



ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล

5.1 การเริ่มต้นเลี้ยงจุลินทรีย์

การวิจัยนี้เริ่มต้นทำการทดลองและเก็บข้อมูลเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2531 และสิ้นสุดการทดลองเมื่อวันที่ 14 มกราคม 2533 รวมเวลาที่ใช้จริงทั้งสิ้นประมาณ 147 วัน โดยมีรายละเอียดในแต่ละการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองชุดที่ 1 เริ่มต้นเลี้ยงตะกอนให้มีเสถียรภาพ ด้วยการนำน้ำตะกอนมาเติมอากาศและปรับพีเอชให้มีค่าใกล้เคียง 7.0 เป็นระยะเวลา 17 วัน (6 กย. - 23 กย.) เนื่องจากหัวเชื้อตะกอน (seed) ที่นำมาจากโรงงานผลิตยาและลูกกวาด มีสภาพทั่วไปไม่ค่อยดีนัก กล่าวคือ เซลล์แบคทีเรียมีลิ้นน้ำตาลเข้มจัด น้ำตะกอนขุ่นเหนียว มีกลิ่นไม่ปรกติ ความเข้มข้นของตะกอนเมื่อเริ่มต้นประมาณ 3,000 มก./ล. การตกตะกอนในกระบอกตวงใช้เวลา 30 นาที มีค่าสูงประมาณ 930 - 960 มล./ล. (ในช่วงเริ่มต้นนี้เชื่อว่าแบคทีเรียที่นำมาใช้เป็นหัวเชื้อตะกอนน่าจะมีความคุ้นเคย (acclimatized) กับน้ำเสียมาแล้ว และหากทำการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียเป็นเวลานานเพียงพอ เชื่อว่าระบบที่นำมาใช้ในการทดลองนี้จะสามารถแก้ไขสิ่งผิดปกติดังกล่าวและสามารถทำให้ตะกอนจมตัวได้ดีขึ้น) หลังจากนั้นจึงเริ่มเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 84 วัน (23 กันยายน - 15 ธันวาคม 2531) โดยใช้น้ำเสียจริงที่นำมาจากโรงงานผลิตยาและลูกกวาด มาปรับพีเอชให้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 7 - 7.5 ด้วยปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ก่อนป้อนเข้าสู่ถังเติมอากาศใบแรกอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา 16.8 ลิตรต่อวัน และให้มีการเวียนตะกอนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศใบแรกด้วยอัตรา 16.8 ลิตรต่อวันเท่ากัน และเพื่อรักษาอายุของตะกอนให้มีค่าเท่ากับ 20 วัน จึงจำเป็นต้องทิ้งตะกอนจากถังเติมอากาศใบที่สามประมาณ 2.52 ลิตรต่อวัน

การทดลองชุดที่ 2 และ 3 ทำการทดลองพร้อมกันโดยใช้อุปกรณ์ 2 ชุดและเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาทั้งสิ้น 63 วัน เริ่มต้นด้วยการนำหัวเชื้อตะกอนเข้มข้นบริเวณ Sludge Sump จากระบบกำจัดน้ำเสียของโรงงานผลิตยาและลูกกวาด มาใส่ลงในถังเติมอากาศที่มีน้ำประปาบรรจุอยู่และเติมอากาศทิ้งไว้ ใส่หัวเชื้อตะกอนประมาณ 15 ลิตร (ได้จากการประมาณว่าเซลล์เข้มข้นที่นำมาจาก Sludge Sump มีค่าความเข้มข้นประมาณ 10,000 มก./ล. และถังเติมอากาศมีปริมาตรรวมประมาณ 50.4 ลิตร โดยต้องการเซลล์ในถังเติมอากาศขณะเริ่มต้น

เข้มข้นประมาณ 3,000 มก./ล.) ลักษณะโดยทั่วไปของหัวเชื้อตะกอนมีสีน้ำตาลแดงเข้ม กลิ่นปกติ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์พบแบคทีเรียชนิดเส้นใยปะปนอยู่ แต่มีจำนวนไม่มาก หลังจากนั้นเติมอากาศต่อไปเป็นเวลา 30 นาที จึงเริ่มปรับพีเอชให้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 7 แล้วจึงเริ่มป้อนน้ำเสียที่ปรับพีเอชให้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 7 - 7.5 เข้าสู่ถังเติมอากาศใบแรกอย่างต่อเนื่องในวันถัดมาด้วยอัตรา 16.8 ลิตรต่อวัน พร้อมทั้งให้มีการเวียนตะกอนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศใบแรกด้วยอัตรา 16.8 ลิตรต่อวันเท่ากัน และในแต่ละวันจะทำการทิ้งน้ำตะกอนจากถังเติมอากาศใบที่สาม เพื่อรักษาอายุของตะกอนในระบบให้มีค่า 20 วัน โดยการทดลองชุดที่ 2 ต้องทิ้งน้ำตะกอนประมาณ 2.56 ลิตรต่อวัน และการทดลองชุดที่ 3 ต้องทิ้งน้ำตะกอนประมาณ 2.42 ลิตรต่อวัน หลังจากนั้น 3 วันจึงเริ่มวิเคราะห์น้ำและเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 63 วัน (13 พฤศจิกายน 2532 - 14 มกราคม 2533)

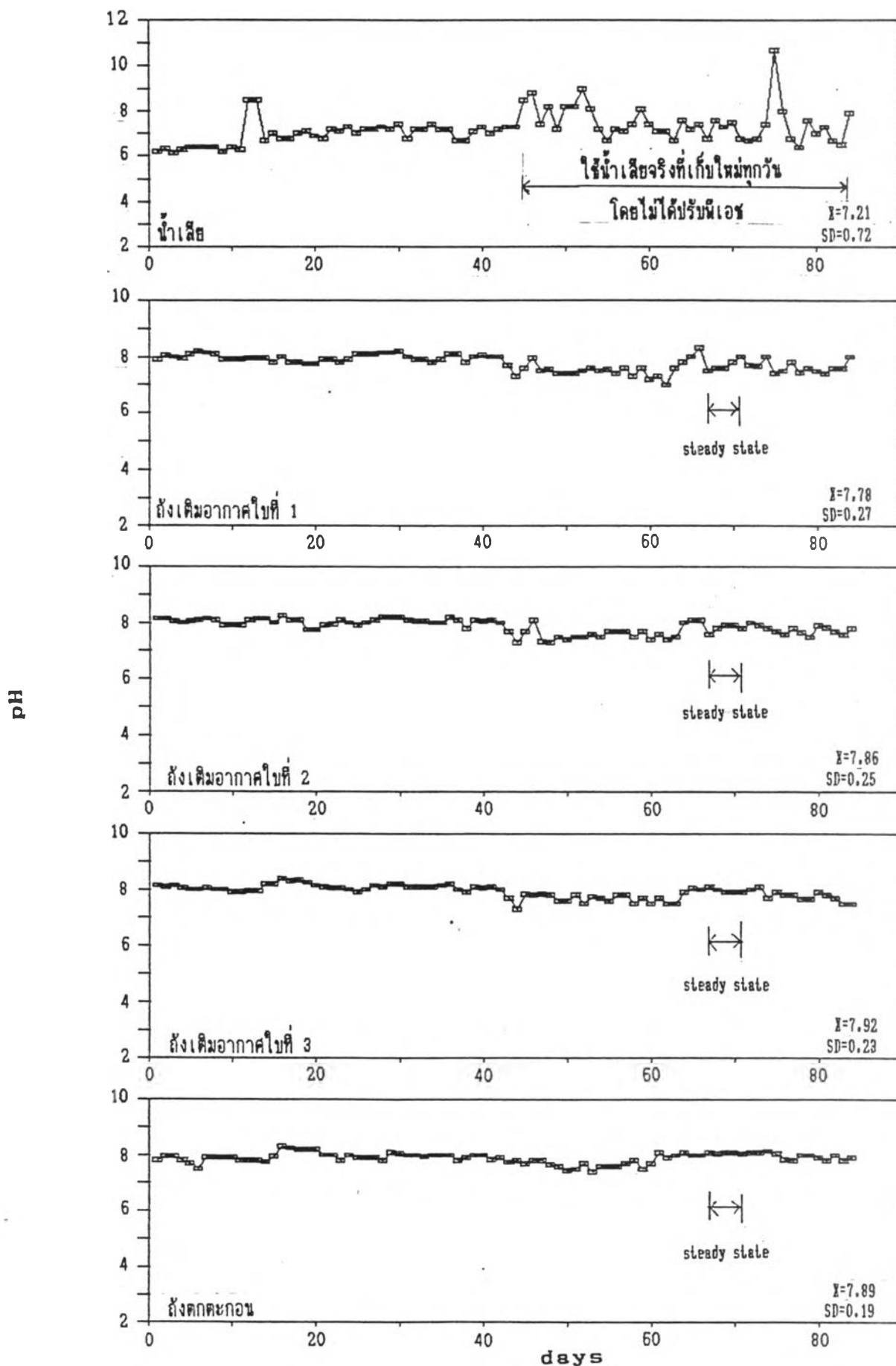
5.2 นิเอช

การวัดค่านิเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ จะทำการวัดทันทีภายหลังจากที่เตรียมน้ำเสียเสร็จ ส่วนการวัดค่านิเอชของน้ำในถังเติมอากาศทุกใบ จะวัดทันทีที่เก็บตัวอย่างน้ำมาจากถังเติมอากาศ

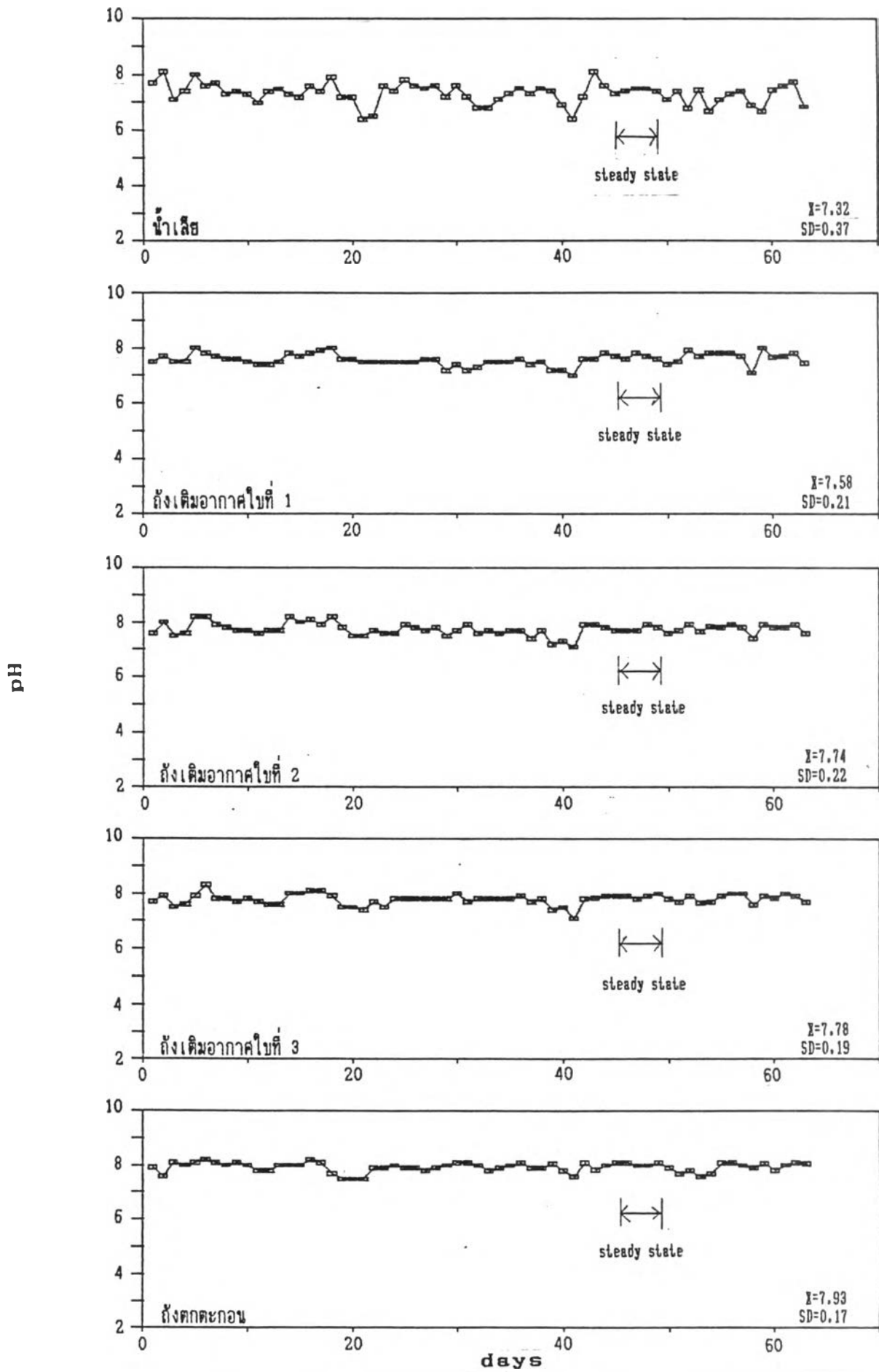
รูปที่ 5.1 - 5.3 แสดงกราฟของนิเอชที่วัดได้จากทดลองชุดที่ 1 , 2 และ 3 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วง steady stage แสดงอยู่ในตารางที่ 5.1

การทดลองชุดที่ 1 มีค่าระดับ F/M ในถังเติมอากาศใบแรกเฉลี่ย 4.43 กก.COD/กก.MLSS-วัน (ดังแสดงในภาคผนวก ตารางที่ ผ.1) พบว่าค่านิเอชของน้ำเสียที่นำมาใช้ป้อนเข้าสู่ระบบมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 7.2 และจากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าค่านิเอชของน้ำเสียที่ใช้ป้อนสู่ระบบมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในแต่ละวัน เนื่องจากน้ำเสียดิบจะถูกเก็บมาครั้งละ 5 - 7 ถัง (ถังละ 20 ลิตร) แล้วนำมาแช่ตู้เย็นไว้และปรับพีเอชก่อนป้อนเข้าสู่ระบบด้วยปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) โดยใช้ความเข้มข้นของปูนขาวเท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร เฉลี่ยครั้งละประมาณ 290 มล. คิดเป็นปริมาณของปูนขาวที่ใช้เท่ากับ 0.345 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย และนิเอชของอนุกรมถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ในช่วง steady state เท่ากับ 7.7 , 7.8 และ 8 ตามลำดับ และมีค่านิเอชของน้ำทิ้งออกจากถังตกตะกอนเท่ากับ 8.1

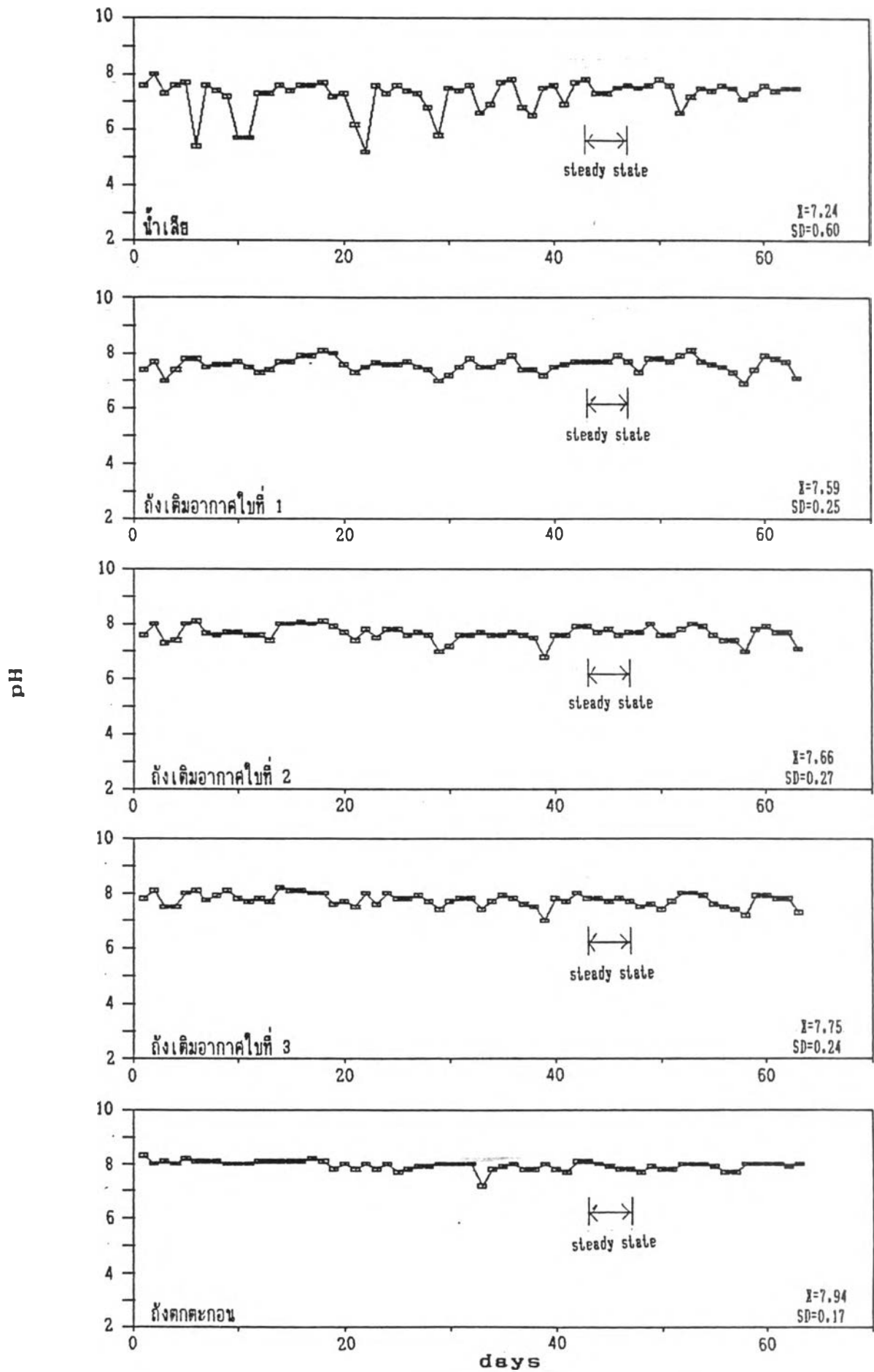
การทดลองชุดที่ 2 และ 3 มีค่าระดับ F/M ในถังเติมอากาศใบแรกเฉลี่ย 2.74 และ 10.1 กก.COD/กก.MLSS-วัน ตามลำดับ (ดังแสดงในภาคผนวก ตารางที่ ผ.2 และ ผ.3)



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า พีเอช ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1



รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า พีเอช ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2



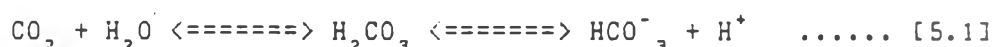
รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า พีเอช ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าเฉลี่ยพีเอช ของน้ำเสีย น้ำในถังเติมอากาศ และน้ำจากถังตกตะกอน ในช่วง Steady state

การทดลอง ชุดที่	F/M เฉลี่ย ในถังเติมอากาศใบแรก (กก. COD/กก. MLSS-วัน)	พีเอชเฉลี่ย				
		น้ำเสีย	ถังเติมอากาศ			ถัง ตก ตะกอน
			ใบที่ 1	ใบที่ 2	ใบที่ 3	
1	4.43	7.2	7.7	7.8	8.0	8.1
2	2.74	7.4	7.7	7.8	7.9	8.1
3	10.10	7.5	7.7	7.7	7.8	7.9

และปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ โดยใช้ปูนขาวที่มีความเข้มข้น 40 กรัม/ลิตร ครั้งละประมาณ 100 มล. คิดเป็นปริมาณของปูนขาวที่ใช้ 0.238 กรัมต่อลิตรน้ำเสีย และพีเอชของอนุกรมถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ของการทดลองชุดที่ 2 ในช่วง steady state เท่ากับ 7.7 , 7.8 และ 7.9 ตามลำดับ และมีค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากถังตกตะกอน เท่ากับ 8.1 และพีเอชของอนุกรมถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ของการทดลองชุดที่ 3 ในช่วง steady state เท่ากับ 7.7 , 7.7 และ 7.8 ตามลำดับ และมีค่าพีเอชของน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนเท่ากับ 7.9

รูปที่ 5.4 และตารางที่ 5.1 แสดงผลการวัดค่าพีเอชเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะ steady state ของการทดลองทั้ง 3 ชุด พบว่าพีเอชของระบบถังเติมอากาศมีค่าค่อนข้างสูง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนป้อนเข้าสู่ระบบด้วยปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ซึ่งเป็นการเพิ่มเบสในรูป OH^- ทำให้พีเอชของถังเติมอากาศมีค่าสูงขึ้น และจากรูปที่ 5.4 จะเห็นว่าพีเอชของอนุกรมถังเติมอากาศมีแนวโน้มที่จะมีค่าค่อนข้างคงที่ (มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย) ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียและได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำเรียกว่ากรดคาร์บอนิก (Carbonic Acid) ซึ่งกรดคาร์บอนิกเป็นกรดที่มีเลขิยฐานต่ำจะสามารถแตกตัวได้ไบคาร์บอเนต ตามสมการที่ 5.1



