเสร็จ ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ทดลองจะอยู่ในช่วง 7.0-7.4 จึงไม่ต้องปรับค่าพีเอช ส่วนการวัดค่าพีเอชของน้ำในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ จะวัดทันทีที่เก็บตัวอย่างน้ำมาจากบ่อเติมอากาศ



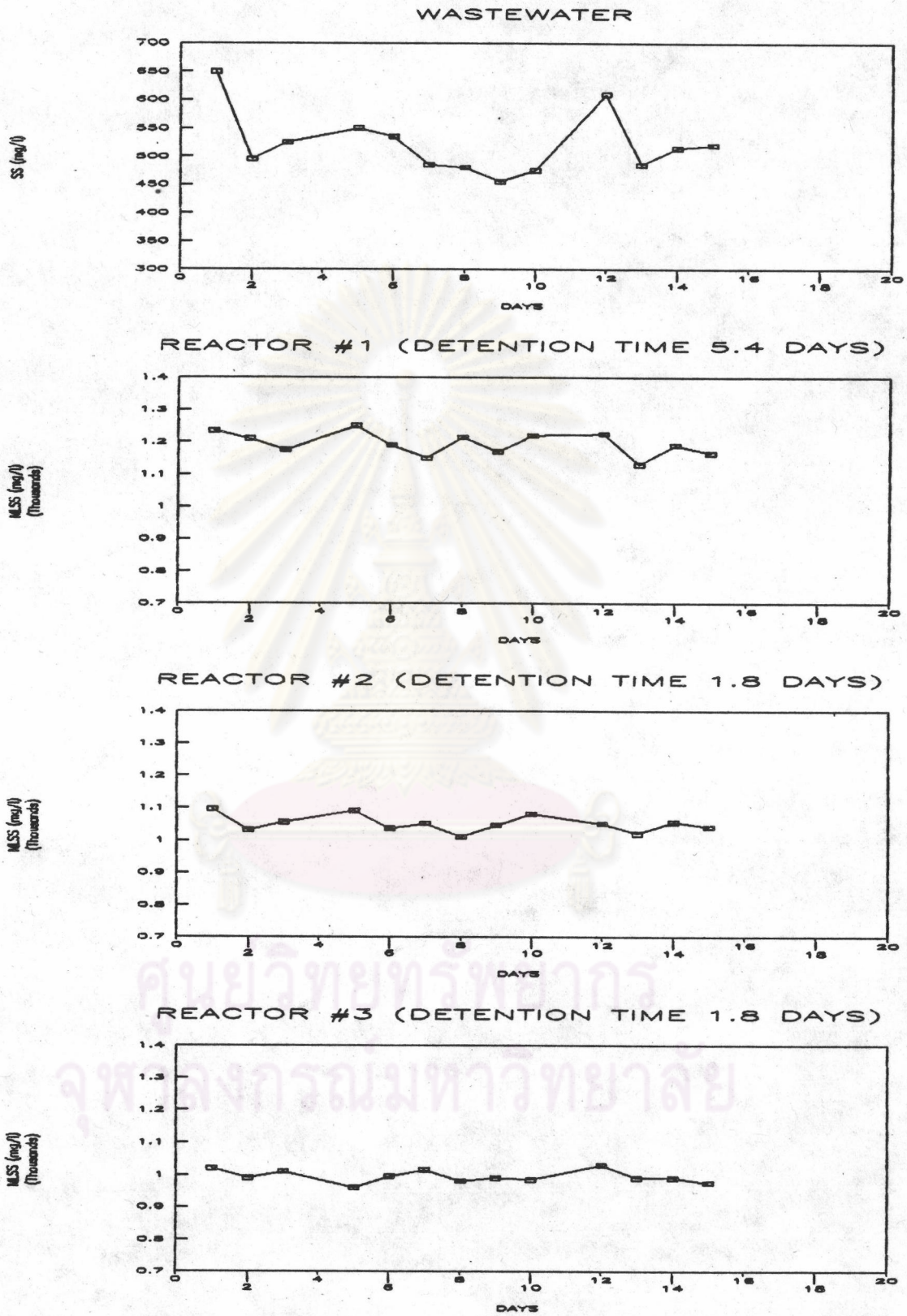
รูปที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชในช่วงสภาวะคงที่ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ ในการทดลองชุดที่ 2

รูปที่ 4.15 แสดงระดับของพีเอชในน้ำเสียที่นำมาทำการทดลองและของน้ำในบ่อเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่ และรูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าพีเอชเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ของน้ำในบ่อเติมอากาศอนุกรมแต่ละใบ พบว่าใบที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.65 ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำในบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมใบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 7.87 และค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำในบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมใบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 7.91 จะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของพีเอชในบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมแต่ละใบจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากในการทดลองได้ใช้โปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) และยูเรียเป็นอาหารเสริมให้แก่แบคทีเรีย ซึ่งเป็นการเพิ่มบัฟเฟอร์ให้กับระบบทำให้ระดับพีเอชในบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมแต่ละใบไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก



รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าพีเอชเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ของน้ำในบ่อเติมอากาศอนุกรมแต่ละใบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