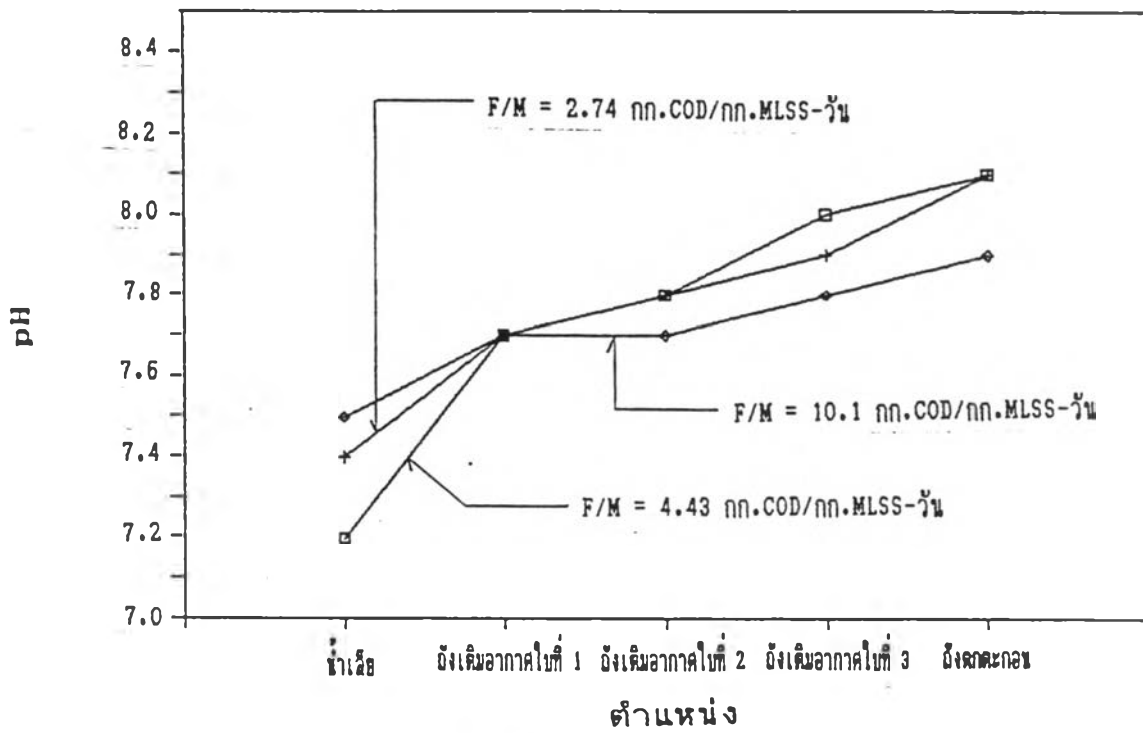
ซึ่งไบคาร์บอเนตในลมตุลดังกล่าวเป็นสารบัฟเฟอร์ (Buffer) ที่มีประโยชน์ในการใช้รักษาระดับพีเอชของระบบไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นในระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่ทำการทดลองนี้ยังมีแหล่งของไบคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการแตกตัวของปุ๋ยยูเรียในน้ำที่ใช้เป็นอาหารเสริมให้แก่ระบบ ตามสมการที่ 5.2 และ 5.3



และผลจากการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) เป็นอาหารเสริมให้แก่แบคทีเรีย ก็เป็นการเพิ่มฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (HPO_4^{2-}) ให้แก่ระบบอีกทางหนึ่งด้วย

จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และการเพิ่มปุ๋ยยูเรียและฟอสเฟตจึงเป็นการเพิ่มบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ และส่งผลให้สามารถรักษาระดับพีเอชของถังเติมอากาศให้มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง

จากการเฝ้าติดตามการทำงานของระบบกำจัดน้ำเสีย ที่ใช้อยู่ในโรงงานผลิตยาและ
 ลูกกวาด ซึ่งเป็นระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่มีถังเติมอากาศ 5 ใบเรียงต่อกันแบบอนุกรม โดยมี
 น้ำเสียและตะกอนเวียนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศใบแรก พบว่านิเอชมีส่วนสำคัญต่อการทำงาน
 ของระบบเป็นอย่างมาก เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซึ่งเป็นสารประกอบ
 ที่มีโครงสร้างโมเลกุลง่ายต่อการย่อยสลายของแบคทีเรีย ดังนั้นหากละลายการปรับนิเอชของ
 น้ำเสียอย่างสม่ำเสมอแล้ว จะทำให้นิเอชของระบบที่ควบคุมกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์
 ของแบคทีเรียมีค่าต่ำ และคาร์บอนไดออกไซด์อิสระที่เป็นผลผลิตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์
 สามารถละลายน้ำได้มากขึ้นซึ่งจะอยู่ในรูปของกรดคาร์บอนิค ทำให้นิเอชของระบบถังเติมอากาศ
 มีค่าลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ผลของนิเอชต่ำในระบบถังเติมอากาศที่พบในระบบจริงจะทำให้
 ความสามารถในการรับออร์แกนิกช็อคโหลด (Organic Shock Load) และความสามารถใน
 การต้านทานความเป็นพิษจากยา (ซึ่งมีเข้าสู่ระบบเป็นครั้งคราว) ของระบบลดลง โดยเฉพาะ
 ในถังเติมอากาศใบที่ 1 เมื่อนิเอชลดต่ำลงจะพบว่านิเอชเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ลักษณะของฟอง
 ผิดปรกติคือ เป็นฟองเหนียวนิ่มสูงขึ้นจนบางครั้งล้นออกจากถังเติมอากาศ และที่สำคัญที่สุดมัก
 พบว่าหากปล่อยให้นิเอชของระบบมีค่าต่ำกว่า 7 เป็นเวลานานประมาณ 1 - 2 สัปดาห์ จะทำให้
 การตกตะกอนในระบอบกวดวงที่เวลา 30 นาทีมีค่าสูงขึ้น แต่หากควบคุมให้นิเอชของระบบมีค่า
 อยู่ในช่วง 7.5-8 เป็นเวลานาน ด้วยการปรับนิเอชของน้ำเสียอย่างสม่ำเสมอจะพบว่าตะกอน
 จมตัวได้ดี เนื้อตะกอนแน่น น้ำออกจากถังตกตะกอนใส



รูปที่ 5.4 แสดงค่า พีเอชเฉลี่ย ที่ตำแหน่งต่างๆ ในช่วง steady state

5.3 ชีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัด

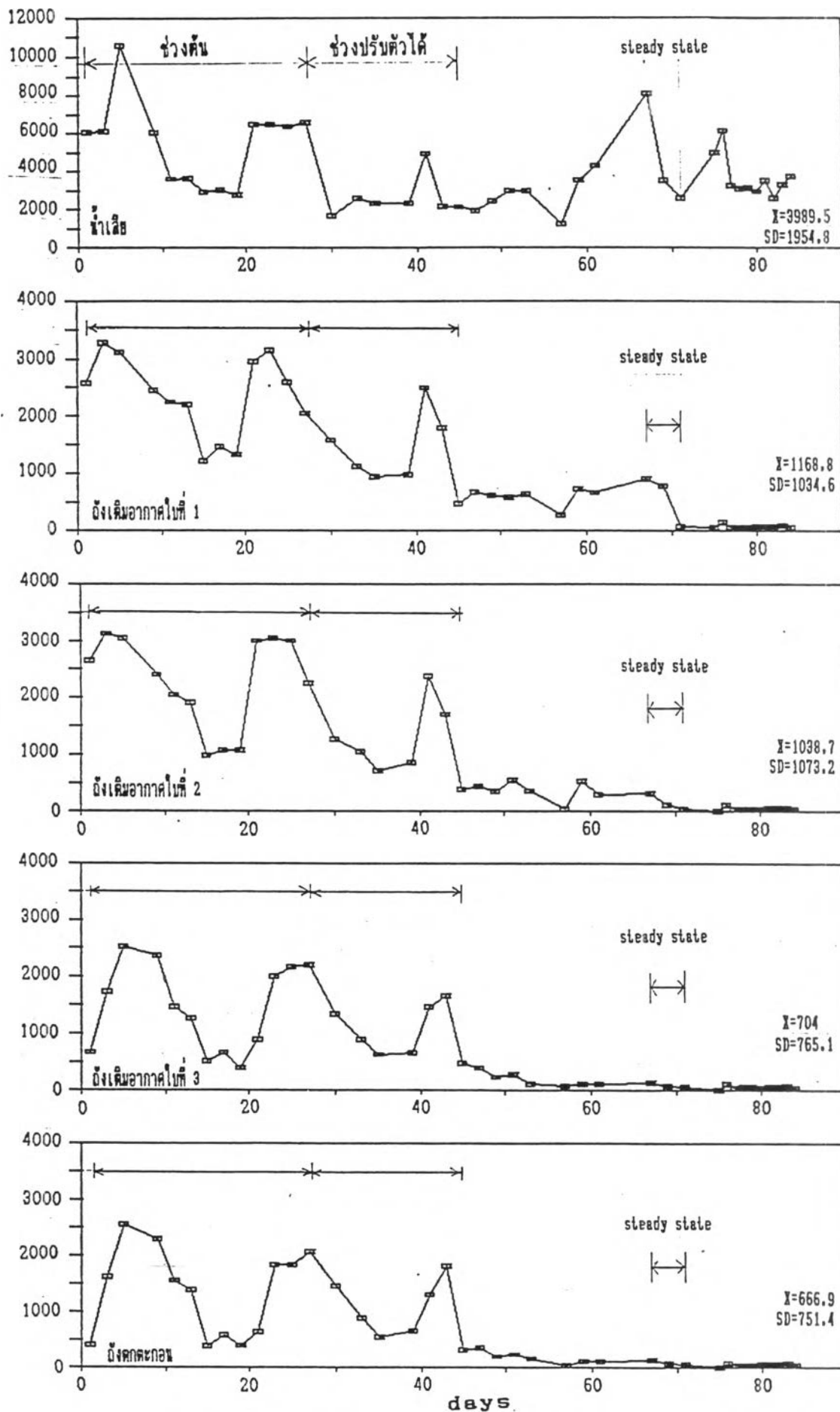
ชีโอดี เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญตัวหนึ่งสำหรับอนุกรมถังเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองนี้ เพราะค่าชีโอดีจะแสดงให้เห็นถึงการลดหลั่นของสับสเตรทที่เกิดขึ้นในระบบ นอกจากนี้ยังสามารถบอกถึงประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีของถังเติมอากาศ

รูปที่ 5.5 - 5.8 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่าชีโอดีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ, น้ำในถังเติมอากาศ และน้ำในถังตกตะกอน ของการทดลองทั้ง 3 ชุด

รูปที่ 5.5 แสดงผลการทดลองในชุดที่ 1 มีค่าระดับ F/M ของถังเติมอากาศใบแรกเฉลี่ย 4.43 กก. COD/กก. MLSS-วัน พบว่าในช่วงต้นของการทดลอง (start up) วันที่ 23 กันยายน ถึง วันที่ 19 ตุลาคม แบคทีเรียที่นำมาจากโรงงานผลิตยา และลูกกวาด อยู่ในสภาพที่ยังไม่พร้อมที่จะสามารถย่อยสลายน้ำเสียได้ ทำให้ชีโอดีที่วัดได้ในระบบมีค่าสูงมาก ภายหลังจากที่เลี้ยงตะกอนต่อมา (19 ตุลาคม - 6 พฤศจิกายน) แบคทีเรียสามารถปรับตัวได้ และเริ่มย่อยน้ำเสียได้มากขึ้น ทำให้ชีโอดีในระบบเริ่มลดต่ำลง และมีค่าชีโอดีของน้ำออกจากระบบเริ่มเป็นปรกติ จากนั้นจึงทำการศึกษาต่อโดยใช้น้ำเสียจริงที่นำมาจากโรงงานผลิตยาและลูกกวาด โดยน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียเก็บใหม่ทุกวัน (6 พฤศจิกายน - 15 ธันวาคม) และได้แยกผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.6 พบว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะ steady state ชีโอดีของน้ำเสียจริงที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบมีค่าเฉลี่ย 4,756 มก./ล. และชีโอดีที่เหลือในถังเติมอากาศแต่ละใบ (COD remaining) เท่ากับ 589, 158 และ 92 มก./ล. ในถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และมีค่าน้ำทิ้งจากถังตกตะกอนเท่ากับ 92 มก./ล. จากค่าชีโอดีที่เหลือในถังเติมอากาศแต่ละใบสามารถคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีในถังเติมอากาศใบที่ 1 ถึงใบที่ 3 ได้เท่ากับ 87.9, 66.6 และ 45.1 % ตามลำดับ

รูปที่ 5.7 แสดงผลการทดลองในชุดที่ 2 มีค่าระดับ F/M ของถังเติมอากาศใบแรกเฉลี่ย 2.74 กก. COD/กก. MLSS-วัน และควบคุมชีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบไม่ให้เกิน 4,000 มก./ล. โดยในช่วง Steady state พบว่าชีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 2,591 มก./ล. และชีโอดีที่เหลือในถังเติมอากาศแต่ละใบมีค่าเท่ากับ 92, 53 และ 32 มก./ล. ในถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และมีค่าชีโอดีของน้ำทิ้งออกจากถังตกตะกอนเท่ากับ 25 มก./ล. จากชีโอดีที่วัดได้ในถังเติมอากาศสามารถคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีของถังเติมอากาศได้เท่ากับ 96.5, 42.5 และ 38.1 % สำหรับถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

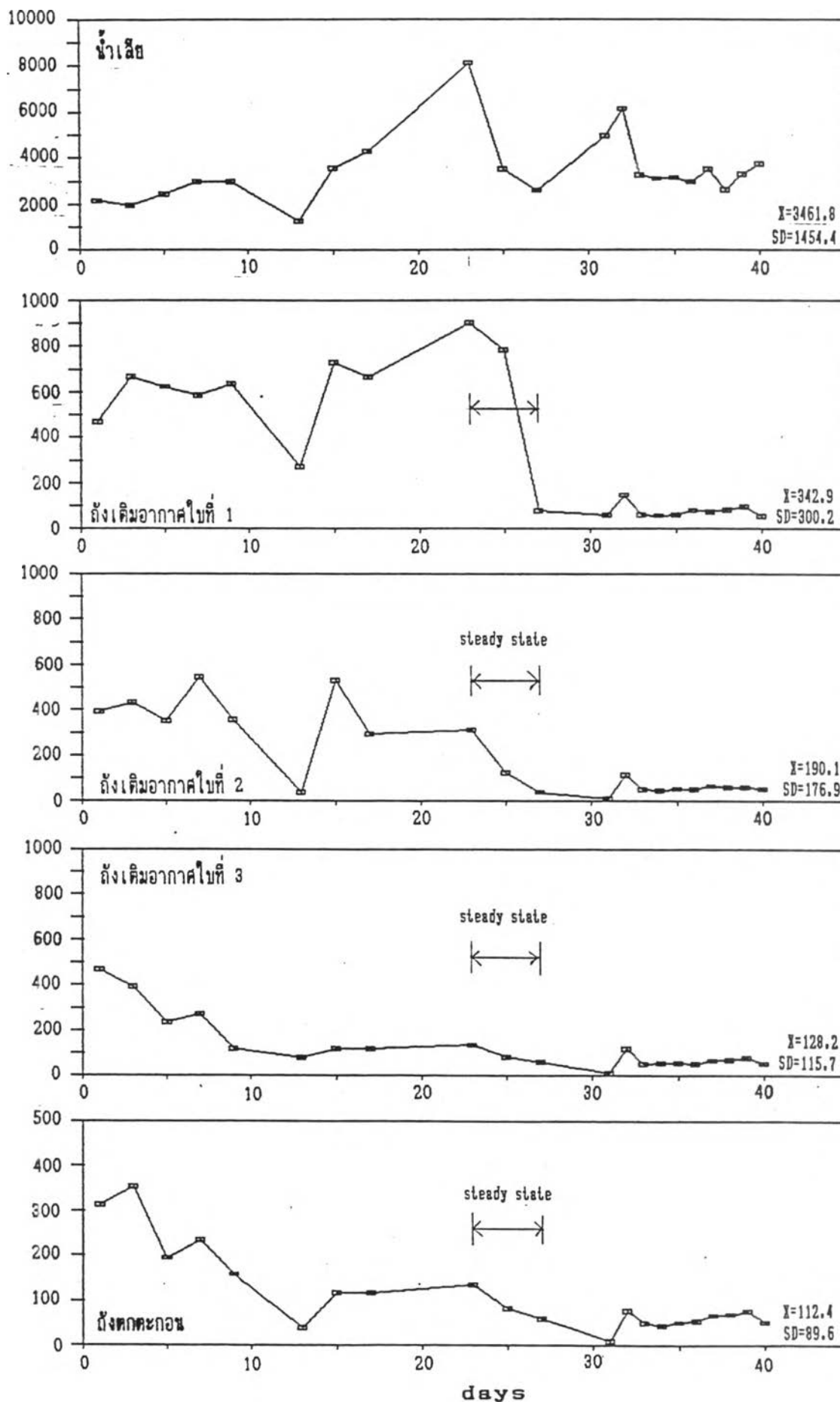
COD (mg./l.)



รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ซีโอดี ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1

หมายเหตุ : กำหนดช่วง steady state จากค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเป็นหลัก

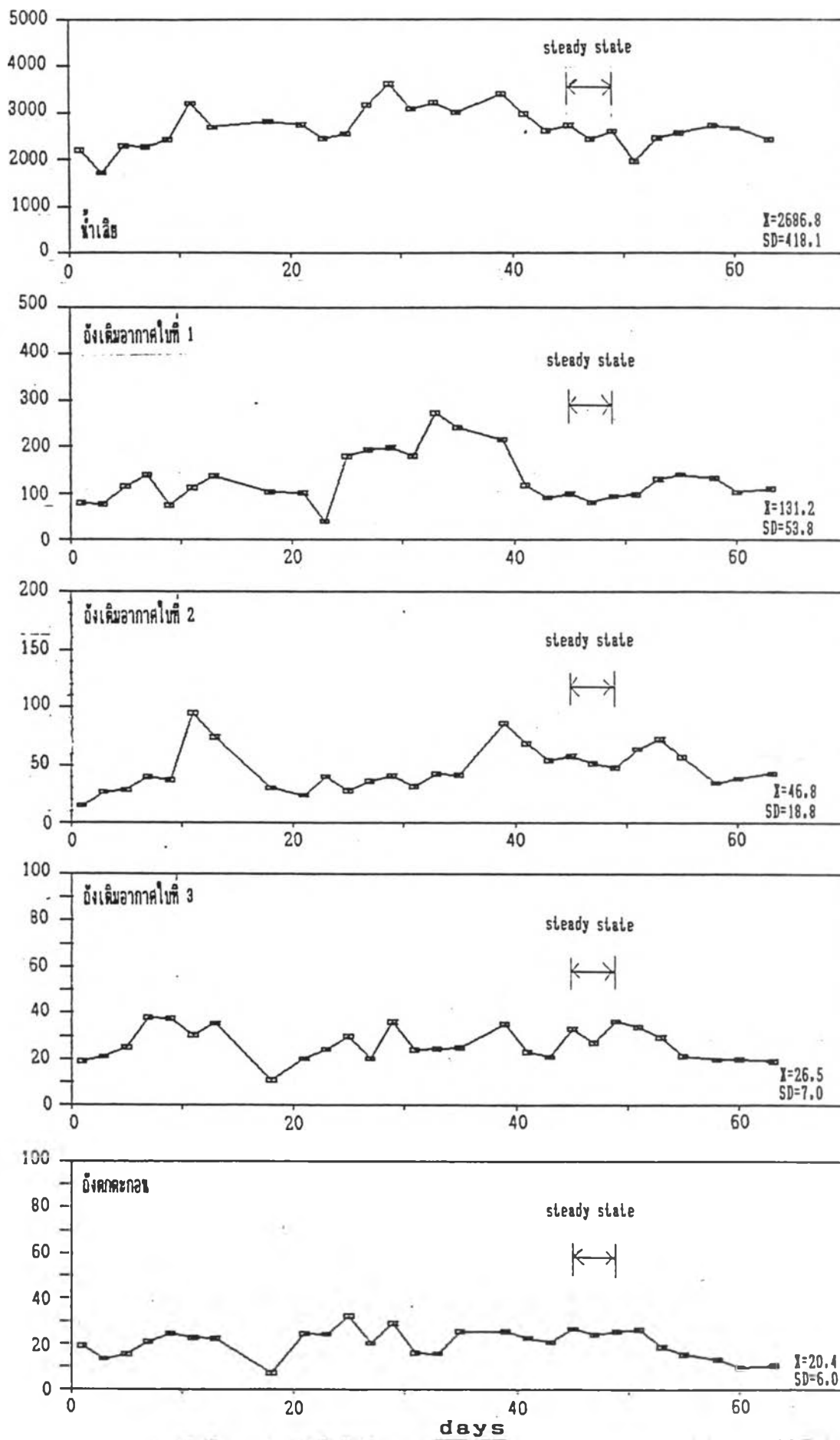
COD (มก./ลิ.)



รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ซีโอดี ที่ตำแหน่งต่างๆ (6/11/88 - 15/12/88) ของการทดลองชุดที่ 1

หมายเหตุ : กำหนดช่วง steady state จากค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเป็นหลัก

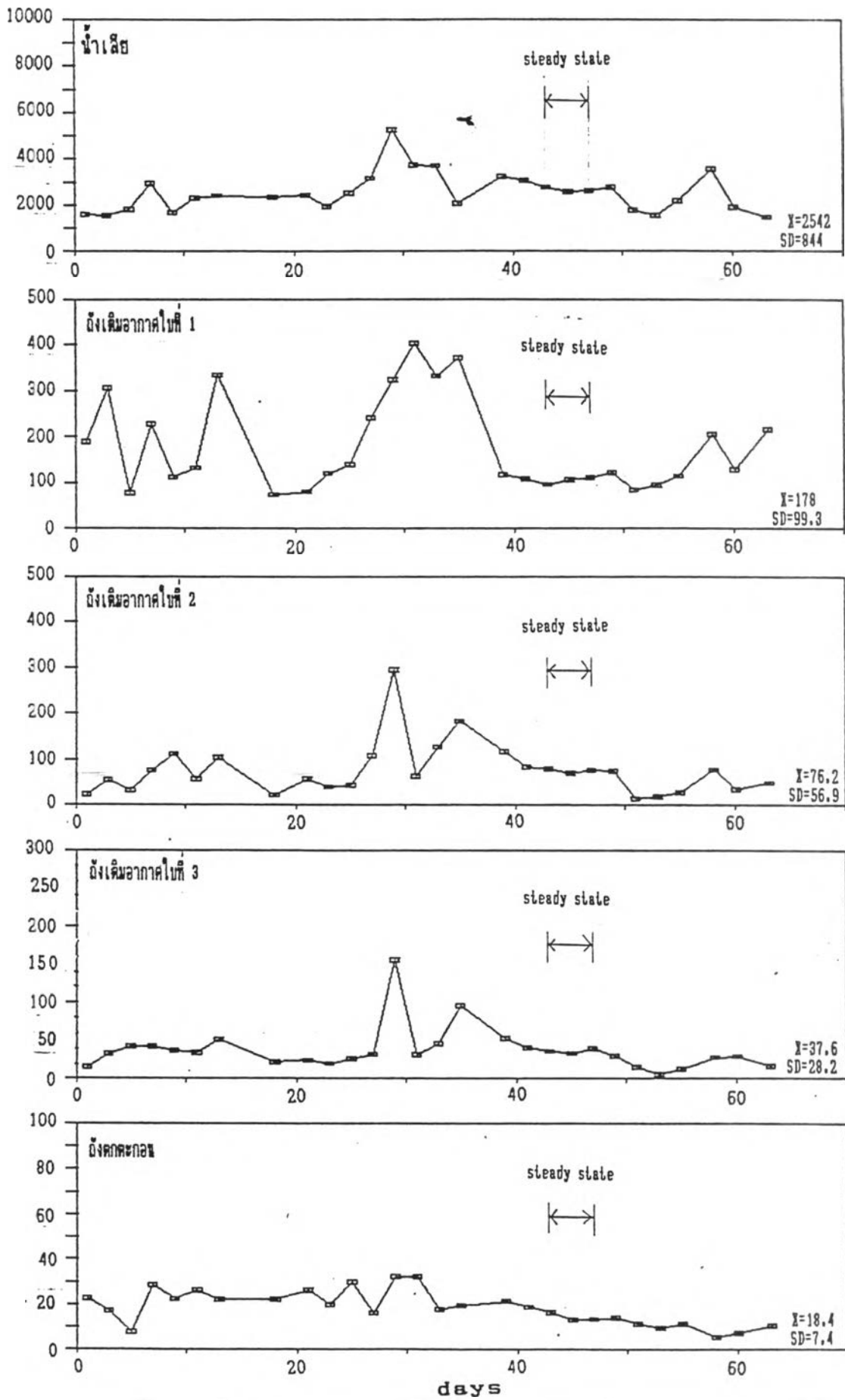
COD (mg./l.)



รูปที่ 5.7 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ซีโอดี ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2

หมายเหตุ : กำหนดช่วง steady state จากค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเป็นหลัก

COD (mg./l.)



รูปที่ 5.8 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ซีโอดี ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3

หมายเหตุ : กำหนดช่วง steady state จากค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเป็นหลัก

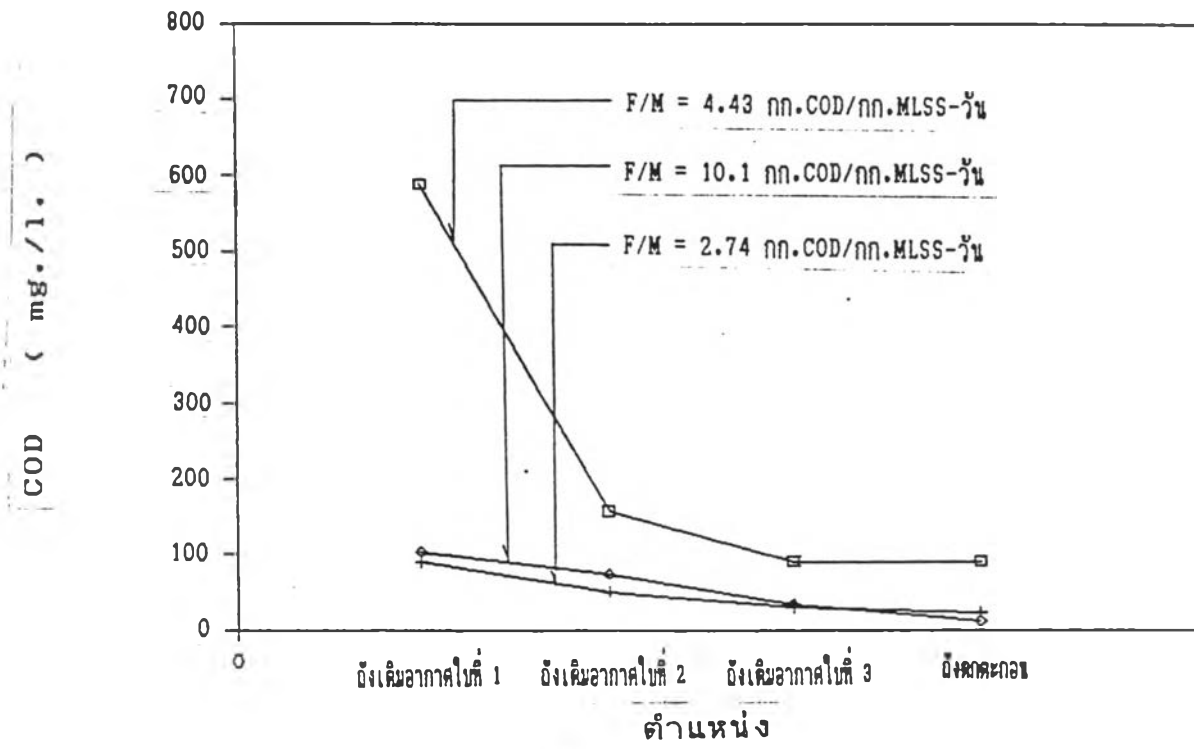
ตารางที่ 5.2 ค่าซีโอดีเฉลี่ย ของน้ำเสียที่เข้าระบบ น้ำในถังเติมอากาศ และน้ำจากถังตกตะกอน ของระบบในช่วง Steady State

การทดลอง ชุดที่	F/M เฉลี่ย ในถังเติมอากาศใบแรก (กก.COD/กก.MLSS-วัน)	ซีโอดีเฉลี่ย (มก./ล.)				
		น้ำเสีย	ถังเติมอากาศ			ถัง ตก ตะกอน
			ใบที่ 1	ใบที่ 2	ใบที่ 3	
1	4.43	4756	589	158	92	92
2	2.74	2591	92	53	32	25
3	10.10	2670	105	76	37	14

รูปที่ 5.8 แสดงผลการทดลองในชุดที่ 3 มีค่าระดับ F/M ในถังเติมอากาศใบแรกเฉลี่ย 10.1 กก.COD/กก.MLSS-วัน และใช้น้ำเสียจริงที่ควบคุมซิโอดีโดยเตรียมพร้อมกับการทดลองชุดที่ 2 พบว่าซิโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าสู่ระบบเท่ากับ 2,670 มก./ล. และซิโอดีของถังเติมอากาศแต่ละใบเท่ากับ 105, 76 และ 37 มก./ล. ในถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และซิโอดีของน้ำทิ้งออกจากถังตกตะกอนเท่ากับ 14 มก./ล. จากค่าซิโอดีที่วัดได้ในถังเติมอากาศดังกล่าว สามารถคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดซิโอดีของถังเติมอากาศได้เท่ากับ 96.1, 27.3 และ 51.8 % สำหรับถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.9 และตารางที่ 5.2 แสดงถึงค่าเฉลี่ยซิโอดีที่วัดได้ที่ตำแหน่งต่างๆ ในช่วง steady state ของการทดลองทั้ง 3 ชุด คือที่ระดับ F/M เฉลี่ยของถังเติมอากาศใบแรกเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 , 2.74 และ 10.1 กก.COD/กก.MLSS-วัน ตามลำดับ พบว่าซิโอดีของน้ำเสียถูกกำจัดอย่างรวดเร็วในถังเติมอากาศใบแรก และการกำจัดซิโอดีจะลดต่ำลงตามอนุกรมถังเติมอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากถังเติมอากาศใบแรกมีขนาดเล็กที่สุดในอนุกรมถังเติมอากาศ ทำให้ถังเติมอากาศใบแรกมีความเข้มข้นของสับสเตรทสูง และตะกอนที่ถูกส่งกลับเข้าถังเติมอากาศใบแรกอยู่ในสภาพที่ขาดอาหาร ทำให้ถังเติมอากาศใบแรกมีอัตราเร็วของปฏิกิริยาสูงสุด และเมื่อความเข้มข้นของสับสเตรทลดลง อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะลดลงไปตามลำดับของอนุกรมถังเติมอากาศ และจากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าผลการทดลองชุดที่ 1 มีค่าซิโอดีที่เหลือในถังเติมอากาศสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 1 มีค่าซิโอดีสูงและเป็นน้ำเสียจริงที่เก็บจากโรงงานโดยไม่ได้ควบคุมซิโอดี

ส่วนการทดลองชุดที่ 2 และ 3 ใช้น้ำเสียที่ควบคุมซิโอดีให้อยู่ในช่วงจำกัดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และควบคุมให้ถังเติมอากาศใบแรกมีค่า F/M เท่ากับ 2.74 และ 10.1 กก.COD/กก. MLSS-วัน พบว่าซิโอดีที่เหลือในถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะในถังเติมอากาศใบแรกมีค่าซิโอดีที่เหลือเท่ากับ 92 และ 105 มก./ล. ในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผลจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าการทดลองชุดที่ 2 มีแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคเป็นส่วนประกอบหลัก ในขณะที่การทดลองชุดที่ 3 แบคทีเรียชนิดเส้นใยยังคงเกิดขึ้นอยู่บ้าง แต่ลักษณะของเส้นใยไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงอธิบายได้ว่าสาเหตุของซิโอดีที่วัดได้ในถังเติมอากาศใบแรกของการทดลองชุดที่ 3 มีค่าต่ำ เนื่องจากถังเติมอากาศใบแรกของการทดลองชุดที่ 3 ถูกควบคุมให้มีค่า F/M สูง จึงทำให้ความเข้มข้นของสับสเตรทมีค่าสูง จนกระทั่งแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคไม่สามารถกำจัดได้หมด และเหลือให้แบคทีเรียเส้นใยสามารถนำไปใช้ได้ จึงทำให้ซิโอดีที่เหลือในถังเติมอากาศใบแรกมีค่าต่ำ และแบคทีเรียเส้นใยสามารถเจริญเติบโตได้ในการทดลองชุดที่ 3



รูปที่ 5.9 แสดงค่า ซีโอดีเฉลี่ย ที่ตำแหน่งต่างๆ ในช่วง steady state

5.4 ตะกอนแขวนลอย

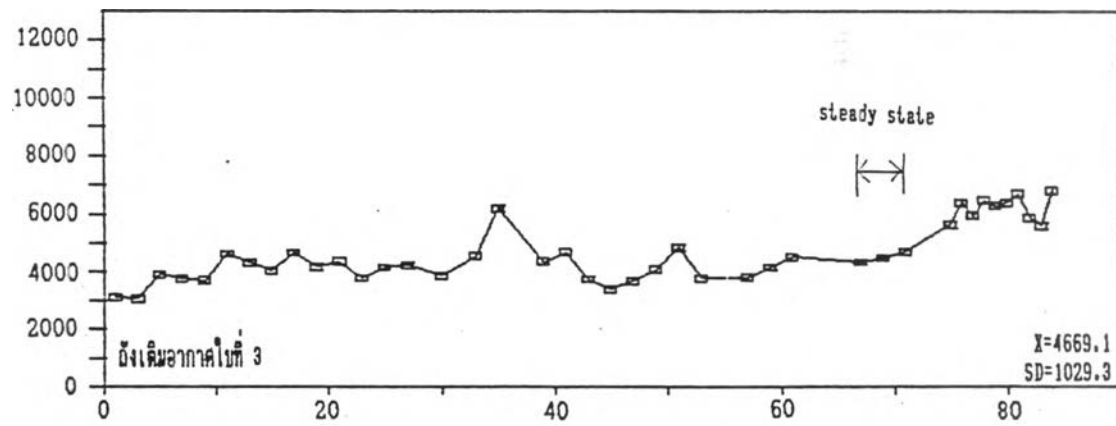
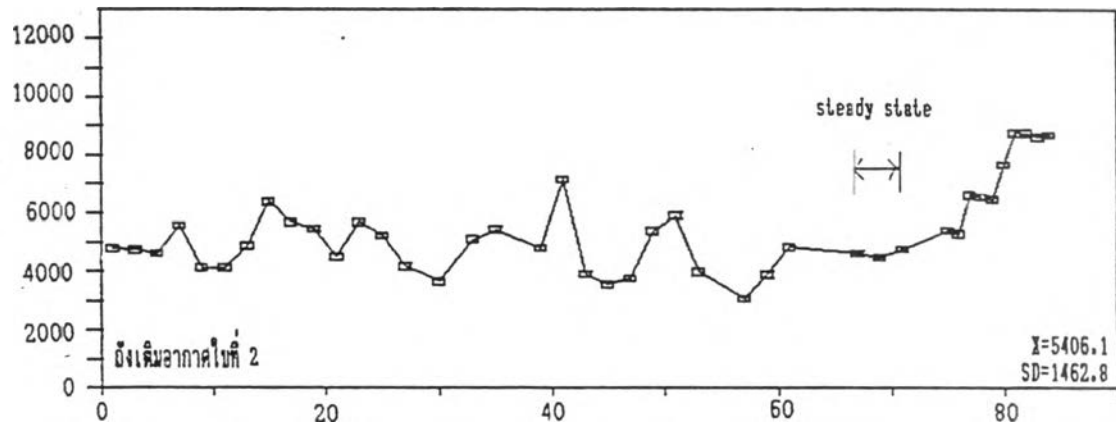
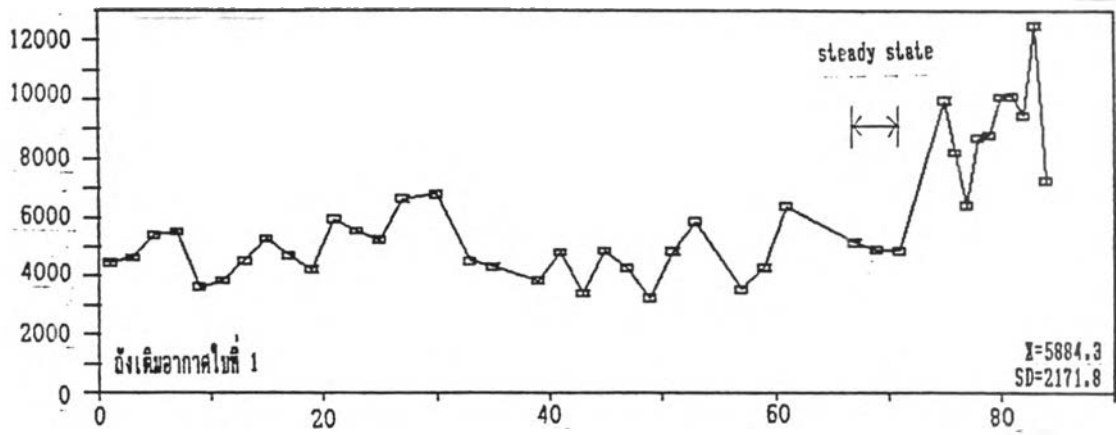
รูปที่ 5.10 - 5.12 กราฟแสดงค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในถังเติมอากาศ และถังตกตะกอน ส่วนค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยของถังเติมอากาศ และถังตกตะกอนในช่วง steady state แสดงไว้ในรูปที่ 5.13 และตารางที่ 5.4

รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยของการทดลองชุดที่ 1 มีค่า F/M ของถังเติมอากาศใบแรกเฉลี่ย 4.43 กก.COD/กก.MLSS-วัน เมื่อเริ่มการทดลอง แบคทีเรียในระบบยังไม่สามารถย่อยสลายน้ำเสียได้ดี ทำให้ระบบอยู่ในภาวะช็อคโหลด และมีตะกอนแขวนลอยหลุดออกไปกับน้ำทิ้งจากถังตกตะกอนมาก ดังนั้นในช่วงนี้จึงงดการทิ้งตะกอน เพื่อรักษาระดับตะกอนมิให้ลดต่ำลง (23 กันยายน - 15 ตุลาคม) หลังจากนั้นแบคทีเรียจึงปรับตัวและเริ่มย่อยสลายน้ำเสียได้มากขึ้น ทำให้น้ำออกมีซีโอดีต่ำลงมาก และน้ำออกจากถังตกตะกอนใสมากขึ้น จึงเริ่มทิ้งตะกอนเพื่อรักษาอายุตะกอนของระบบให้คงที่ 20 วัน จนกระทั่งเมื่อความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในถังเติมอากาศทุกใบเริ่มคงที่(ระบบเข้าสู่สภาวะ steady state) สามารถวัดความเข้มข้นของตะกอนได้เท่ากับ 4,953 4,637 และ 4,517 มก./ล. ในถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และตะกอนแขวนลอยที่ออกไปกับน้ำทิ้งจากถังตกตะกอนเท่ากับ 23 มก./ล.

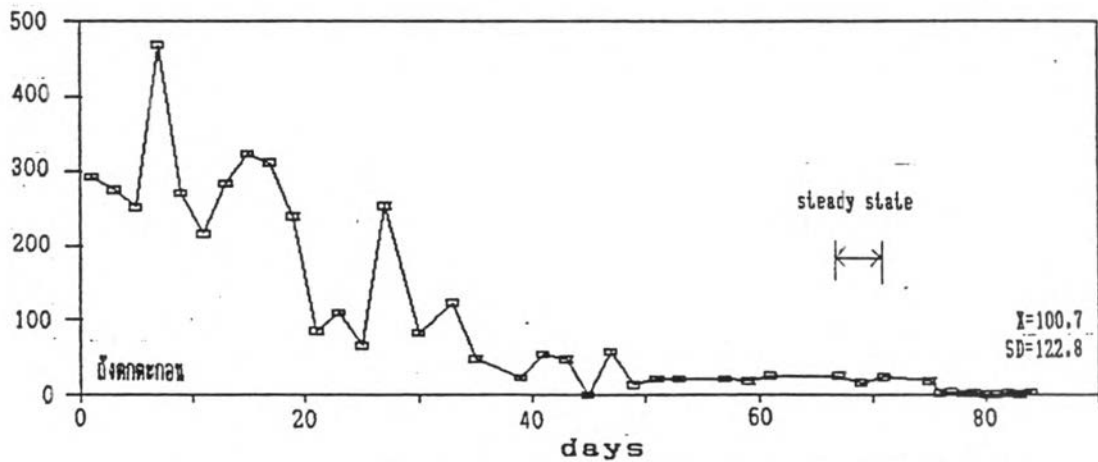
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยของการทดลองชุดที่ 2 มีค่า F/M ของถังเติมอากาศใบแรกเฉลี่ย 2.74 กก.COD/กก.MLSS-วัน เมื่อเริ่มต้นทำการทดลองพบว่า การตกตะกอนที่เวลา 30 นาทีมีแนวโน้มเลวลงในระยะ 3 วันแรก ในขณะที่ความเข้มข้นของตะกอนยังคงค่อนข้างคงที่ เมื่อทดลองต่อไปจนถึงวันที่ 28 พฤศจิกายน พบว่าการตกตะกอนในกระบอกตวงมีค่าลดลง และความเข้มข้นของตะกอนมีค่าค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะ steady state พบว่าความเข้มข้นของตะกอนมีค่าสูงในถังเติมอากาศใบแรก และลดลงในถังเติมอากาศใบที่ 2 และ 3 โดยมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 4,687 , 4,290 และ 3,687 มก./ล. ตามลำดับและน้ำทิ้งตลอดการทดลองใสมีตะกอนแขวนลอยต่ำเพียง 12 มก./ล. เมื่อนำตะกอนไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าตะกอนส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอค เนื้อตะกอนเป็นปุยใหญ่ พบแบคทีเรียเส้นใยน้อยมาก ลักษณะที่พบขาดเป็นเส้นสั้นๆ และหยิกงอ

รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยของการทดลองชุดที่ 3 มีค่า F/M ของถังเติมอากาศใบแรกเฉลี่ย 10.1 กก.COD/กก.MLSS-วัน จากผลการทดลองชุดนี้พบว่าลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปของระบบค่อนข้างปกติ เมื่อทำการทดลองจนถึงสภาวะ steady state พบว่าลักษณะของตะกอนจับตัวกันทึบแน่น(คล้ายเป็นชั้นตะกอน) เมื่อนำไปส่องดู

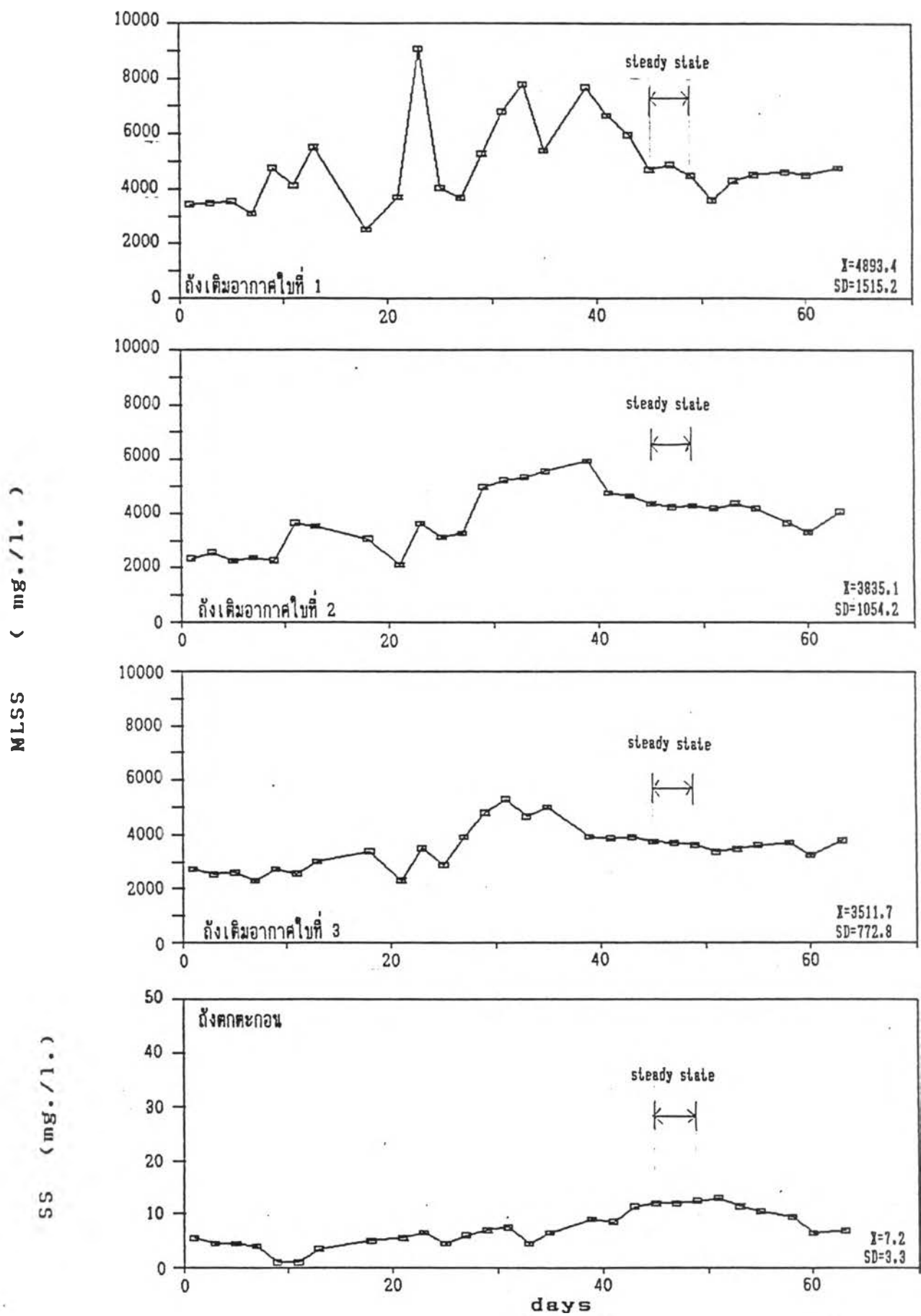
MLSS (mg./l.)