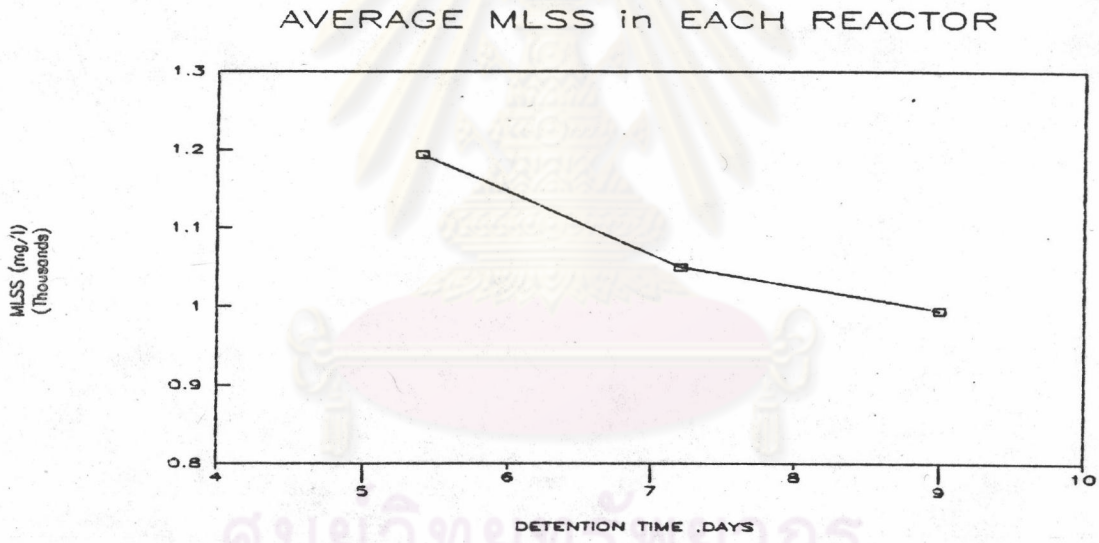


รูปที่ 4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนแขวนลอยในช่วงสภาวะคงที่ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบและในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ ในการทดลองชุดที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 ตะกอนแขวนลอย

รูปที่ 4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียและในบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่ และรูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ในบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมแต่ละใบ พบว่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในบ่อเติมอากาศแต่ละใบเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่จะมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1194 ,1050 และ 995 มก./ล ในบ่อเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ในบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมแต่ละใบ

จากรูปที่ 4.18 พบว่าค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย ในบ่อเติมอากาศใบที่ 1 (ระยะเวลากักน้ำ 5.4 วัน)จะมีค่ามากที่สุด และจะลดลงตามลำดับในบ่อที่ 2 (ระยะเวลากักน้ำ 1.8 วัน)และบ่อที่ 3 (ระยะเวลากักน้ำ 1.8 วัน)เนื่องจากปริมาณสารอาหารที่เข้าสู่ระบบบ่อเติมอากาศ ส่วนที่เป็นสารอาหารที่ย่อยสลายง่ายส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นอาหารของแบคทีเรียในบ่อ

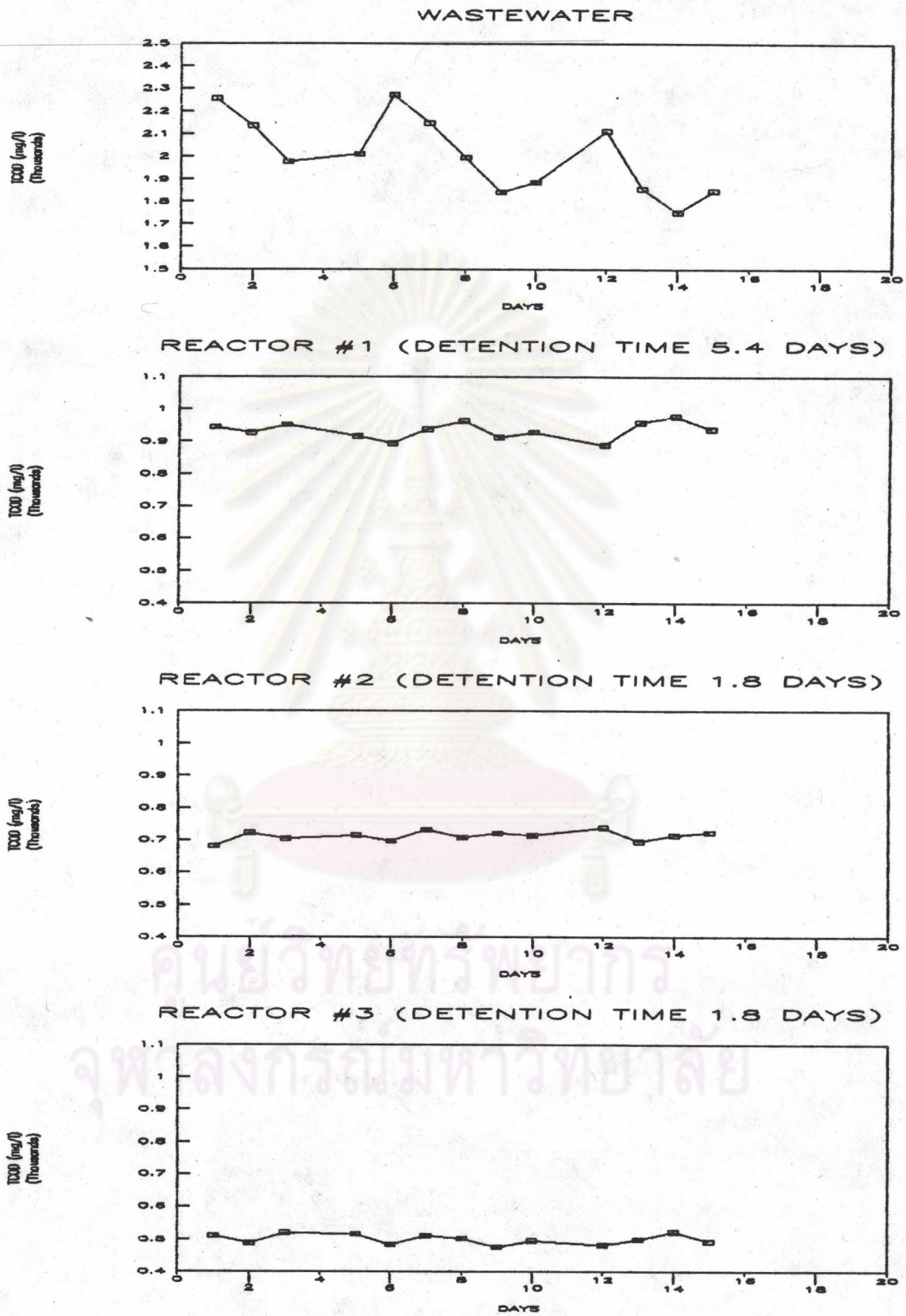
เติมอากาศใบแรก ดังนั้น สารอาหารที่เข้าสู่บ่อเติมอากาศใบที่ 2 และ 3 จึงเหลือน้อยลงและเป็นสารอาหารที่ย่อยสลายได้ยากตามลำดับ มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในบ่อที่ 2 และ 3 ลดลงตามลำดับด้วย ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจึงมีค่าลดหลั่นกันลงมา