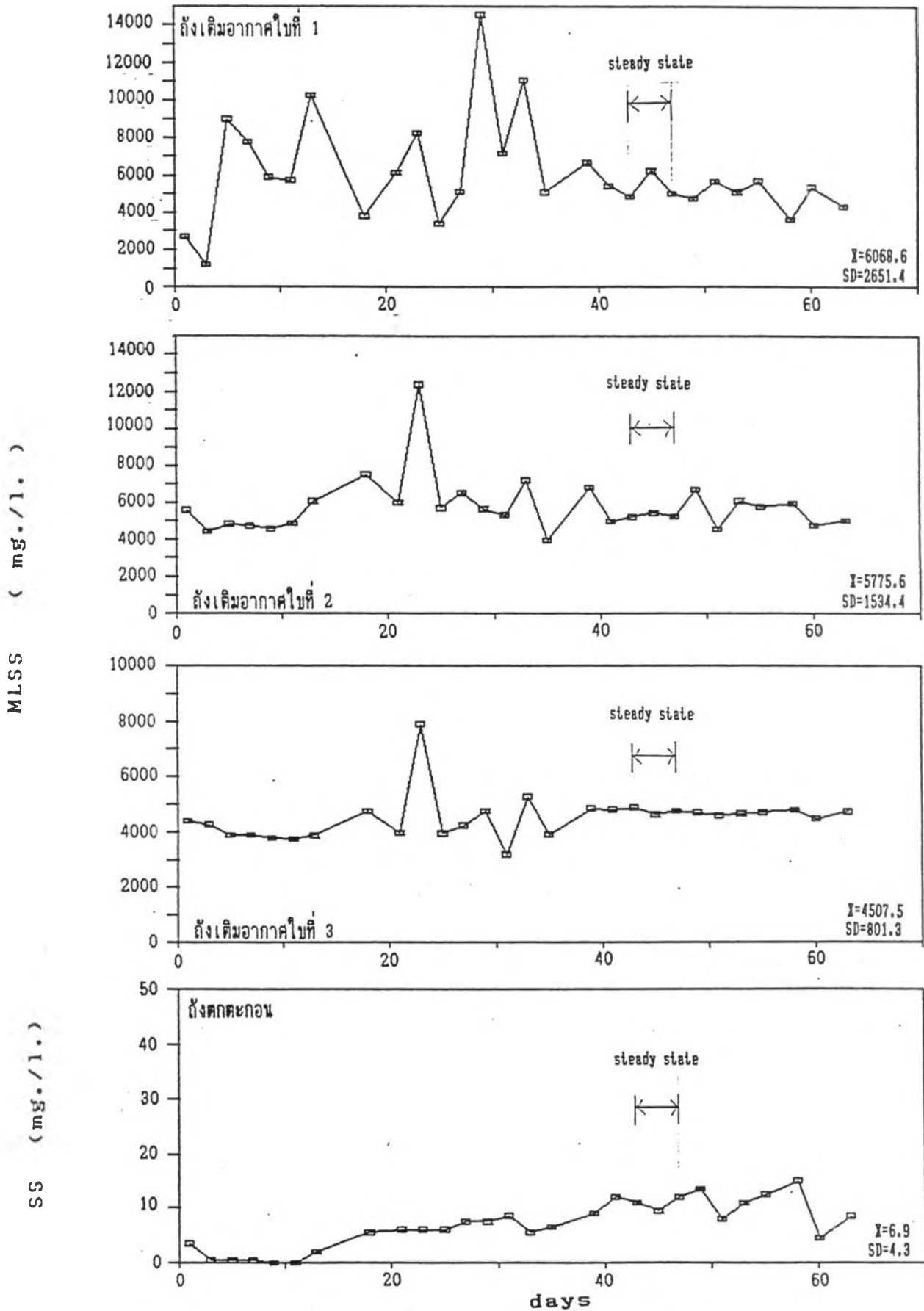
SS (mg./l.)



รูปที่ 5.10 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1



รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2



รูปที่ 5.12 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3

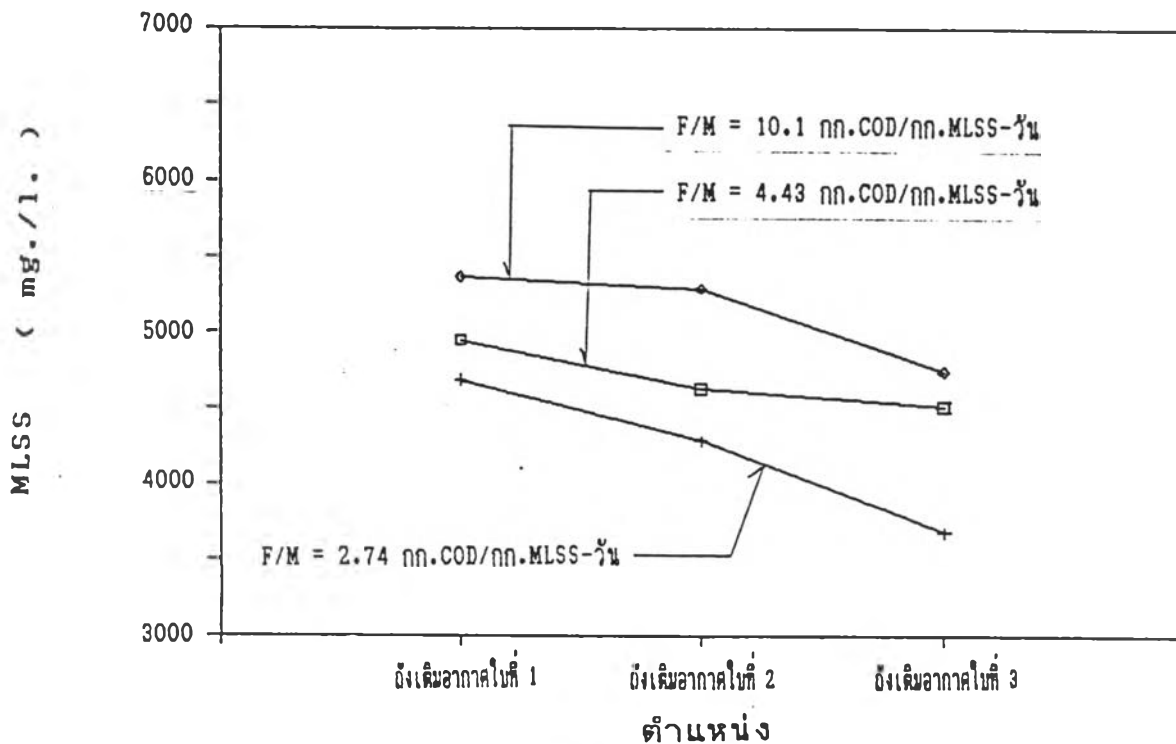
ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในช่วง
steady state ของการทดลองทั้ง 3 ชุด

การทดลอง ชุดที่	F/M เฉลี่ย ในถังเติมอากาศใบแรก (กก.COD/กก.MLSS-วัน)	ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)			
		ถังเติมอากาศ			ถัง ตก ตะกอน
		ใบที่ 1	ใบที่ 2	ใบที่ 3	
1	4.43	4953	4637	4517	23
2	2.74	4687	4290	3687	12
3	10.10	5374	5295	4753	11

ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่ากลุ่มของตะกอนแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคถูกนั้นเกี่ยวข้องกับแบคทีเรียชนิดเส้นใยที่ขาด ทำให้ชั้นตะกอนใหญ่และหนักจึงตกตะกอนได้เร็ว และได้น้ำในถังตกตะกอนใสสามารถวัดความเข้มข้นของตะกอนได้เท่ากับ 5,374 , 5,295 และ 4,753 มก./ล. ในถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และน้ำทิ้งจากถังตกตะกอนมีความเข้มข้น 11 มก./ล.

รูปที่ 5.13 และตารางที่ 5.3 แสดงความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในถังเติมอากาศใบที่ 1 , 2 และ 3 ของการทดลองทั้ง 3 ชุด พบว่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยมีค่ามากในถังเติมอากาศในแรก และจะมีค่าลดลงตามอนุกรมของถังเติมอากาศ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากท่อน้ำนำตะกอนออกจากถังเติมอากาศใบที่ 1 และใบที่ 2 มีขนาดเล็ก ทำให้มีตะกอนบางส่วนเหลือตกค้างอยู่ภายในท่อ และสะสมตัวเพิ่มเป็นชั้นหนาขึ้น จนกระทั่งชั้นตะกอนดังกล่าวทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกรองตะกอนให้ออกจากถังเติมอากาศได้น้อยลง และส่งผลให้มีตะกอนบางส่วนสะสมตัวเพิ่มมากขึ้นในถังเติมอากาศ และเนื่องจากถังเติมอากาศใบที่ 1 และใบที่ 2 มีขนาดเล็ก เมื่อเกิดการสะสมตัวของตะกอนในถังเติมอากาศเพียงช่วงเวลาสั้นๆ ก็อาจทำให้ความเข้มข้นของตะกอนที่วัดได้ในถังเติมอากาศใบที่ 1 และใบที่ 2 มีค่าสูงเกินกว่าปรกติ ส่วนในถังเติมอากาศใบที่ 3 ซึ่งมีขนาดใหญ่ เมื่อเกิดการสะสมตัวของตะกอนในช่วงเวลาสั้นๆก็ไม่ทำให้ความเข้มข้นของตะกอนเปลี่ยนแปลงไปมากนัก จากลักษณะที่เกิดขึ้นทำให้ต้องใช้น้ำฉีดล้างทำความสะอาดท่ออยู่เสมอๆ และได้นำจุดบกพร่องดังกล่าวมาแก้ไขในการทดลองชุดที่ 2 และชุดที่ 3 ด้วยการเปลี่ยนขนาดท่อน้ำนำตะกอนออก ให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ขึ้นจากเดิม 1 ซม. เปลี่ยนไปเป็น 2 ซม. และเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำท่อจากเดิมเป็นท่อพีวีซีไปเป็นท่อแก้วแล้วก็ตาม แต่ก็ยังพบว่าการสะสมตัวของตะกอนยังคงเกิดขึ้นบ้างเป็นครั้งคราว

และจากรูปที่ 5.13 และตารางที่ 5.3 ได้แสดงให้เห็นอีกว่าผลการทดลองชุดที่ 2 และชุดที่ 3 มีความเข้มข้นของตะกอนแตกต่างกันอย่างมาก ทั้งที่ได้น้ำเสี้ยวที่มีสารอินทรีย์ ตลอดจนการทดลองใกล้เคียงกัน (ทดลองพร้อมกัน และใช้น้ำเสี้ยวที่เตรียมจากที่เดียวกัน) ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากน้ำเสี้ยวของการทดลองทั้ง 2 ชุด ใช้ปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) เป็นตัวปรับพีเอช ซึ่งผลของแคลเซียมเชื่อว่าทำให้เกิดการสร้างผลึกขึ้นภายในเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้ตะกอนมีน้ำหนักมากขึ้นและตกตะกอนได้ดี (19) แต่จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในการทดลองชุดที่ 2 และชุดที่ 3 มีความแตกต่างกันคือ ในการทดลองชุดที่ 2 พบแต่แบคทีเรียสร้างฟลอคเกิดขึ้นมาก และลักษณะฟลอคเป็นก้อนปุยตกตะกอนได้ดี ในขณะที่การทดลองชุดที่ 3 ตะกอนมีลักษณะคล้ายเป็นก้อนชิ้นๆ เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่ามีแบคทีเรียชนิดเส้นใยพันเกี่ยวอยู่กับแบคทีเรียสร้างฟลอค (ไม่พบแบคทีเรียเส้นใยโตเป็นกลุ่มใดๆ) ทำให้ตะกอนมีลักษณะทึบแน่นคล้ายเป็นชั้นตะกอน ซึ่งเชื่อว่านอกจากการเกาะเกี่ยวกันของแบคทีเรียชนิดเส้นใยกับแบคทีเรียสร้างฟลอคจะทำให้เนื้อตะกอนทึบแน่นแล้ว อาจเกิดผลึกของแคลเซียม



รูปที่ 5.13 แสดงค่าเฉลี่ย ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย
ที่ตำแหน่งต่างๆ ในช่วง steady state

ขึ้นภายในกลุ่มของก้อนตะกอนเช่น ผลึกของแคลเซียมฟอสเฟตที่เป็นผลเนื่องจากปูนขาวที่เติมเพื่อปรับพีเอชของน้ำเสีย และฟอสเฟตที่เติมลงไปเพื่อเป็นอาหารเสริมสร้างเซลล์ ทำให้เกิดการ Precipitated Wagner (20) ได้สรุปว่าเป็นที่เชื่อได้ว่าการรักษาระดับพีเอชให้มีค่าสูงพอเหมาะในระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ จะสามารถทำให้เกิด precipitation ของแคลเซียมฟอสเฟตภายในเซลล์ของแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอค และไม่เคยปรากฏชัดว่าเกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอนในระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ นอกจากนี้ยังเชื่อได้ว่าฟอสเฟตใน Precipitation form จะถูกแบคทีเรียนำไปใช้ได้

5.5 การตกตะกอนที่เวลา 30 นาที (V_{30})
และดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)

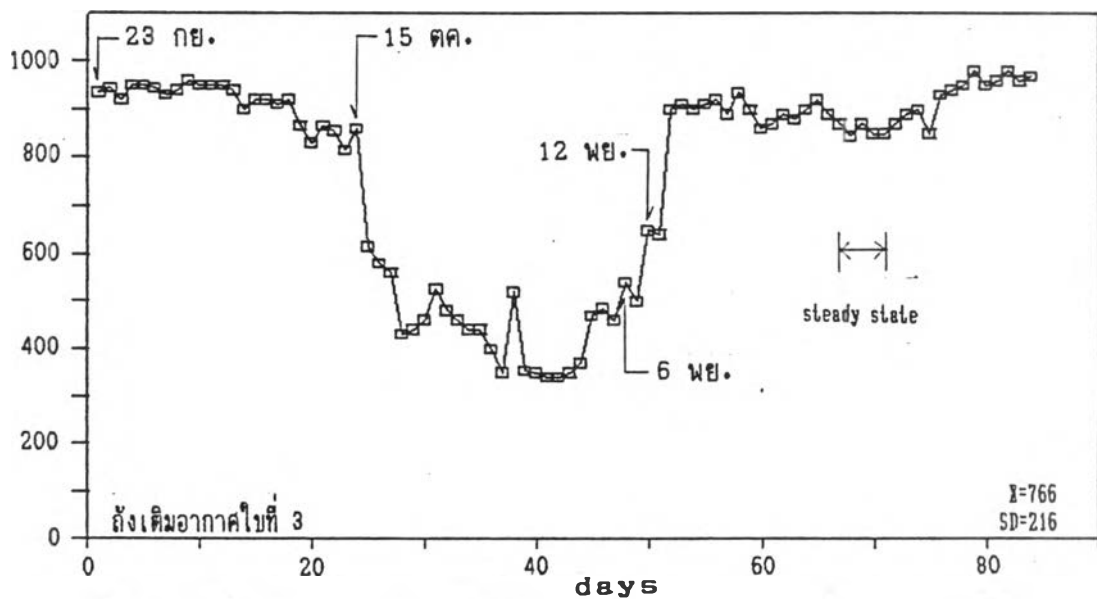
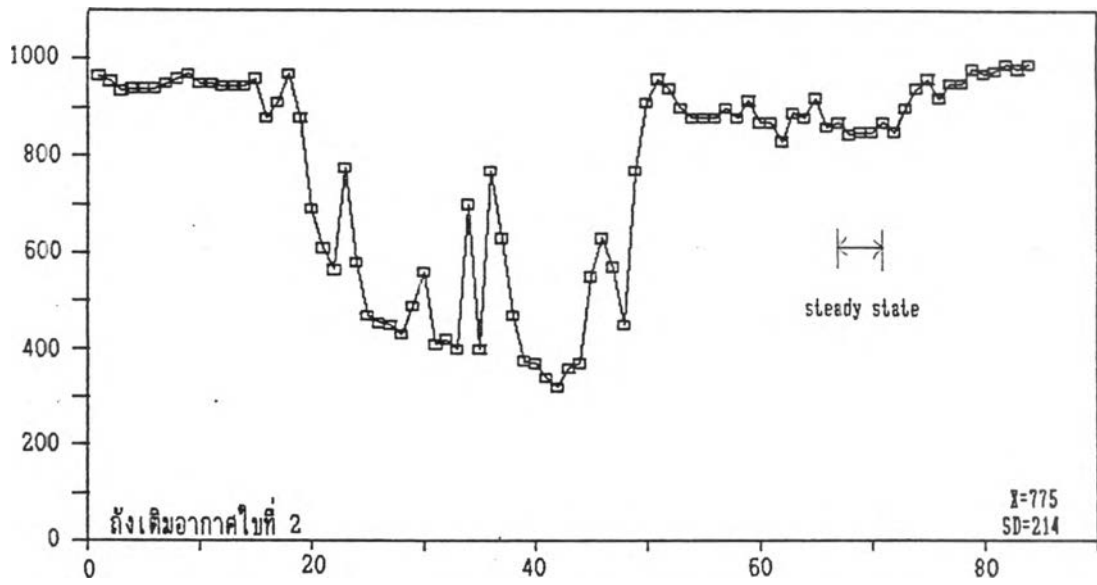
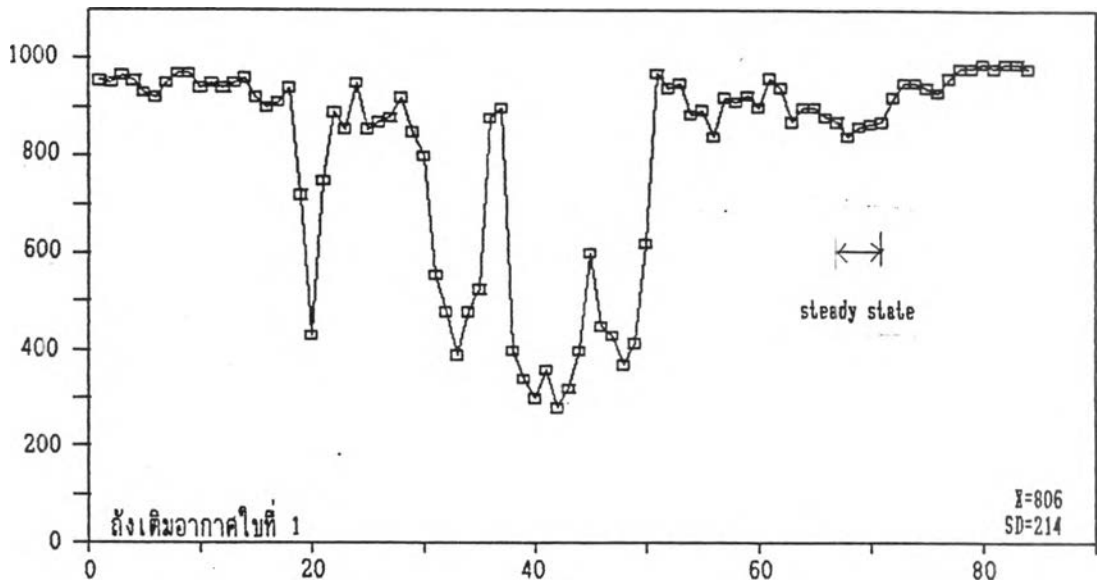
รูปที่ 5.14 - 5.16 กราฟแสดงค่าการตกตะกอนที่เวลา 30 นาที ที่ตำแหน่งต่างๆ และรูปที่ 5.17 กราฟแสดงของค่าเฉลี่ยการตกตะกอนที่เวลา 30 นาที ในช่วง steady state โดยมีค่าเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 5.4

รูปที่ 5.18 - 5.20 กราฟแสดงค่าดัชนีปริมาตรตะกอน ที่ตำแหน่งต่างๆ และรูปที่ 5.21 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยดัชนีปริมาตรตะกอนในช่วง steady state โดยมีค่าเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 5.5

รูปที่ 5.14 และ 5.18 แสดงผลการทดลองชุดที่ 1 ซึ่งมีค่า F/M ในถังเติมอากาศใบแรกเฉลี่ย 4.43 กก.COD/กก.MLSS-วัน เมื่อเริ่มต้นทำการทดลอง หัวเชื้อตะกอนที่นำมาจากโรงงานผลิตยาและลูกกวาดอยู่ในสภาวะที่ยังไม่สามารถย่อยสลายน้ำเสียได้ดี และมีค่าการตกตะกอนที่เวลา 30 นาทีสูงประมาณ 930 - 960 มล./ล. หลังจากเลี้ยงตะกอนดังกล่าวด้วยน้ำเสียจริงที่นำมาจากโรงงานผลิตยาและลูกกวาด โดยปรับพีเอชของน้ำเสียอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 23 วัน (23 กันยายน - 15 ตุลาคม) ระบบเริ่มมีแนวโน้มปรับตัวไปในทิศทางที่ดีขึ้น ในระยะนี้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายน้ำเสียได้ดีขึ้นและน้ำออกจากถังตกตะกอนใส การตกตะกอนที่เวลา 30 นาทีของถังเติมอากาศทุกใบมีค่าต่ำ เนื้อตะกอนและชั้นตะกอนมีความแน่นตัวดี หลังจากนั้น (6 พฤศจิกายน) เริ่มใช้น้ำเสียจริงที่นำมาจากโรงงานผลิตยาและลูกกวาดป้อนเข้าสู่ระบบโดยไม่ปรับพีเอชเพิ่มเติม (น้ำเสียมีการปรับพีเอชมาจากโรงงานแล้ว) พบว่าค่าการตกตะกอนที่เวลา 30 นาทีของถังเติมอากาศทุกใบมีค่าสูงขึ้น และคงที่จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะ steady state การตกตะกอนที่เวลา 30 นาทีมีค่าเท่ากับ 861, 857 และ 857 มล./ล. ในถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และสามารถคำนวณหาค่า ดัชนีปริมาตรตะกอนในระยะนี้ได้เท่ากับ 175, 186 และ 191 มล./ก. จากถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

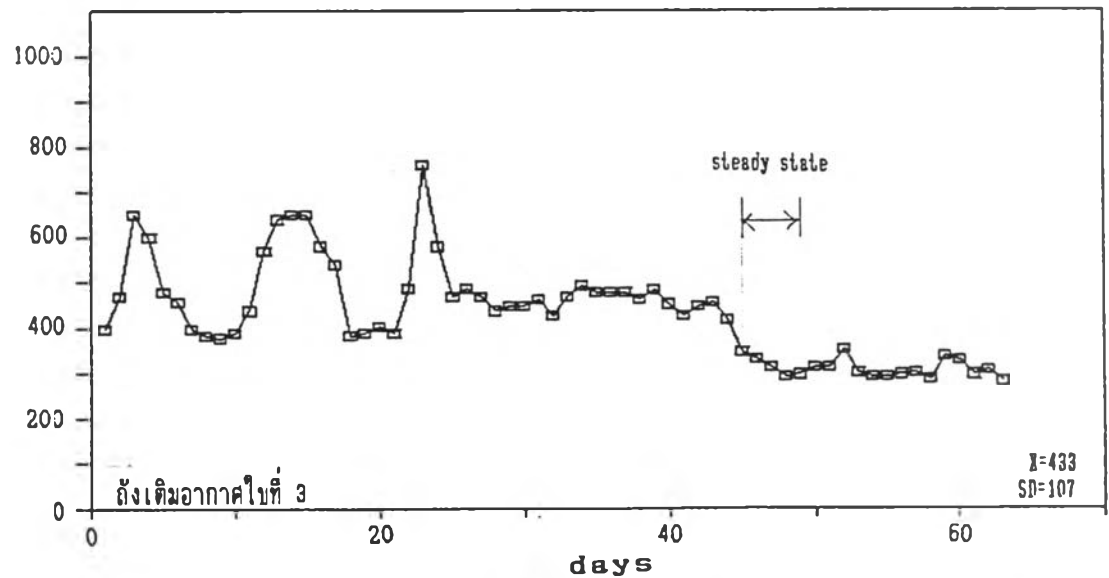
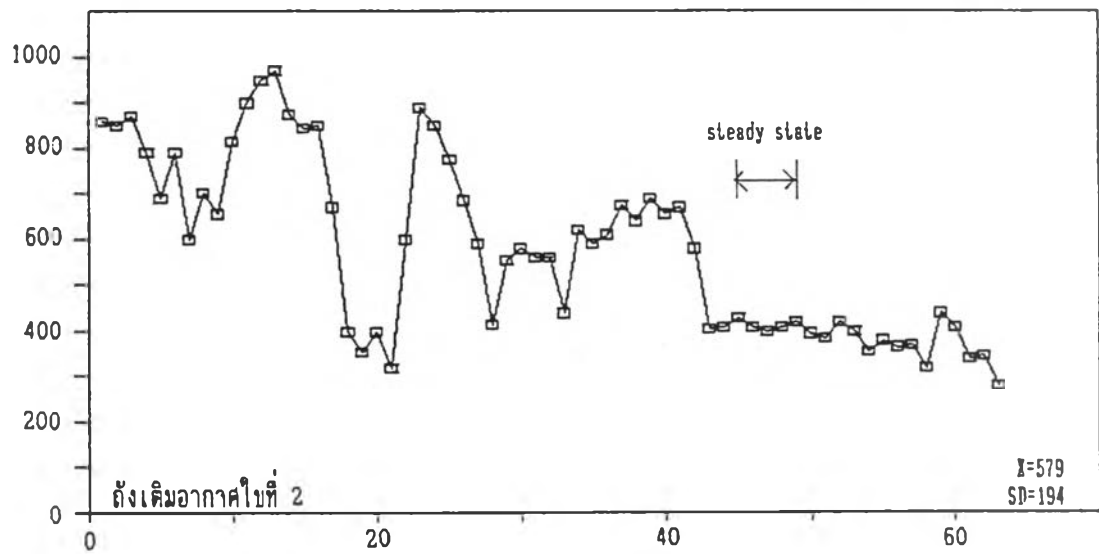
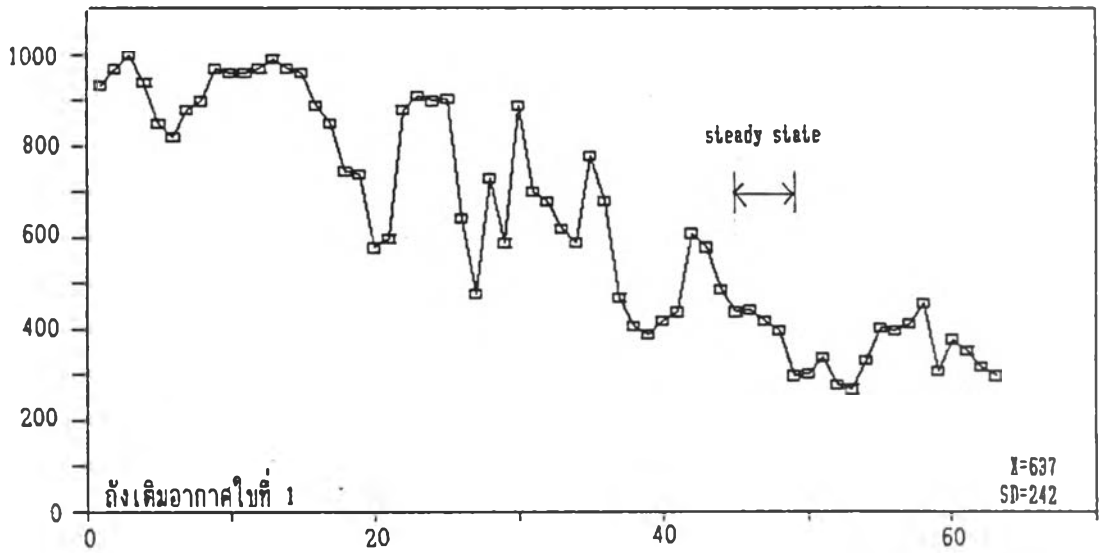
รูปที่ 5.15 และ 5.19 แสดงผลการทดลองชุดที่ 2 ซึ่งมีค่า F/M ในถังเติมอากาศใบแรกเฉลี่ย 2.74 กก.COD/กก.MLSS-วัน เมื่อเริ่มต้นทำการทดลองหัวเชื้อตะกอนที่นำมาจากโรงงานผลิตยาและลูกกวาดมีความคุ้นเคยกับน้ำเสียมาแล้ว แต่หัวเชื้อตะกอนดังกล่าวมีแบคทีเรียชนิดเส้นใยอยู่บ้าง ลักษณะของเส้นใยเป็นสายยาวและเป็นกลุ่มเล็ก ๆ มีค่าการตกตะกอนที่เวลา 30 นาที ค่อนข้างสูง (~600 - 800 มล./ล.) หลังจากที่ได้ทำการทดลองได้ 44 วัน ระบบจึงเข้าสู่สภาวะ steady state พบว่าแบคทีเรียชนิดเส้นใยที่เป็นสายยาวๆหรือเป็นกลุ่มเล็ก ๆ

V₃₀₀ (mg./l.)

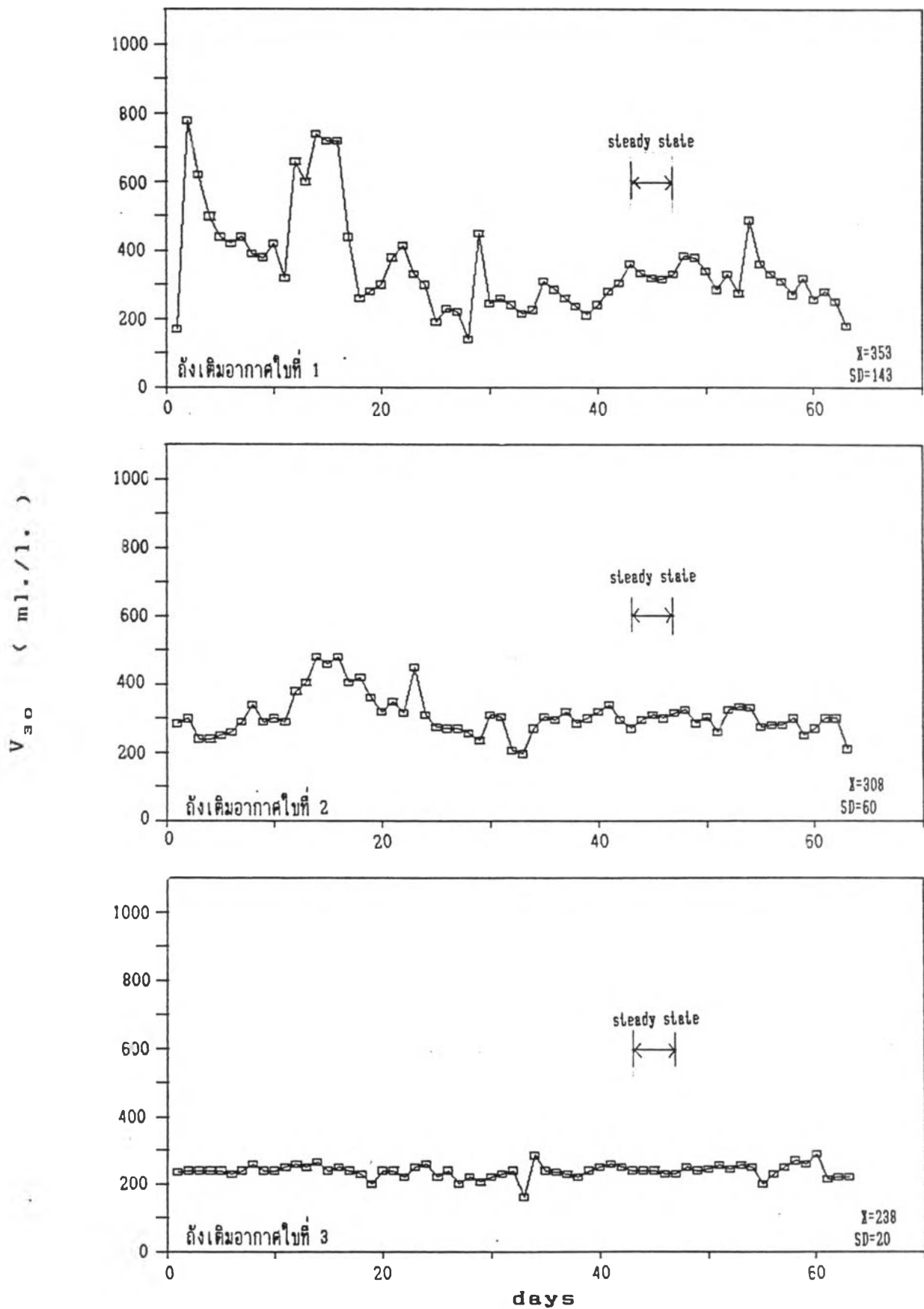


รูปที่ 5.14 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า การตกตะกอนที่เวลา 30 นาที
 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 1

V₃₀₀ (mg./l.)



รูปที่ 5.15 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า การตกตะกอนที่เวลา 30 นาที ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2



รูปที่ 5.16 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า การตกตะกอนที่เวลา 30 นาที ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าการตกตะกอนที่เวลา 30 นาที ในช่วง
steady state ของการทดลองทั้ง 3 ชุด

การทดลอง ชุดที่	F/M เฉลี่ย ในถังเติมอากาศใบแรก (กก.COD/กก.MLSS-วัน)	การตกตะกอนที่เวลา 30 นาที (มล./ล.)		
		ถังเติมอากาศ		
		ใบที่ 1	ใบที่ 2	ใบที่ 3
1	4.43	861	857	857
2	2.74	401	414	319
3	10.10	332	298	236

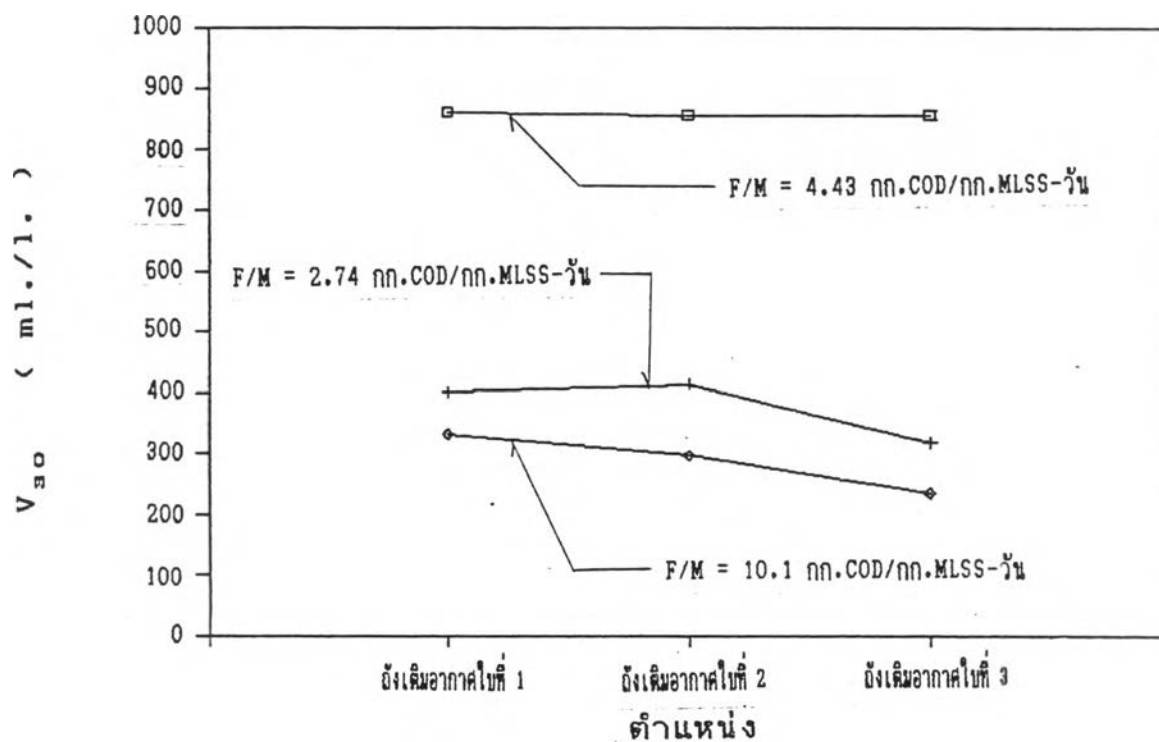
ตารางที่ 5.5 แสดงค่า ดัชนีปริมาตรตะกอน ในช่วง
steady state ของการทดลองทั้ง 3 ชุด

การทดลอง ชุดที่	F/M เฉลี่ย ในถังเติมอากาศใบแรก (กก.COD/กก.MLSS-วัน)	ดัชนีปริมาตรตะกอน (มล./ก.)		
		ถังเติมอากาศ		
		ใบที่ 1	ใบที่ 2	ใบที่ 3
1	4.43	175	186	191
2	2.74	82	97	90
3	10.10	64	56	50

ที่เคยพบเมื่อตอนต้น มีลักษณะขาดเป็นท่อนสั้นๆ และหยิกงอมีเหลือเป็นส่วนน้อยมากในระบบ นอกจากนั้นยังพบว่าตะกอนส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียสร้างฟลอคเกาะกลุ่มกันได้ดี และมีจำนวนมากจนเป็นประจําจุลินทรีย์หลัก ซึ่งเมื่อวัดการตกตะกอนที่เวลา 30 นาทีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 401,414 และ 319 มล./ล. ในถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และสามารถคำนวณค่าดัชนีปริมาตรตะกอนได้เท่ากับ 82, 97 และ 90 มล./ก. ในถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

รูปที่ 5.16 และ 5.20 แสดงผลการทดลองชุดที่ 3 ซึ่งมีค่า F/M ในถังเติมอากาศใบแรกเฉลี่ย 10.1 กก.COD/กก.MLSS-วัน ผลการทดลองวัดการตกตะกอนที่เวลา 30 นาทีพบว่าตลอดการทดลองมีความเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย โดยเฉพาะในถังเติมอากาศใบที่ 3 ค่อนข้างคงที่มาก จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์เป็นระยะๆ พบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองหัวเชื้อตะกอนมีแบคทีเรียเส้นใยอยู่บ้างแต่ไม่มากจนเป็นส่วนประกอบหลัก ลักษณะของแบคทีเรียเป็นสายยาวหรือเป็นกลุ่มเล็กๆ เมื่อทำการทดลองจนระบบเข้าสู่สภาวะ steady state พบว่าในถังเติมอากาศทุกใบยังคงมีแบคทีเรียชนิดเส้นใยหลงเหลือเป็นส่วนประกอบของระบบอยู่บ้าง แต่ลักษณะของเส้นใยขาดเป็นเส้นสั้นลงและถูกยึดเกาะด้วยแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอค ทำให้ตะกอนมีลักษณะเป็นก้อนตะกอนชิ้นเล็กๆ ตกตะกอนและจมตัวได้ดี ในระยะนี้สามารถวัดค่าการตกตะกอนที่เวลา 30 นาทีเฉลี่ยได้เท่ากับ 332, 298 และ 236 มล./ล. ในถังเติมอากาศใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และสามารถคำนวณค่าดัชนีปริมาตรตะกอนในช่วงเดียวกันได้เท่ากับ 64, 56 และ 50 มล./ล. ตามลำดับ