4.2.4 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

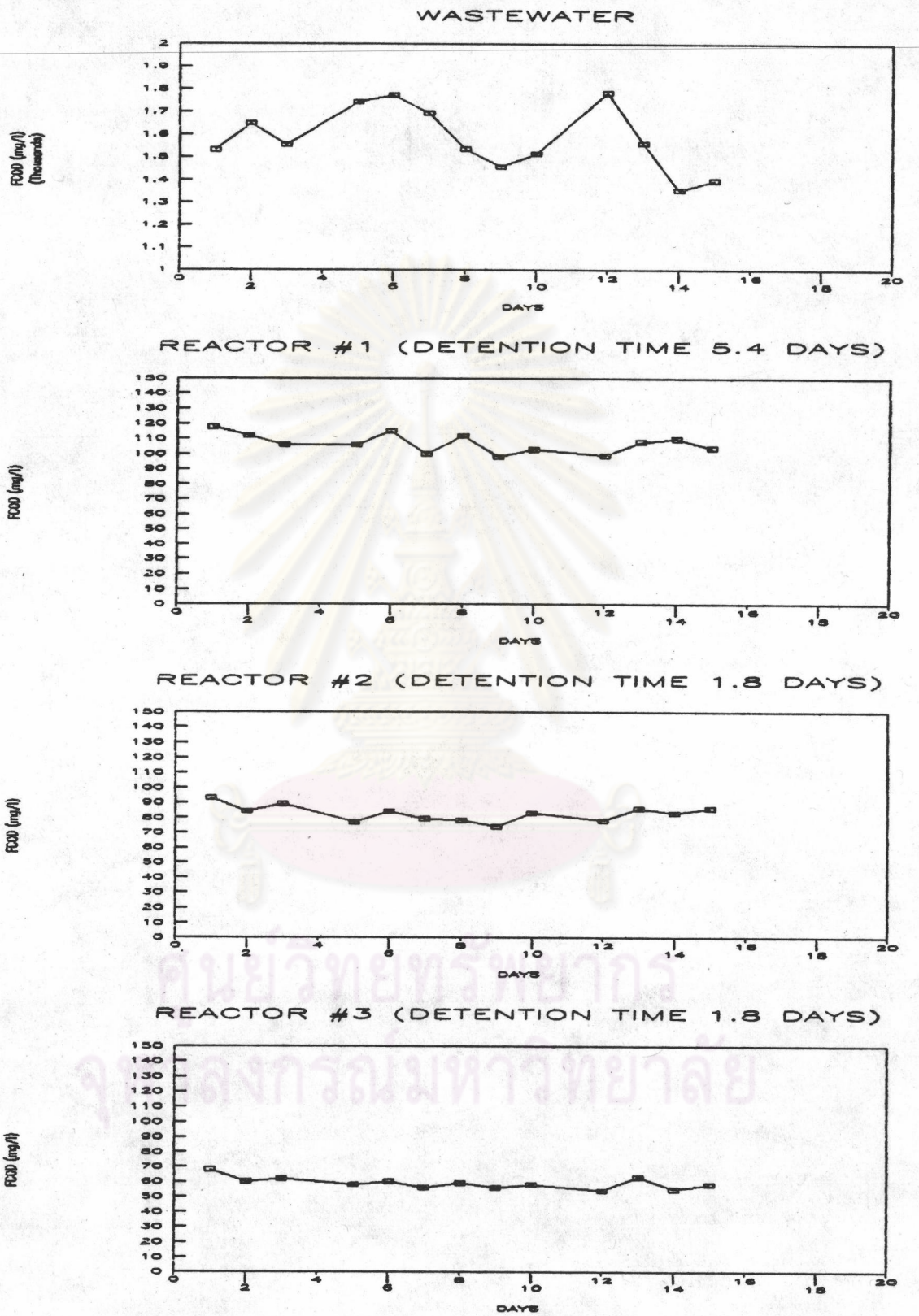
รูปที่ 4.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่นำมาทดลองและของน้ำในบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมแต่ละใบ