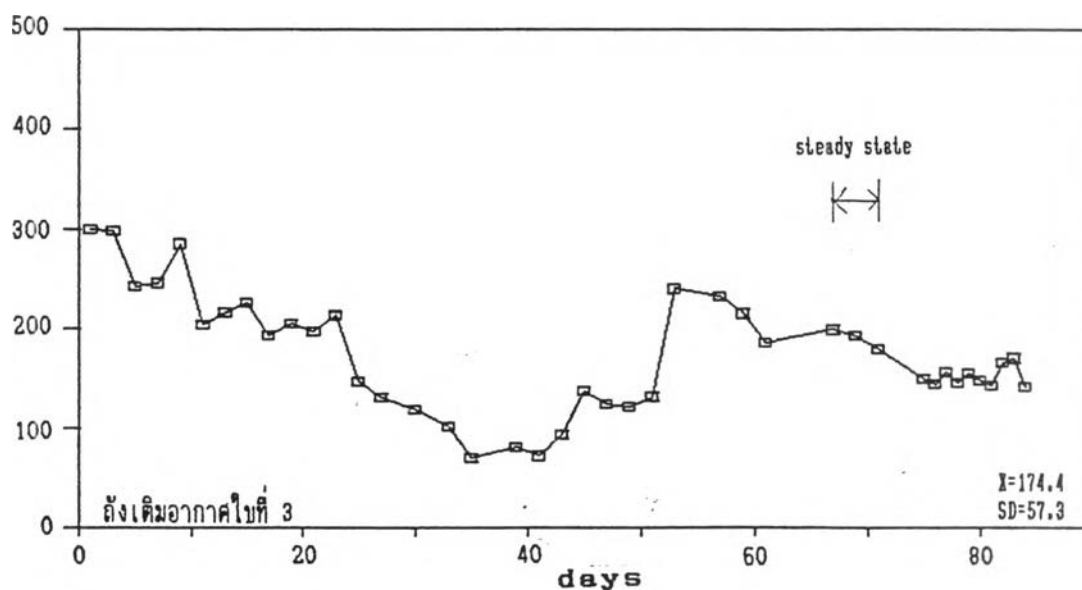
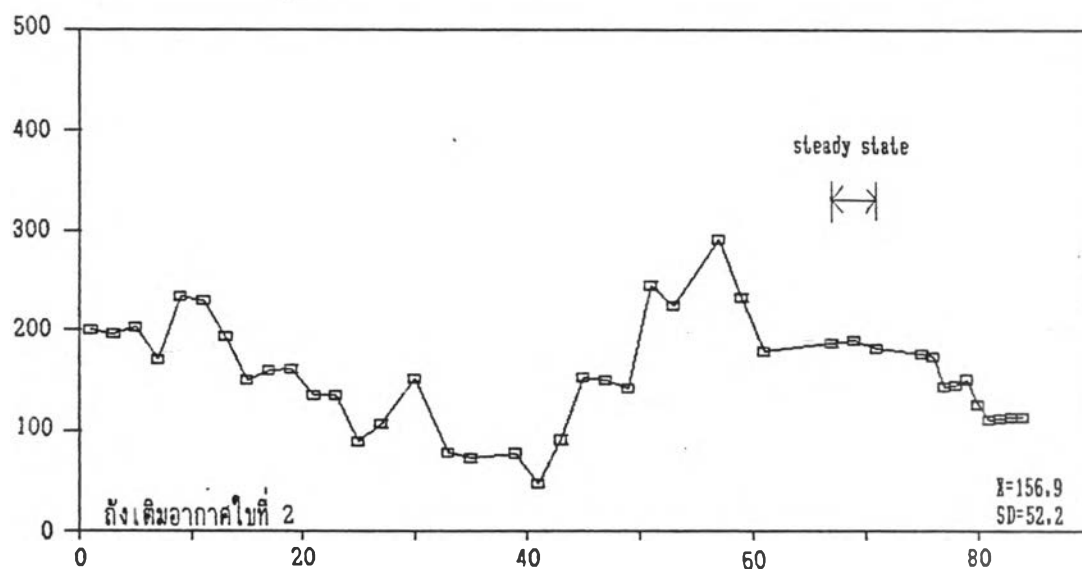
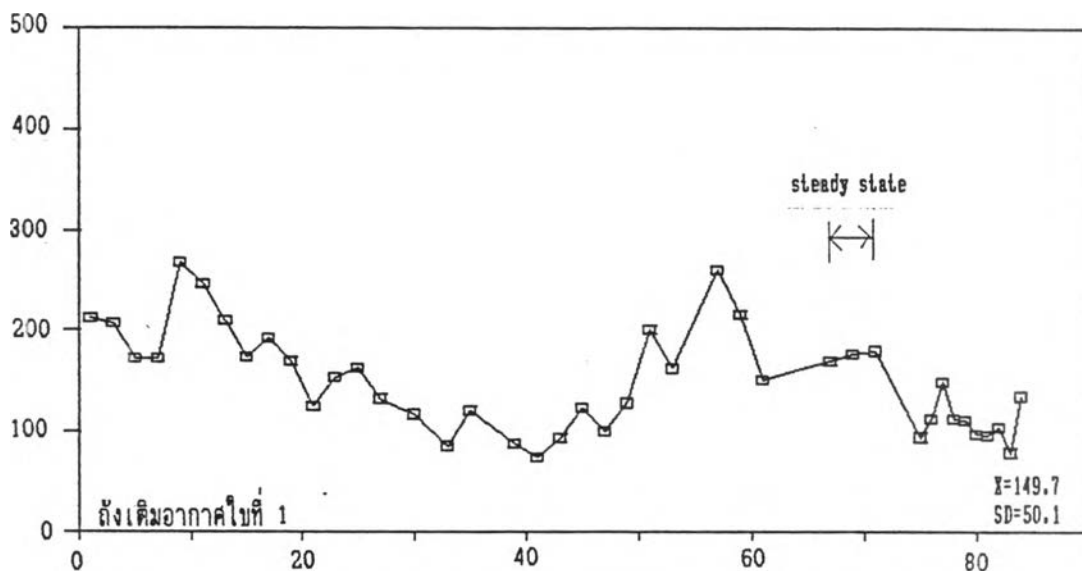
รูปที่ 5.17 และ 5.21 กราฟแสดงค่าการตกตะกอนที่เวลา 30 นาที และค่าดัชนีปริมาตรตะกอน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะ steady state ของการทดลองทั้ง 3 ชุด ซึ่งพบว่า การทดลองชุดที่ 1 มีค่า V_{30} และ SVI สูง และมีผลแตกต่างจากการทดลองชุดที่ 2 และชุดที่ 3 อย่างเห็นได้ชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุสองประการประกอบกันคือ ประการแรกความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยของการทดลองชุดที่ 1 มีค่ามาก(ดังแสดงในตารางที่ 3.5) และประการที่สองการใช้กระบอกตวงขนาดเล็ก(ปริมาตร 100 มล.) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัด V_{30} ส่งผลให้เกิดการตกตะกอนแบบมีอุปสรรค(hindered settling) จากความเข้มข้นของตะกอนและจากอิทธิพลของความเสียดทานจากผนังหลอดแก้ว(wall friction)ซึ่งทำให้การจมตัวของตะกอนมีค่าต่ำลง Hackenberger(1968) (21) ได้ทำการทดลองการจมตัวของตะกอนในระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ด้วยกระบอกตวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 ซม. สูง 34 ซม. พบว่าความเข้มข้นตะกอนเท่ากับ 4.29 ก./ล. จะเริ่มทำให้เกิดการจมตัวของตะกอนแบบมีอุปสรรค และ Stobbe (1969) ได้ทำการศึกษาผลของความเสียดทานเนื่องจากผนัง พบว่าความเสียดทานเนื่องจากผนังจะไม่เกิดขึ้นในหลอดตกตะกอนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 30 ซม.



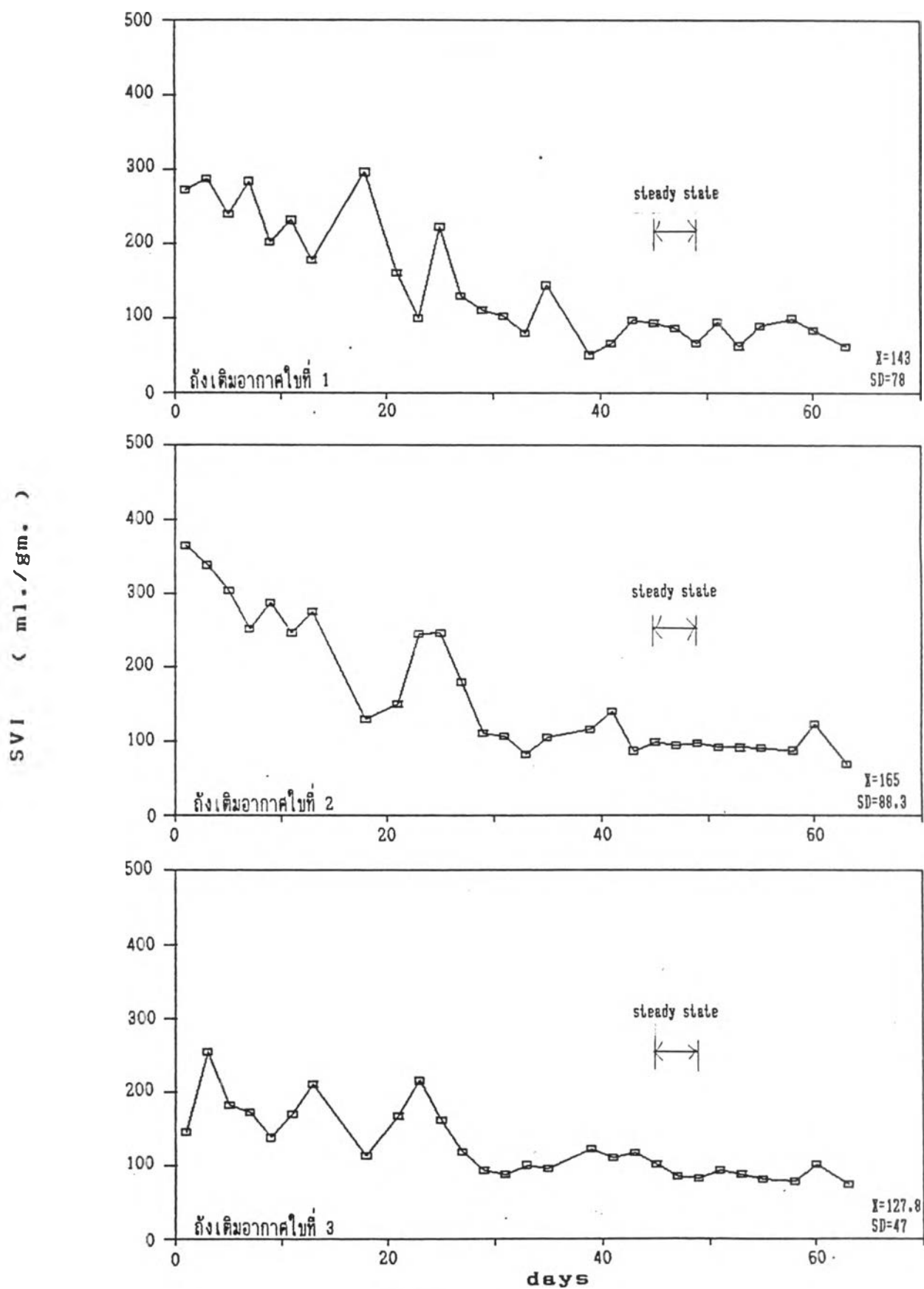
รูปที่ 5.17 แสดงค่าเฉลี่ย การตกตะกอนที่เวลา 30 นาที
ที่ตำแหน่งต่างๆ ในช่วง steady state

และจากรูปที่ 5.17 และ 5.21 ยังพบว่า การทดลองชุดที่ 2 มีค่า V_{30} สูงกว่าการทดลองชุดที่ 3 ทั้งที่การทดลองชุดนี้มีแบคทีเรียเส้นใยเป็นส่วนประกอบอยู่ในระบบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะพบว่าถ้าระบบมีแบคทีเรียเส้นใยเกิดขึ้นจะทำให้ V_{30} มีค่าสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการทดลองชุดที่ 3 แม้ว่าจะมีแบคทีเรียเส้นใยเกิดขึ้น แต่ลักษณะของเส้นใยไม่ได้เติบโตเต็มที่หรือมีเป็นจำนวนมากจนเป็นส่วนประกอบหลักของระบบ แบคทีเรียเส้นใยที่พบมีลักษณะขาดและหยิกงอ และเกาะตัวรวมกับแบคทีเรียสร้างฟลอคจนดูเหมือนเป็นชั้นตะกอน นอกจากนั้นยังเชื่อว่าการสร้างผลึกของแคลเซียมภายในก้อนตะกอน (ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.4) ผลึกดังกล่าวสามารถสังเกตเห็นได้ในระบบจริง เมื่อสามารถควบคุมพีเอชในถังเดิมอากาศให้มีค่าใกล้เคียง 8 เป็นเวลานาน จะทำให้ตะกอนหนักและจมตัวได้เร็ว ชั้นตะกอนต่ำ ส่งผลให้ค่า SVI ของการทดลองชุดที่ 3 มีค่าต่ำกว่าในการทดลองชุดที่ 2 ด้วย

SVI (ml./gm.)

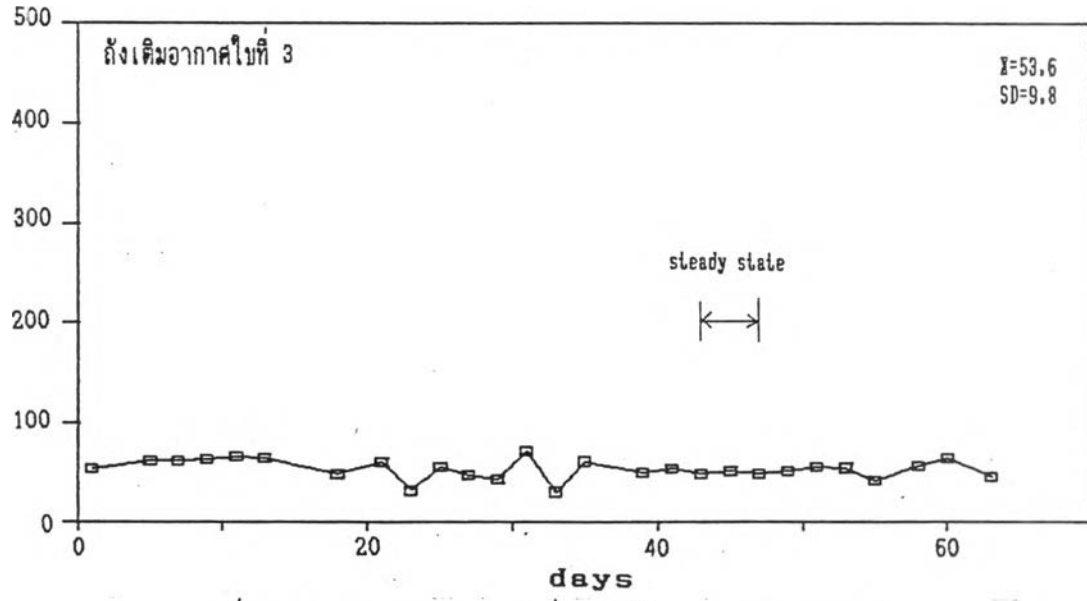
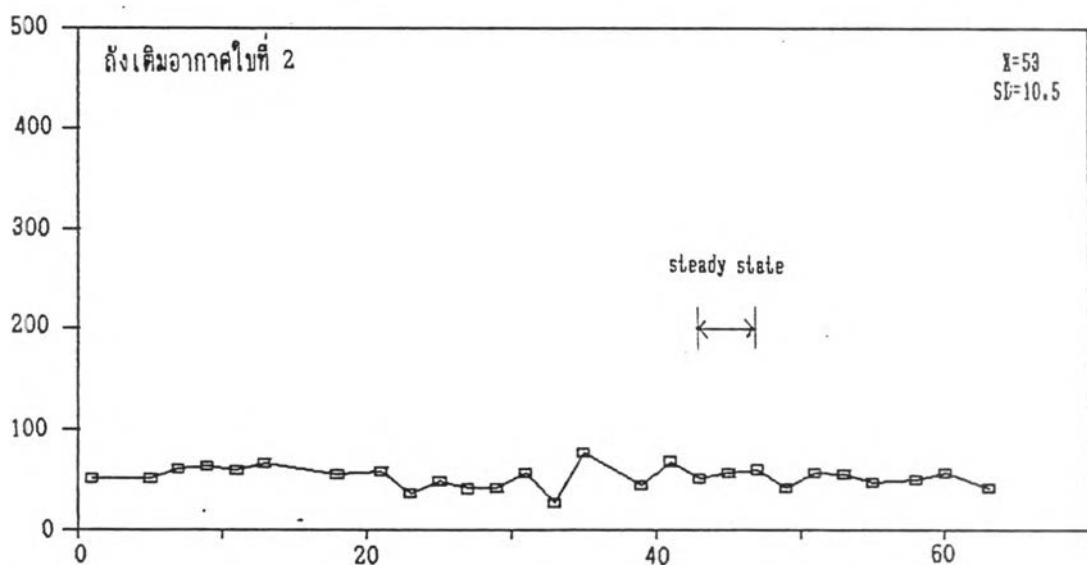
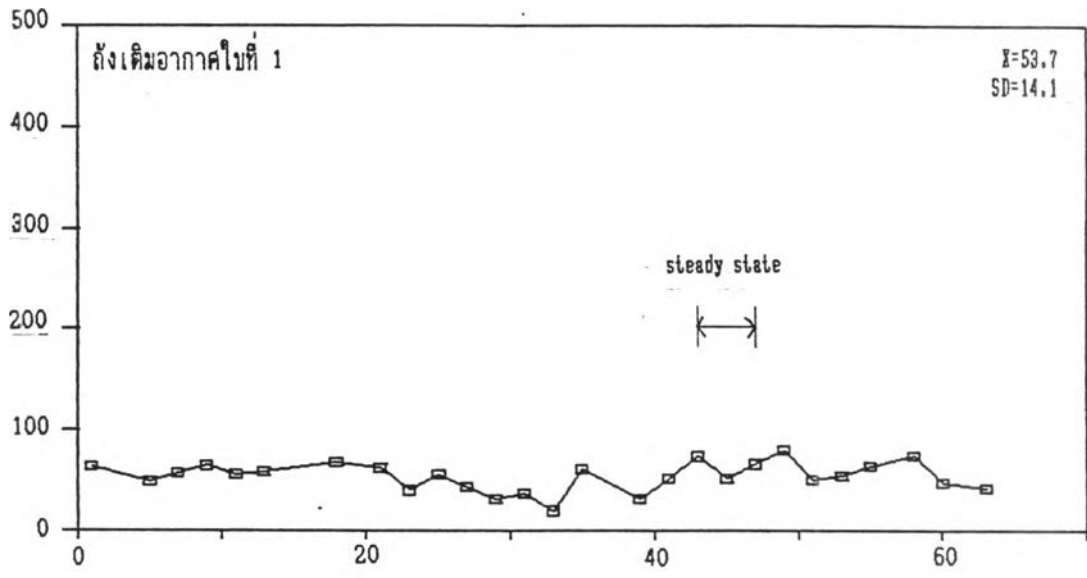


รูปที่ 5.18 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ดัชนีปริมาตรตะกอน ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1

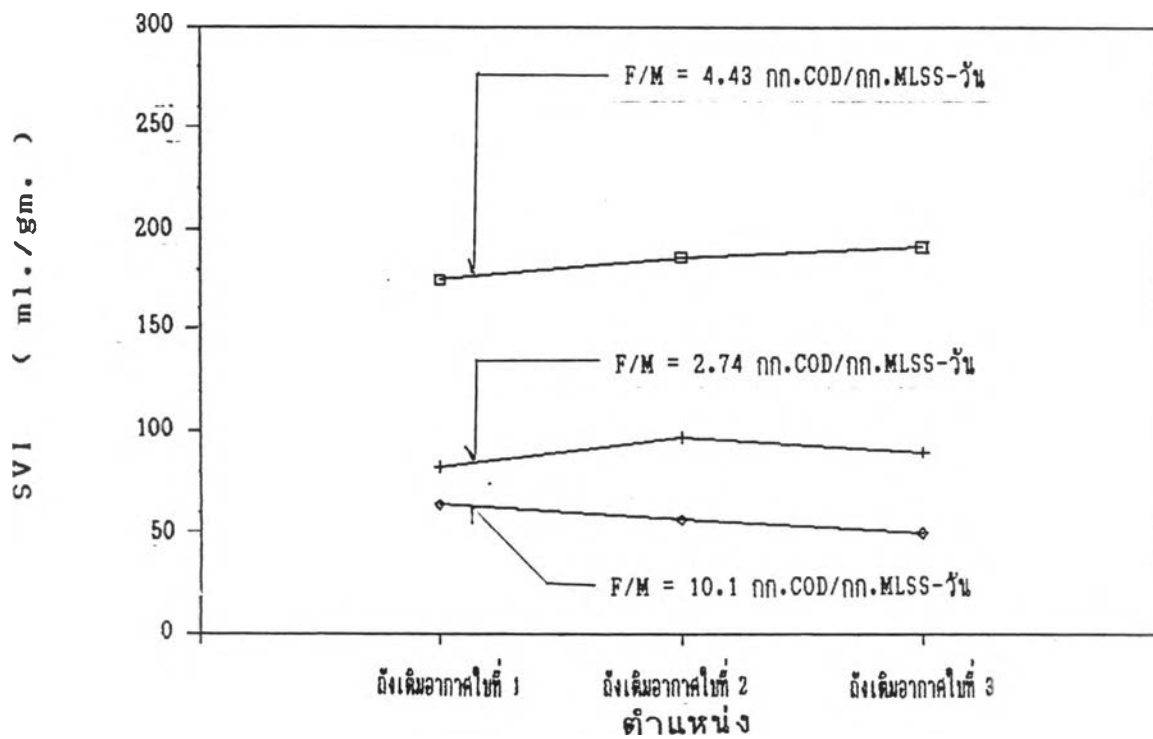


รูปที่ 5.19 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ดัชนีปริมาตรตะกอน ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2

SVI (ml./gm.)