รูปที่ 4.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีกรองของน้ำเสียที่นำมาทดลองและของน้ำในบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมแต่ละใบ

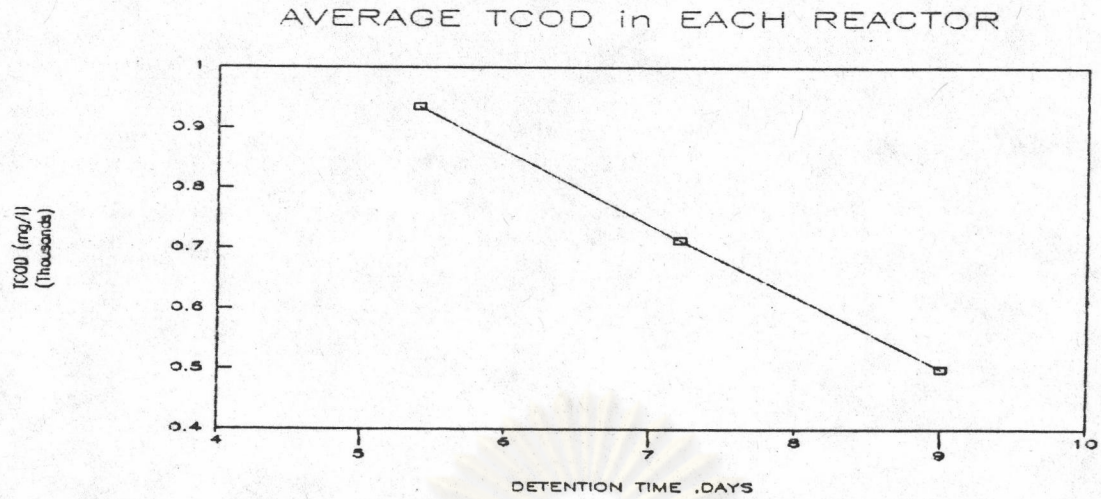
ผลการทดลองพบว่า เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ค่าเฉลี่ยของซีโอดีของน้ำเสียที่นำมาทำการทดลอง มีค่าซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 2007 มก./ล และ ค่าซีโอดีกรองเฉลี่ยเท่ากับ 1581 มก./ล ปริมาณซีโอดีทั้งหมดที่เหลืออยู่ในบ่อเติมอากาศใบแรกเฉลี่ยเท่ากับ 934 มก./ล ปริมาณซีโอดีทั้งหมดที่เหลืออยู่ในบ่อเติมอากาศใบที่ 2 เฉลี่ยเท่ากับ 713 มก./ล และปริมาณซีโอดีทั้งหมดที่เหลืออยู่ในบ่อเติมอากาศใบที่ 3 เฉลี่ยเท่ากับ 500 มก./ล(ดังแสดงในรูปที่4.21) และปริมาณซีโอดีกรองที่เหลืออยู่ในบ่อเติมอากาศใบแรกเฉลี่ยเท่ากับ 107 มก./ล ปริมาณซีโอดีกรองที่เหลืออยู่ในบ่อเติมอากาศใบที่ 2 เฉลี่ยเท่ากับ 83 มก./ล และปริมาณซีโอดีกรองที่เหลืออยู่ในบ่อเติมอากาศใบที่ 3 เฉลี่ยเท่ากับ 59 มก./ล (ดังแสดงในรูปที่ 4.22) ซึ่งเมื่อนำมาคำนวนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบ่อเติมอากาศแต่ละใบได้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบ่อเติมอากาศใบที่ 1 เท่ากับ 93.23% ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบ่อเติมอากาศใบที่ 2 เท่ากับ 94.75% และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบ่อเติมอากาศใบที่สามเท่ากับ 96.27% (ดังแสดงในรูปที่ 4.23)



รูปที่ 4.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีทั้งหมดในช่วงสภาวะคงที่ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบและในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ ในการทดลองชุดที่ 2

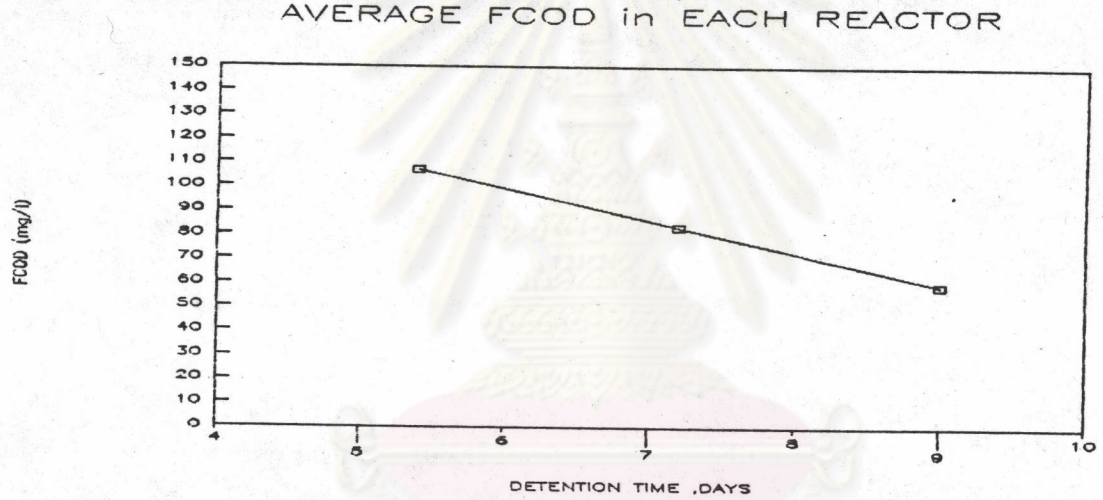


รูปที่ 4.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีโอดีกรองในช่วงสภาวะคงที่ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบและในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ ในการทดลองชุดที่ 2



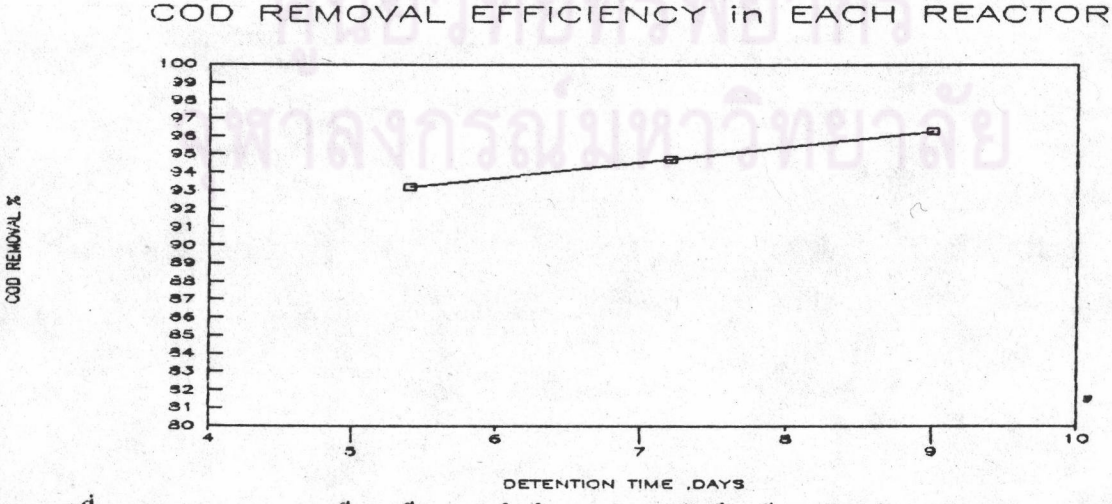
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณซีโอดีทั้งหมดเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่

ในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ ในการทดลองชุดที่ 2



รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณซีโอดีกรองเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่

ในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ ในการทดลองชุดที่ 2



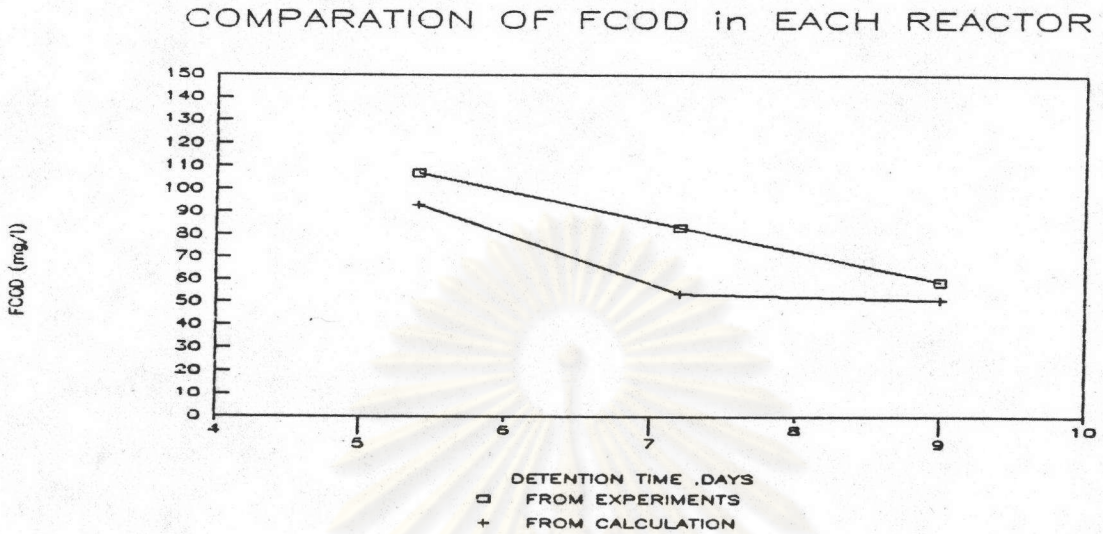
รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบ่อเติมอากาศแต่ละใบ

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามลำดับแสดงให้เห็นว่า สารละลายอาหารที่เข้ามาในระบบถูกย่อยสลายไปเกือบหมดในบ่อเติมอากาศใบที่ 1 เนื่องจากระยะเวลากักน้ำในบ่อเติมอากาศใบที่ 1 มีเวลานานพอเพียงที่แบคทีเรียจะใช้สารละลายอาหารและเจริญเติบโตได้ทัน ดังนั้นบ่อเติมอากาศใบที่ 2 และ 3 จึงถูกใช้ในการกำจัดสารอาหารที่อยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอยในน้ำเป็นส่วนใหญ่