รูปที่ 5.20 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ดัชนีปริมาณตะกอน
ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3



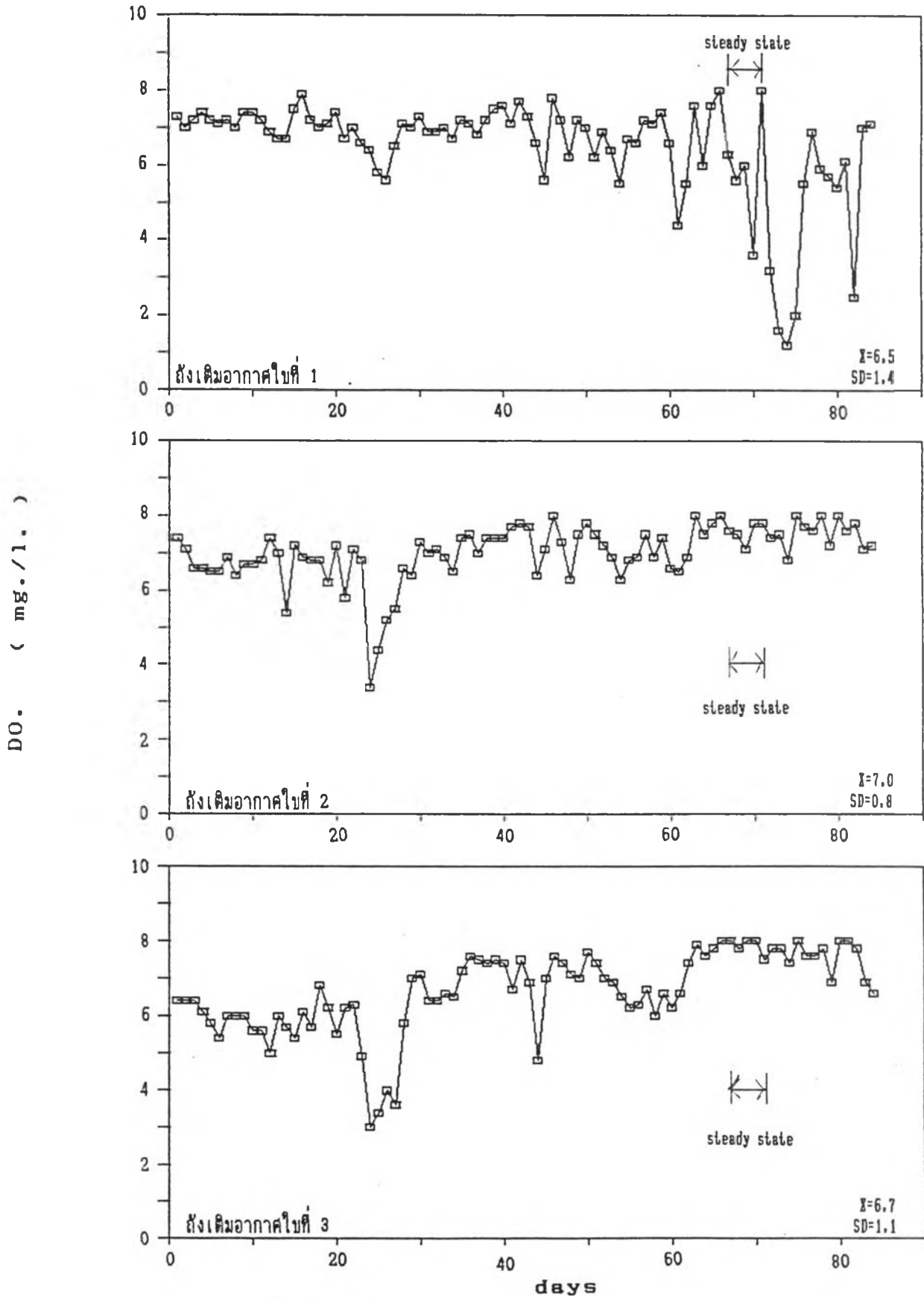
รูปที่ 5.21 แสดงค่าเฉลี่ย ดัชนีปริมาณตะกอน ที่ตำแหน่งต่างๆ
ในช่วง steady state

5.6 ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

การวิจัยครั้งนี้ได้มีการเติมอากาศให้กับถังเติมอากาศทุกใบ สำหรับทุกชุดการทดลอง ในปริมาณที่มากเกินพอ เพื่อให้ได้เกิดการกวนผสม (Mixing) อย่างทั่วถึง และเป็นการเติม ออกซิเจนให้แก่ระบบ โดยมีจุดมุ่งหมายในการป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเป็นสารจำกัดการเจริญ เติบโตของจุลินทรีย์ (Limiting Substrate) ในระบบ เนื่องจากหากปล่อยให้ระบบมีออกซิเจน ละลายน้ำต่ำ จะเกิดการแย่งออกซิเจนระหว่างแบคทีเรียสร้างฟลอคและแบคทีเรียเส้นใย และ ส่งผลให้แบคทีเรียเส้นใยซึ่งเจริญเติบโตได้ดีในช่วงสับสเตรทต่ำ สามารถแย่งออกซิเจนได้มาก กว่าและเจริญเติบโตจนเป็นประชากรส่วนใหญ่ของระบบ ทำให้เป้าหมายในการทดลองผิดพลาด

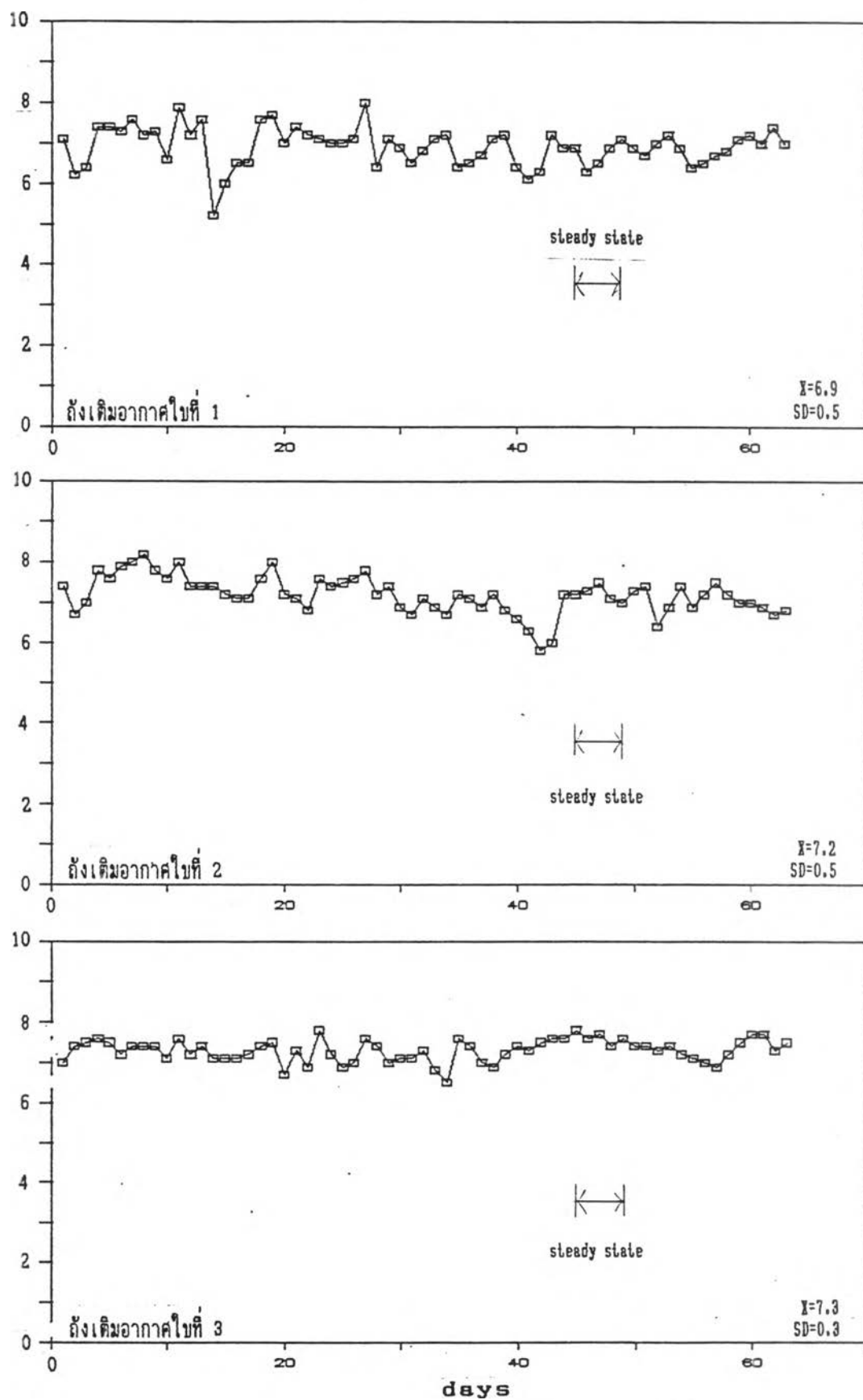
รูปที่ 5.22 - 5.24 กราฟแสดงผลการทดลองวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำในถังเติม อากาศของการทดลองทั้ง 3 ชุด ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าตลอดการทดลองทั้ง 3 ชุด สามารถ ควบคุมการเติมอากาศให้ออกซิเจนละลายน้ำมีค่าสูงเกินพอ ยกเว้นในถังเติมอากาศใบแรก ของการทดลองชุดที่ 1 (4 ชุด.31 และ 5 ชุด.31) มีค่าออกซิเจนละลายน้ำลดต่ำลงมาอ่าน ได้ 1.6 และ 1.2 มก./ล. เนื่องจากมีการอุดตันของหัวจ่ายลมเกิดขึ้น ประกอบกับในขณะ นั้นเซลล์แบคทีเรียในถังเติมอากาศใบแรกมีความเข้มข้นสูงมาก ประมาณ 9000 มก./ล. ทำให้ออกซิเจนละลายน้ำถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว ภายหลังได้มีการแก้ไขปรับปรุงหัวจ่ายลมจึงทำให้ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงขึ้นตามเดิม

รูปที่ 5.25 และตารางที่ 5.6 แสดงค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลายน้ำในช่วง steady state ของการทดลองทั้ง 3 ชุด พบว่าออกซิเจนละลายน้ำในถังเติมอากาศใบแรกมีค่า ต่ำสุด และมีค่าสูงขึ้นตามอนุกรมถังเติมอากาศสอดคล้องกันทั้ง 3 การทดลอง ทั้งนี้เนื่องจาก ถังเติมอากาศใบแรกมีขนาดเล็กที่สุดในอนุกรมของถังเติมอากาศที่ใช้ทำการทดลอง มีการป้อน น้ำเสียและเวียนตะกอนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศใบแรก ทำให้ถังเติมอากาศใบแรกมีความเข้มข้น ของสารอาหารสูงสุด และมีอัตราเร็วของปฏิกิริยาในการกำจัดสารอาหารสูงสุด ทำให้ถังเติม อากาศใบแรกมีความจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในปริมาณที่สูงมาก เพื่อให้แบคทีเรียสามารถนำไป ใช้ในกระบวนการย่อยสลายน้ำเสีย และสร้างเซลล์ใหม่ ส่วนในถังเติมอากาศใบที่ 2 และ 3 ความเข้มข้นสารอาหารมีค่าลดลง ทำให้ความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายน้ำเสียมีค่าลดลง จึงสามารถวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำในถังเติมอากาศใบที่ 2 และ 3 ได้สูงขึ้น (เปรียบเทียบกับสัดส่วนจำนวนหัวจ่ายลมโดยไม่ได้วัดปริมาณลม) ถังเติมอากาศใบที่ 3 มีความเข้มข้นของสาร อาหารเหลืออยู่น้อยมากทำให้แบคทีเรียต้องการออกซิเจนเพื่อย่อยสลายน้ำเสียต่ำสุด แต่ออกซิเจน ส่วนใหญ่ถูกใช้ไปเพื่อการสลายตัวของเซลล์ที่ตายแล้ว ดังนั้นจึงทำให้ออกซิเจนละลายน้ำใน ถังเติมอากาศสามารถวัดค่าได้สูงขึ้นตามอนุกรมถังเติมอากาศ

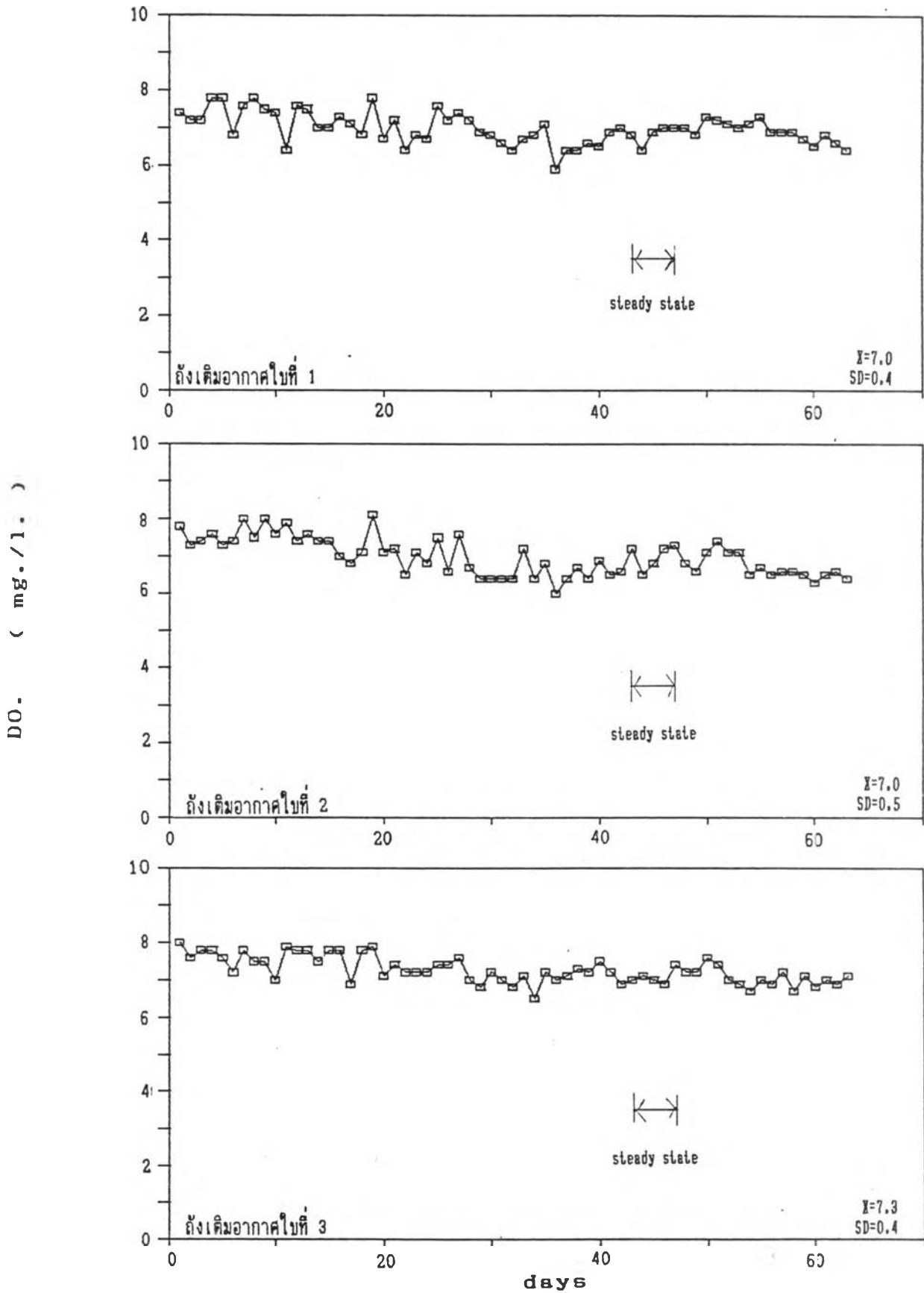


รูปที่ 5.22 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ออกซิเจนและลาซน้ำ ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1

DO. (mg./l.)



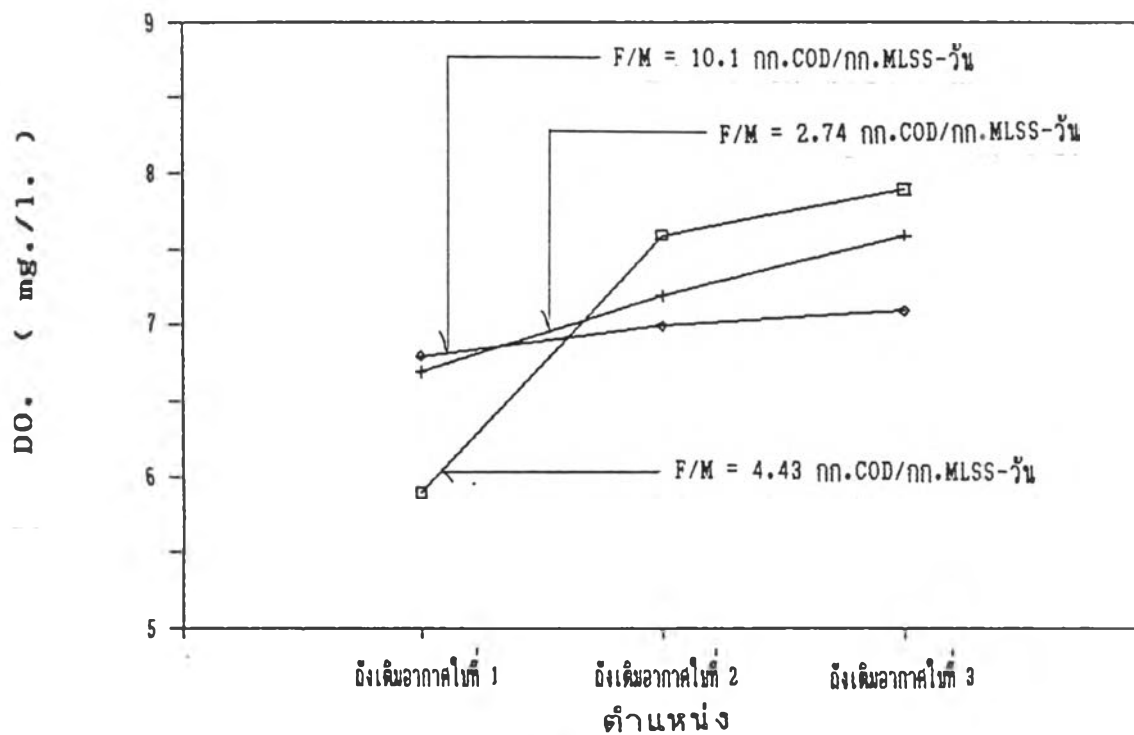
รูปที่ 5.23 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ออกซิเจนละลายน้ำ ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2



รูปที่ 5.24 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ออกซิเจนละลายน้ำ ที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลายน้ำในช่วง
steady state ของการทดลองทั้ง 3 ชุด

การทดลอง ชุดที่	F/M เฉลี่ย ในถังเติมอากาศใบแรก (กก. COD/กก. MLSS-วัน)	ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)		
		ถังเติมอากาศ		
		ใบที่ 1	ใบที่ 2	ใบที่ 3
1	4.43	5.9	7.6	7.9
2	2.74	6.7	7.2	7.6
3	10.10	6.8	7.0	7.1



รูปที่ 5.25 แสดงค่าเฉลี่ย ออกซิเจนละลายน้ำ ที่ตำแหน่งต่างๆ
ในช่วง steady state

และรูปที่ 5.25 และตารางที่ 5.6 จะเห็นว่าออกซิเจนละลายน้ำในตั้งเดิมอากาศโบะแรกของการทดลองชุดที่ 1 มีค่าต่ำกว่าการทดลองชุดที่ 2 และ 3 มาก เนื่องจากการทดลองชุดที่ 1 ในช่วง steady state มีค่าซิโอดีของน้ำเสียเข้าสู่ระบบสูงกว่า ทำให้อัตราการกำจัดซิโอดีมีค่าสูง จึงต้องการออกซิเจนมาก ทำให้ออกซิเจนละลายน้ำที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า

5.7 ลักษณะของจุลินทรีย์พบในการทดลอง

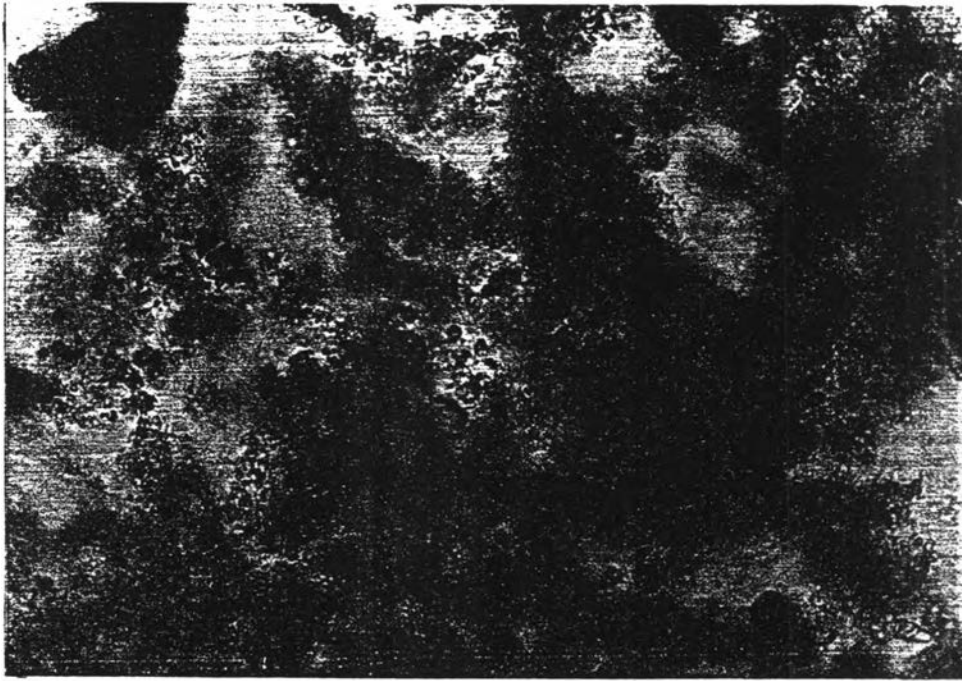
รูปที่ 5.26 - 5.34 เป็นรูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในถังเติมอากาศ ของการทดลองทั้ง 3 ชุด

จากการศึกษาลักษณะของจุลินทรีย์ระหว่างการทดลอง โดยสังเกตความเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการวัดการตกตะกอนที่เวลา 30 นาที และการตกตะกอนในถังตกตะกอน ร่วมกับการใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจดูความเปลี่ยนแปลงของประชาจุลินทรีย์ พบว่าประชาจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศแต่ละใบมีความแตกต่างกัน ทั้งในด้านปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ ซึ่งพอจะจำแนกได้ตามอนุกรมของถังเติมอากาศดังนี้