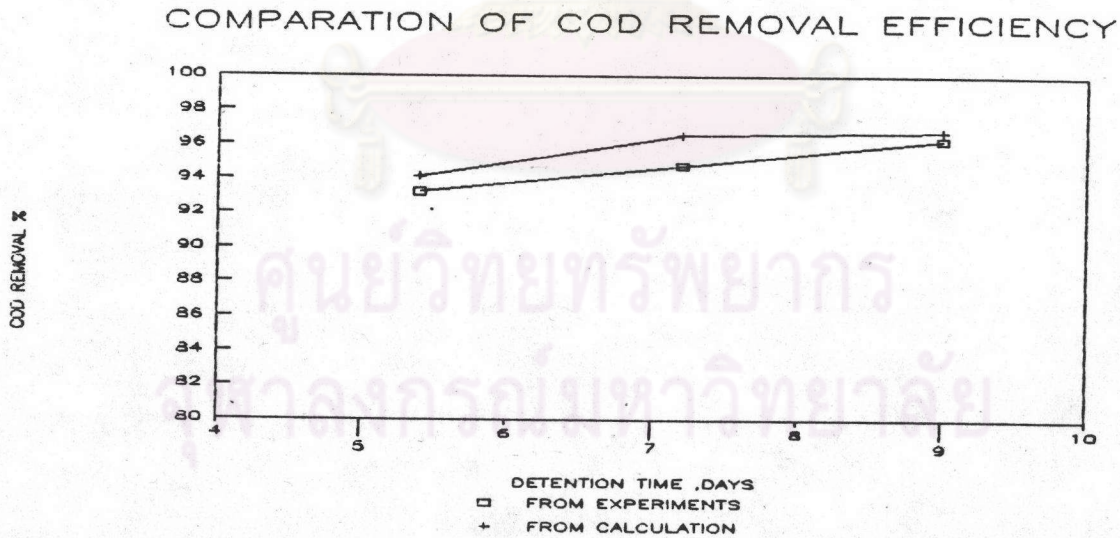
4.2.5 <u>การเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากการทำนายด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์</u>

ผลการทำงานของระบบบ่อเติมอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์แบบอนุกรมที่ได้จากการทดลองบำบัดน้ำเสียจริง สามารถเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ ในรูปของสารอาหารที่เหลืออยู่และความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ พบว่า ผลจากการทำนายด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ ปริมาณสารอาหารที่เหลืออยู่ (ในรูปของซีโอดีกรอง)ในบ่อเติมอากาศใบแรกเท่ากับ 93 มก./ล ในบ่อเติมอากาศใบที่ 2 เท่ากับ 54 มก./ล และในบ่อเติมอากาศใบที่ 3 เท่ากับ 51 มก./ล ส่วนผลจากการทดลองพบว่าปริมาณสารอาหารที่เหลืออยู่(ในรูปของซีโอดีกรอง)ในบ่อเติมอากาศใบแรกเฉลี่ยเท่ากับ 107 มก./ล ในบ่อเติมอากาศใบที่ 2 เฉลี่ยเท่ากับ 83 มก./ล และในบ่อเติมอากาศใบที่ 3 เฉลี่ยเท่ากับ 59 มก./ล การเปรียบเทียบปริมาณซีโอดีกรองที่เหลืออยู่ในบ่อเติมอากาศแต่ละใบซึ่งได้จากการทำนายด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์และจากการทดลองแสดงในรูปที่ 4.24

จากรูปที่ 4.24 เมื่อเปรียบเทียบค่าซีโอดีกรองที่ได้จากการทดลองและจากการทำนายพบว่า มีค่าแตกต่างกันไม่มาก และเมื่อเปรียบเทียบในเทอมของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละถัง จะได้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณซีโอดีกรองที่เหลืออยู่ในบ่อเติมอากาศจากการทดลอง และจากการทำนายด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์



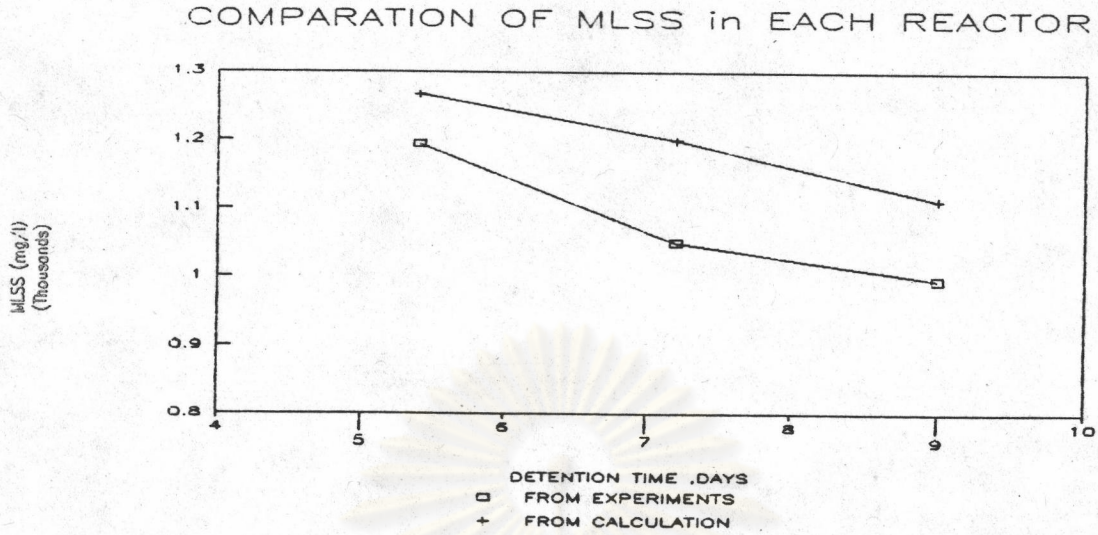
รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากการทดลองและจากการทำนายด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ในบ่อเติมอากาศแต่ละใบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าซีโอดีกรองที่ได้จากการทดลอง มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์เล็กน้อย ซึ่งค่าที่ได้จากการทำนายด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ มาจากสมการที่คำนวณหาปริมาณสารอาหารละลาย(S)แล้วนำมารวมกับสารละลายเฉื่อย(C_i)เป็นค่าซีโอดีกรอง ซึ่งค่า C_i นี้ได้ทำการปรับค่าโดยใช้ค่า C_i ที่หาได้จากการทดลองชุดที่ 1 คูณด้วยอัตราส่วนของซีโอดีกรองจากการทดลองชุดที่ 1และชุดที่2 ค่า C_iใหม่นี้จะเท่ากับ 51 มก./ล อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะปรับแก้ค่า C_iใหม่แล้วก็ตาม ค่าที่ได้จากการทำนายก็ยังต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองอยู่ ซึ่งอาจเนื่องจากน้ำเสียจากการทดลองชุดที่ 2 มีปริมาณสารละลายเฉื่อยสูงกว่าน้ำเสียที่ใช้ในการทดองชุดที่ 1

การเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในบ่อเติมอากาศแต่ละใบที่ได้จากการทำนายด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์และจากการทดลองแสดงในรูปที่ 4.26 พบว่าจากการทำนายด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ ปริมาณตะกอนแขวนลอยในบ่อเติมอากาศใบแรก มีค่าเท่ากับ 1267 มก./ล ในบ่อเติมอากาศใบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 1200 มก./ล และในบ่อเติมอากาศใบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1112 มก./ล ส่วนผลจากการทดลองพบว่า ปริมาณตะกอนแขวนลอยในบ่อเติมอากาศใบแรกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1194 มก./ล ในบ่อเติมอากาศใบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1050 มก./ล และในบ่อเติมอากาศใบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 995 มก./ล (รายละเอียดแสดงการคำนวณผลที่ทำนายด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ แสดงในภาคผนวก ข.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนแขวนลอยในบ่อเติมอากาศจากการทดลอง และจากการทำนายด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์

จากรูปที่ 4.26 พบว่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในบ่อเติมอากาศใบที่ 1 , 2 และ 3 ที่หาได้จากการทดลอง มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ โดยมีความแตกต่างกันในแต่ละบ่อเท่ากับ 5.76 ,12.50 และ 10.52% ตามลำดับ ซึ่งเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่สาเหตุที่ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าอาจเนื่องจากปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำเสียเข้า(M_o)ที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 2 มีปริมาณมากกว่าในการทดลองชุดที่ 1(เทียบสัดส่วนต่อปริมาณซีโอดีทั้งหมดในน้ำเสียเข้า) ดังนั้น ปริมาณตะกอนเฉื่อย(Z_i)ในน้ำเสียเข้าของการทดลองชุดที่ 2 จากการคำนวนจึงมีค่าสูงด้วย ซึ่งเมื่อนำค่า Z_iนี้มารวมกับความเข้มข้นของแบคทีเรียที่คำนวนได้ จะทำให้ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากการคำนวนมีค่าสูง ซึ่งในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 2 อาจมีปริมาณตะกอนเฉื่อยต่ำกว่าค่าที่คำนวนได้ ทำให้ผลการทำนายสูงกว่าผลจากการทดลองเล็กน้อย

4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมกับระบบบ่อเติมอากาศแบบเดี่ยวที่มีระยะเวลากักน้ำเท่ากัน

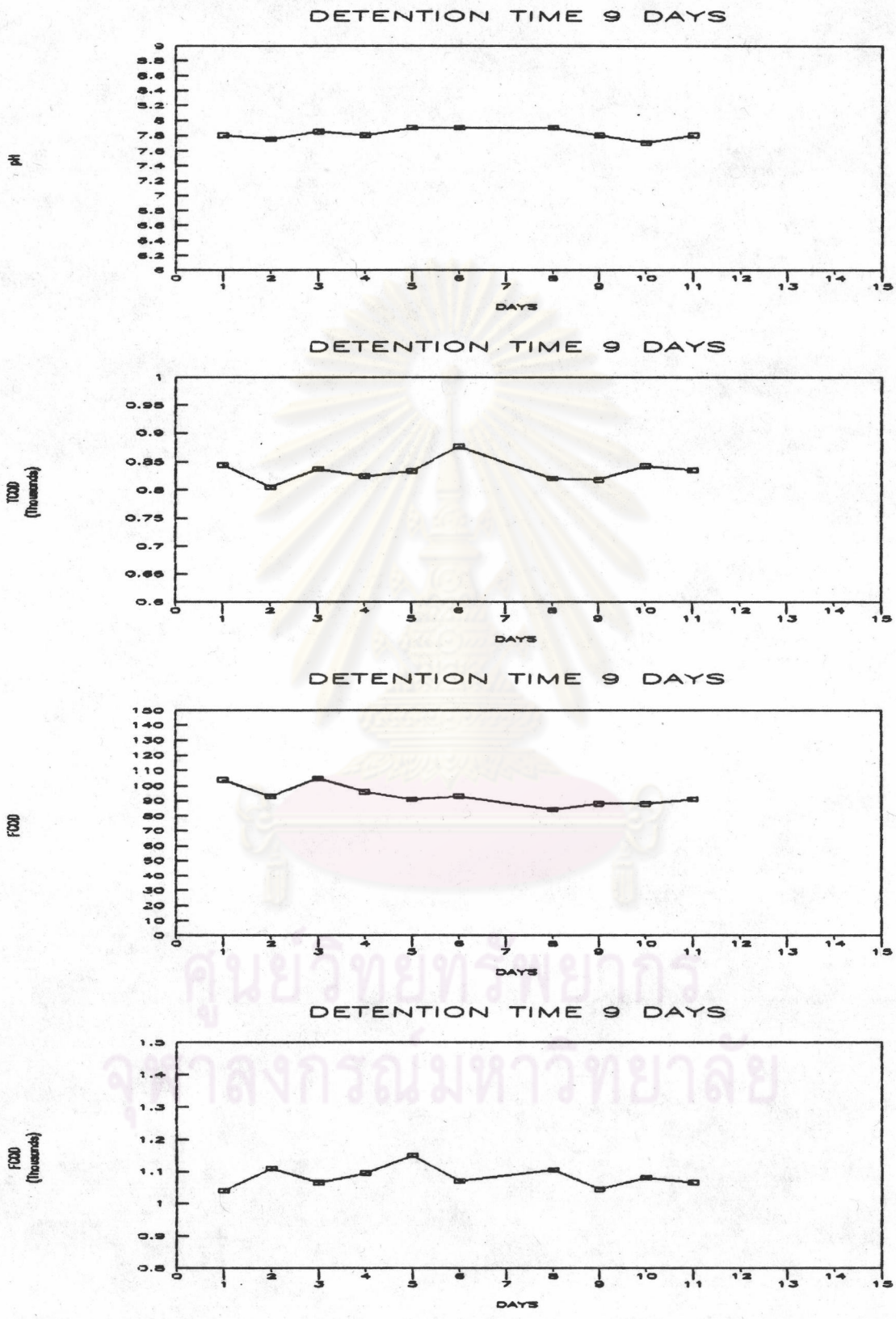
การทดลองชุดนี้เป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียของระบบบ่อเติมอากาศแบบเดี่ยวที่มีระยะเวลากักน้ำเท่ากับ 9 วัน น้ำเสียที่นำมาทดลองในการทดลองชุดนี้ใช้น้ำเสียจริง โดยเป็นน้ำเสียชุดเดียวกันกับที่ใช้ทดลองระบบบ่อเติมอากาศแบบอนุกรม