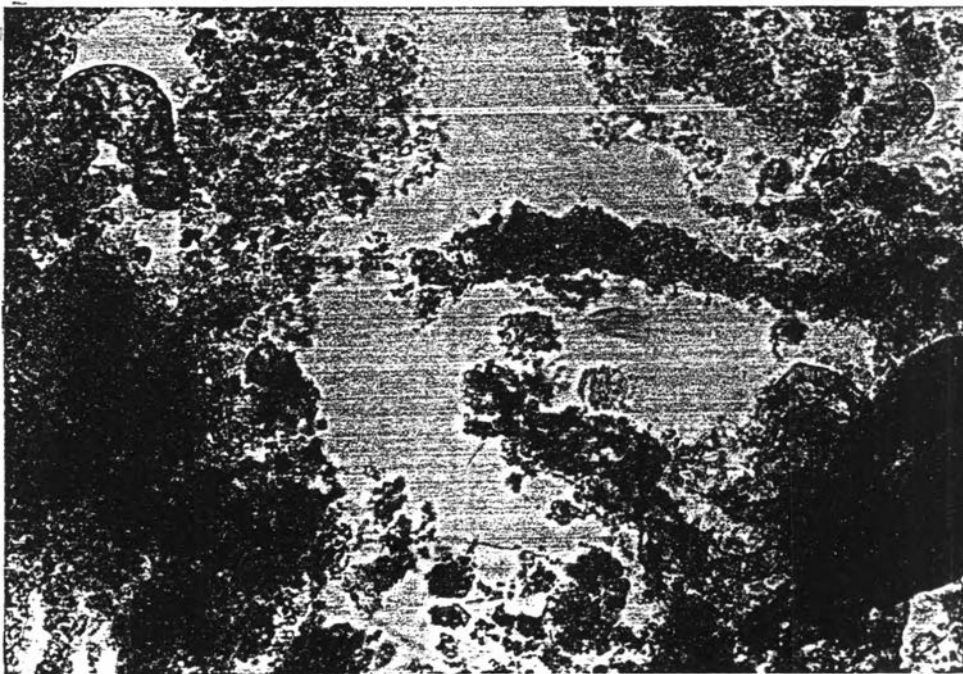
ถังเติมอากาศใบแรก ซึ่งเป็นถังที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าและมีตะกอนเวียนกลับ มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในอัตราสูง เมื่อสังเกตชั้นน้ำใสในกระบอกตวงภายหลังจากทิ้งให้ตกตะกอนนาน 30 นาที มีลักษณะขุ่นคล้ายน้ำขาวขุ่นๆ เนื่องจากมีการเจริญเติบโตแบบแพร่กระจาย (dispersed growth) และสีของชั้นตะกอนในกระบอกตวงชัดเจนกว่าในถังเติมอากาศใบที่ 3 เมื่อนำน้ำตะกอนไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า มีเซลล์แบคทีเรียแบบแพร่กระจายลอยอยู่ทั่วไป ลักษณะของตะกอนที่เกาะตัวกันเป็นฟลอคค่อนข้างโปร่ง (ไม่ทึบแน่นเหมือนในถังเติมอากาศใบที่ 3) และพบแบคทีเรียชนิดเส้นใยอยู่บ้างเล็กน้อย ลักษณะของเส้นใยขาดเป็นเส้นสั้นๆ ไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นยังพบจุลินทรีย์ชั้นสูงขึ้นเช่น โรติเฟอร์ (Rotifer) และ โปรโตซัว (Protozoa) ได้แก่พวก Vorticella, Stalked Ciliates ส่วนมากจะอยู่ในรูปที่หลุดจากก้านและเกิดขน (cilia) ขึ้นทางส่วนท้ายของเซลล์ สามารถว่ายน้ำได้อิสระที่เรียกว่า Telotroch form จุลินทรีย์ชั้นสูงที่พบนี้มีจำนวนน้อยมากและไม่ค่อยจะว่องไวมากนัก คาดว่าเป็นจุลินทรีย์ที่มาพร้อมกับตะกอนเวียนกลับจากถังตกตะกอน และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จะพบจุลินทรีย์เหล่านี้มากยิ่งขึ้น และในบางครั้งยังพบพวกหนอน (Nematode worms) อีกด้วย

ถังเติมอากาศใบที่สอง ลักษณะของจุลินทรีย์ที่พบในถังเติมอากาศใบนี้คือ ตะกอนเป็นก้อนปุยมากขึ้น ชั้นน้ำใสในกระบอกตวงที่ถูกต้องทิ้งไว้ 30 นาทียังคงมีลักษณะขุ่นขาวแต่จางกว่าในถังเติมอากาศใบแรก และจุลินทรีย์ชั้นสูงที่พบก็ยังไม่เพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากถังเติมอากาศใบที่สอง มีขนาดเล็กและมีเวลากักน้ำสั้น ทำให้จุลินทรีย์ชั้นสูงยังไม่สามารถเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนให้เห็นได้อย่างชัดเจน เพราะจุลินทรีย์เหล่านี้มีอัตราจำเพาะของการเจริญเติบโตสูงสุด ต่ำกว่าจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียมาก จึงมักไม่พบการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ชั้นสูงใดๆในถังเติมอากาศใบนี้ ส่วนแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคที่พบสามารถเกาะตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อนได้ดีขึ้นและทึบแสงมากขึ้น ทำให้สีของตะกอนเข้มขึ้น

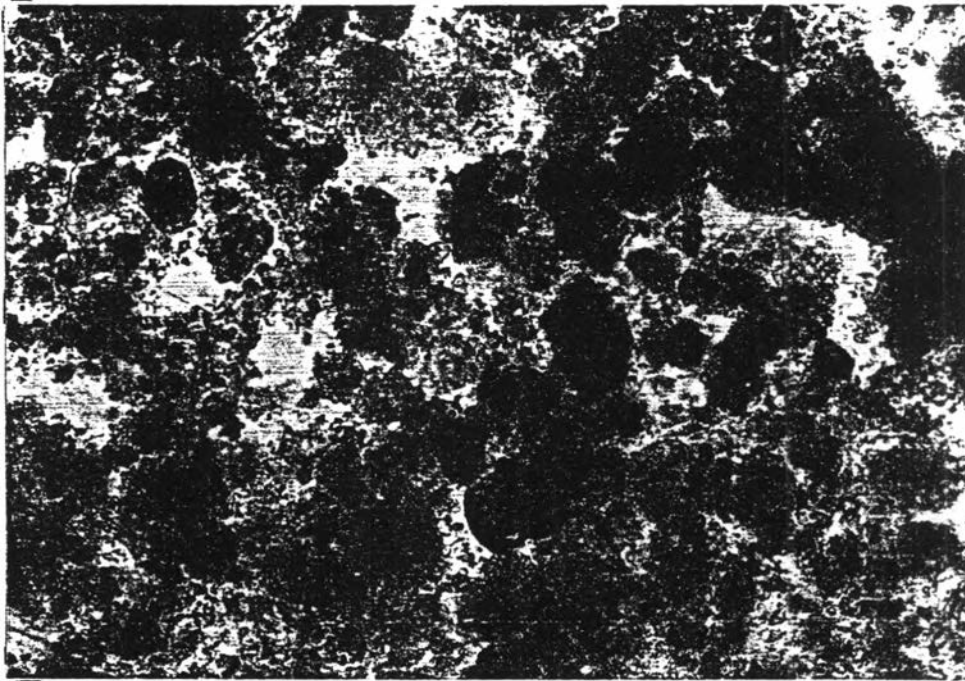
ถึงเติมอากาศใบที่สาม เป็นถึงเติมอากาศที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในอนุกรมถึงเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ โดยมีเวลากักน้ำนานถึง 60 ชั่วโมง เมื่อทำการทดลองหาค่าการตกตะกอนที่เวลา 30 นาที ปรากฏว่าได้ชั้นน้ำใลที่ใสมากและสีของชั้นตะกอนเป็นสีน้ำตาลแดงเข้ม เมื่อนำน้ำตะกอนไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าประชาจุลินทรีย์เป็นส่วนประกอบหลักของระบบ ได้แก่ *Zooglea ramigera* ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดสร้างฟลอคจับตัวกันหนาแน่น และเกาะกันเป็นกลุ่มใหญ่ๆ เซลล์แบบแพร่กระจายมีน้อยมาก และพบจุลินทรีย์ชั้นสูงขึ้นเช่นโรติเฟอร์ (Rotifer) ได้แก่ *Plulodina roscola* , *Squatinella motica* และจุลินทรีย์แบบกิ่งก้าน (Stalked Ciliates) ได้แก่ *Epistylis* Sp. , *Opercularia* Sp. และจุลินทรีย์เคลื่อนที่แบบอิสระ (Free Swimming Ciliates) ได้แก่ *Arcella* , *Astasia* นอกจากนั้นยังพบหนอน (Nematode worms) และพวก Arthropods มี 8 ขาค่อยกับตัวดั่งแบบที่มีขาเป็นปล้องๆ อยู่มากพอควร



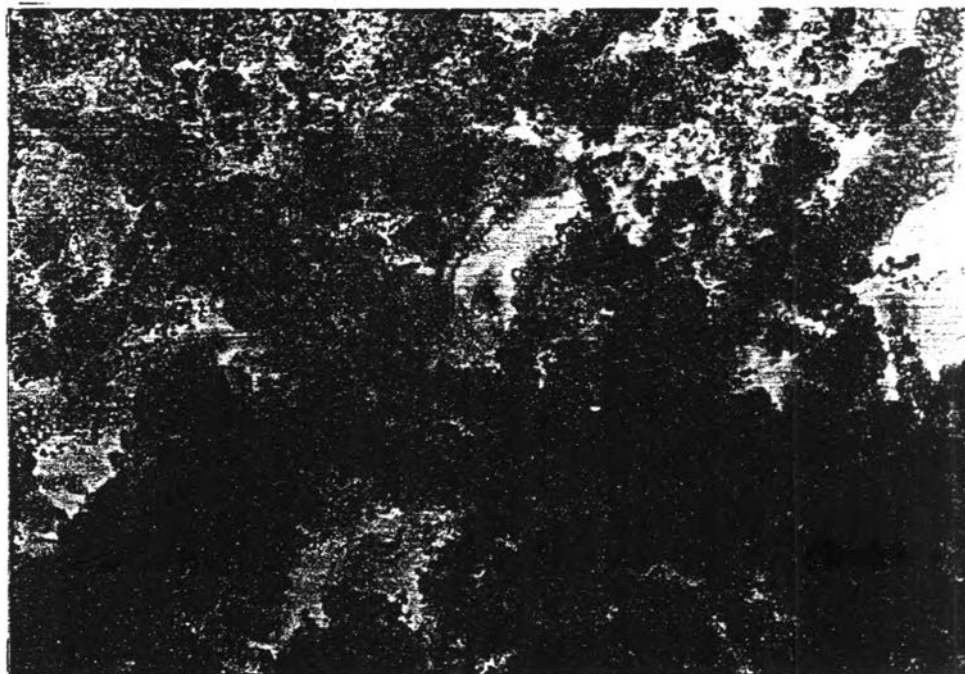
รูปที่ 5.26 จุลชีพในถังเติมอากาศใบที่ 1 ของการทดลองที่ 2 มีลักษณะของแบคทีเรียแบบแพร่กระจาย และลักษณะของ ฟลอค ไม่ที่บแน่น



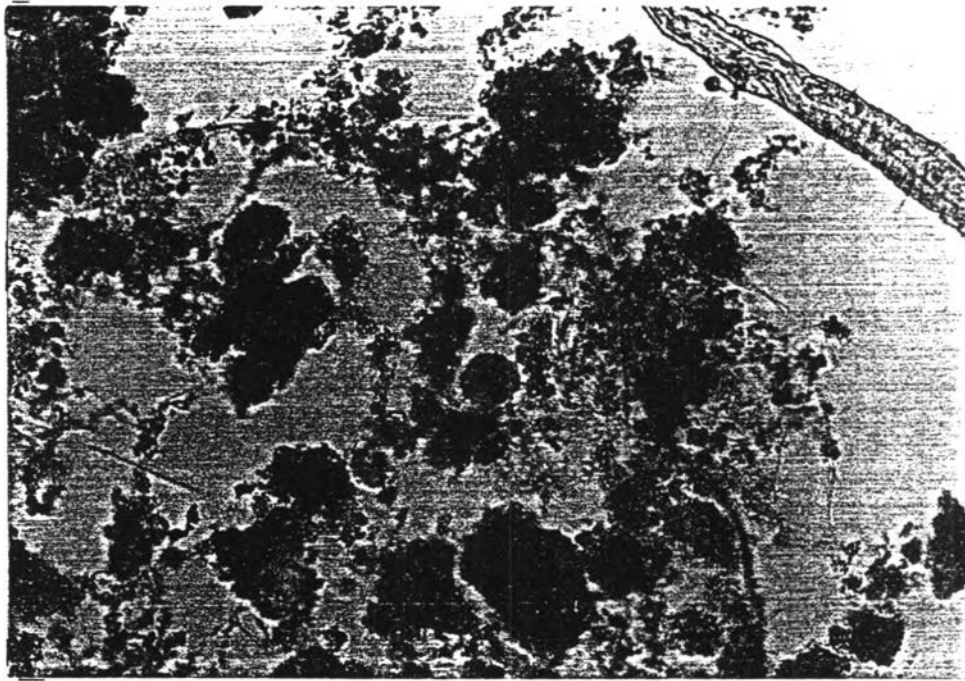
รูปที่ 5.27 แสดงให้เห็นถึงจุลชีพชั้นสูงซึ่งพบในถังเติมอากาศใบแรก คาดว่าเป็นจุลชีพที่ถูกส่งมาพร้อมตะกอนเรียนกลับ



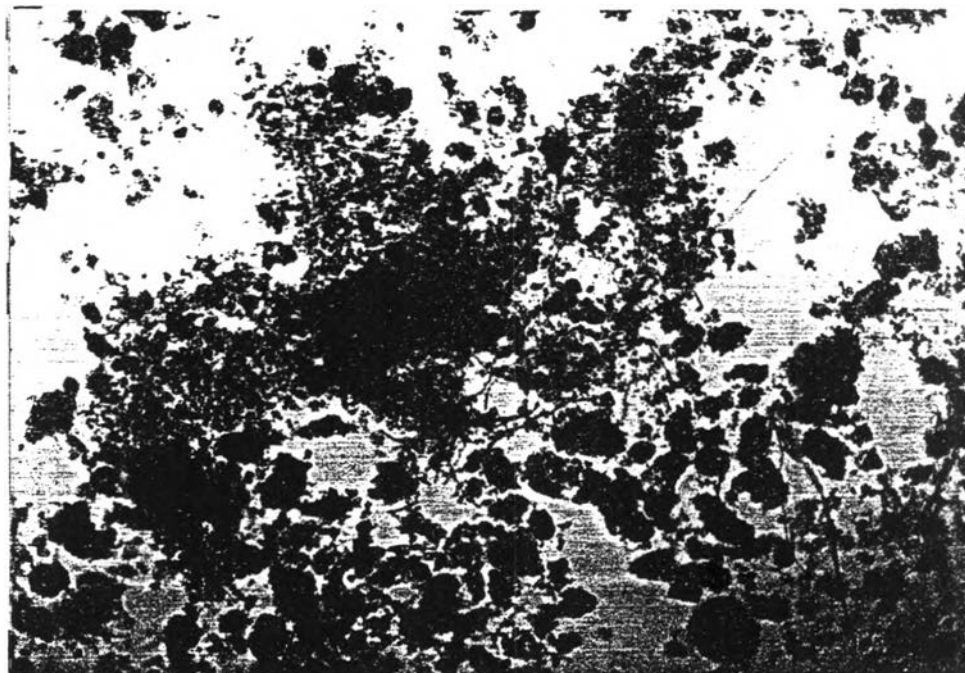
รูปที่ 5.28 จุลชีพในถังเติมอากาศใบที่ 2 ของการทดลองชุดที่ 2
ลักษณะของ ฝลอค ทึบแน่นขึ้น



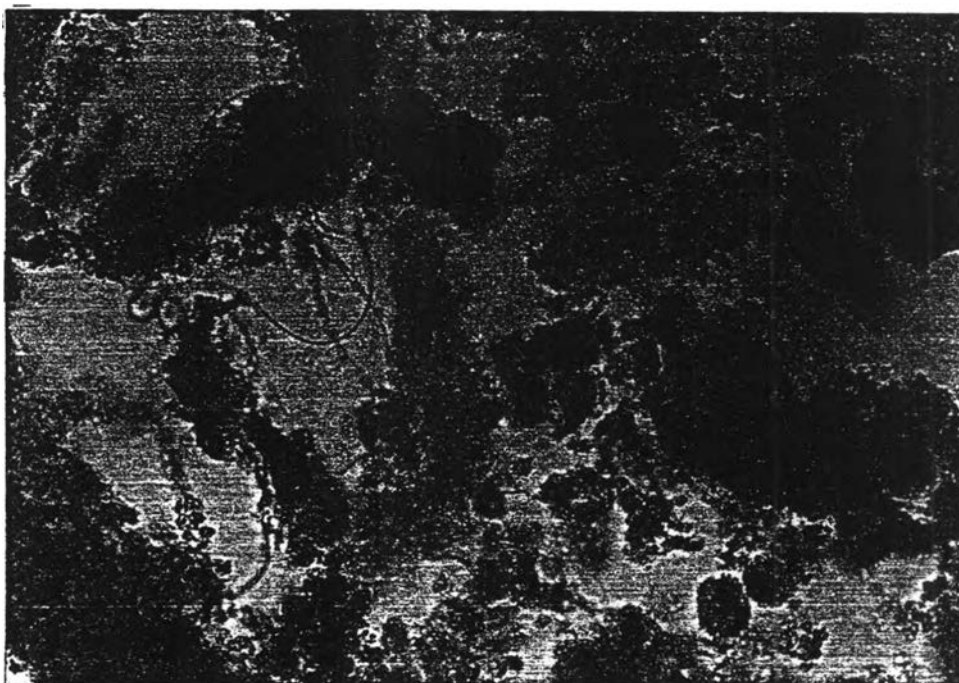
รูปที่ 5.29 จุลชีพในถังเติมอากาศใบที่ 3 ของการทดลองชุดที่ 2
ลักษณะของ ฝลอค ทึบแน่นขึ้นมากและไม่พบแบคทีเรีย
ชนิดเส้นใย



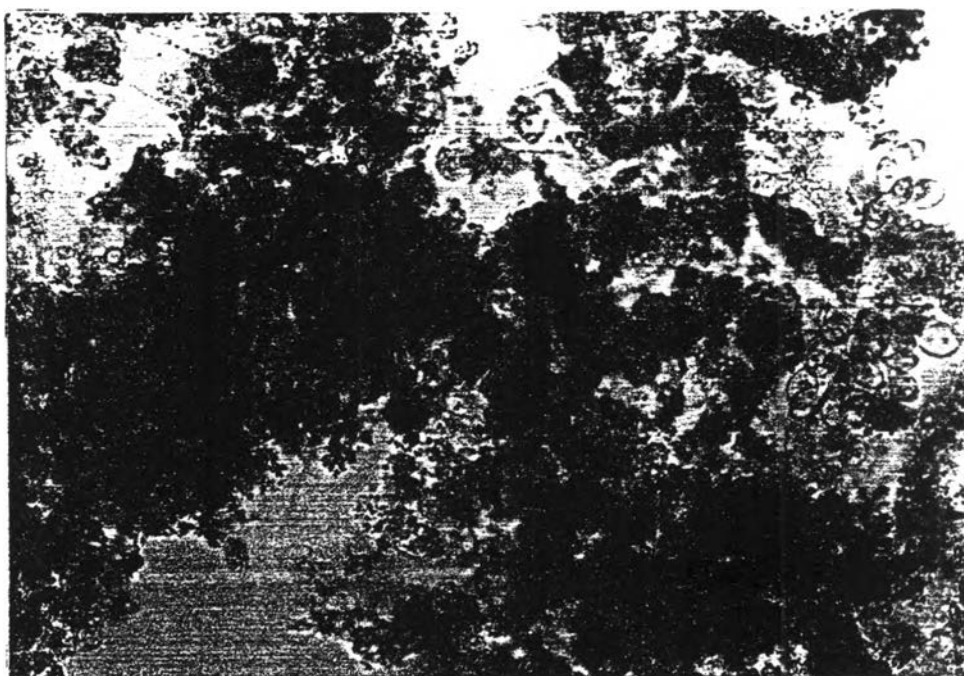
รูปที่ 5.30 จุลชีพในถังเติมอากาศใบที่ 1 ของการทดลองชุดที่ 3 พบว่ามีแบคทีเรียเส้นใยเกิดขึ้น แต่ไม่มากจนเป็นส่วนประกอบหลักของระบบ และเส้นใยที่พบมีลักษณะไม่สมบูรณ์



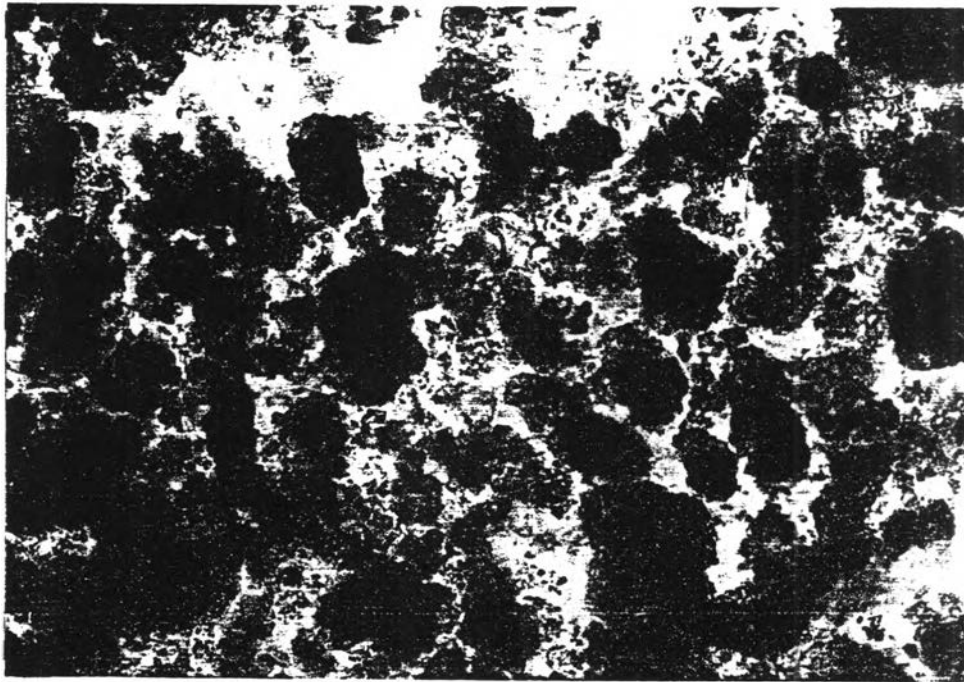
รูปที่ 5.31 จุลชีพในถังเติมอากาศใบที่ 2 ของการทดลองชุดที่ 3 จะเห็นว่าลักษณะของ ฟลอค เป็นชิ้น หรือ เม็ดเล็กๆ และยังคงพบเส้นใยที่พันเกี่ยวอยู่กับก้อนฟลอค



รูปที่ 5.32 จุลชีพในถังเติมอากาศใบที่ 3 ของการทดลองชุดที่ 3 จะเห็นว่า ฝลอค จับตัวกันได้ดีแต่ก็มีเส้นใยพันเกี่ยวอยู่



รูปที่ 5.33 จุลชีพชั้นสูงขึ้นที่พบในถังเติมอากาศใบที่ 3 ของการทดลองชุดที่ 2 (*Opercularia* sp.)



รูปที่ 5.34 ลักษณะของตะกอนที่นำมาจากก้นถังตกตะกอน ของ
การทดลองชุดที่ 2