4.3.1 การเริ่มต้นเลี้ยงจุลชีพ

การทดลองเริ่มต้นด้วยการนำหัวเชื้อตะกอน(seed) เติมลงไปในบ่อเติมอากาศที่มีปริมาตร 45 ลิตร ด้วยปริมาณ 4.5 ลิตร แล้วจึงเติมน้ำเสียลงไปปริมาณ 4.5 ลิตร เติมน้ำเสียในปริมาณดังกล่าวทุกวันจนเต็มบ่อเติมอากาศ หลังจากนั้นจึงเริ่มป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่องด้วยเครื่องสูบน้ำเสียแบบรีดสาย อัตราการป้อนน้ำเสีย 5 ลิตรต่อวัน แล้วเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง รวมเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 50 วัน ผลการทดลองได้แสดงในรูปที่ 4.27

4.3.2 พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำในบ่อเติมอากาศมีค่าพีเอชเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ เท่ากับ 7.82 ซึ่งระดับพีเอชในช่วงนี้เป็นระดับพีเอชซึ่งแบคทีเรียยังเจริญเติบโตได้ดี จึงไม่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย



รูปที่ 4.21 แสดงข้อมูลการทดลองที่สภาวะคงที่ของบ่อเติมอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์แบบเดี่ยว ที่มีระยะเวลากักน้ำ 9 วัน ในการทดลองชุดที่ 3

4.3.3 ตะกอนแขวนลอย

เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในบ่อเติมอากาศแบบเดี่ยวนี้ จะมีค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 1,083 มก./ล ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระบบบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมใบที่3 พบว่า ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในบ่อเติมอากาศแบบเดี่ยวจะสูงกว่าในระบบบ่อเติมอากาศแบบอนุกรม ทั้งนี้เนื่องจากในบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมการย่อยสลายสารอาหารส่วนใหญ่จะเกิดในบ่อเติมอากาศใบแรก ดังนั้นในบ่อเติมอากาศใบที่ 3 จึงมีสารอาหารเหลือน้อยและเป็นส่วนที่ย่อยสลายยากเป็นส่วนใหญ่ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียลดลง มีผลให้ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยลดลงด้วย ซึ่งจะแตกต่างกับบ่อเติมอากาศแบบเดี่ยว ที่จะมีการไหลเข้าของสารอาหารอยู่ตลอดเวลาทำให้แบคทีเรียได้รับสารอาหารใหม่ที่มีส่วนที่ย่อยสลายง่ายอยู่ตลอดเวลา แบคทีเรียในบ่อเติมอากาศแบบเดี่ยวจึงมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่า ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจึงมากกว่าในบ่อเติมอากาศแบบอนุกรม

4.3.4 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

ผลการทดลองพบว่า เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ค่าเฉลี่ยของซีโอดีของน้ำในบ่อเติมอากาศมีค่าเท่ากับ 93 มก./ล ในรูปของซีโอดีกรอง ซึ่งเมื่อนำมาคำนวนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของบ่อเติมอากาศได้เท่ากับ 94.11% ในรูปของซีโอดีกรอง

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมพบว่า น้ำที่ผ่านระบบบ่อเติมอากาศแบบอนุกรม มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในรูปของซีโอดีเท่ากับ 96.27% แสดงให้เห็นว่าระบบบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมมีประสิทธิภาพสูงกว่าบ่อเติมอากาศแบบเดี่ยว แต่ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันมากนัก