บทที่ 5

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 การเริ่มต้นระบบ

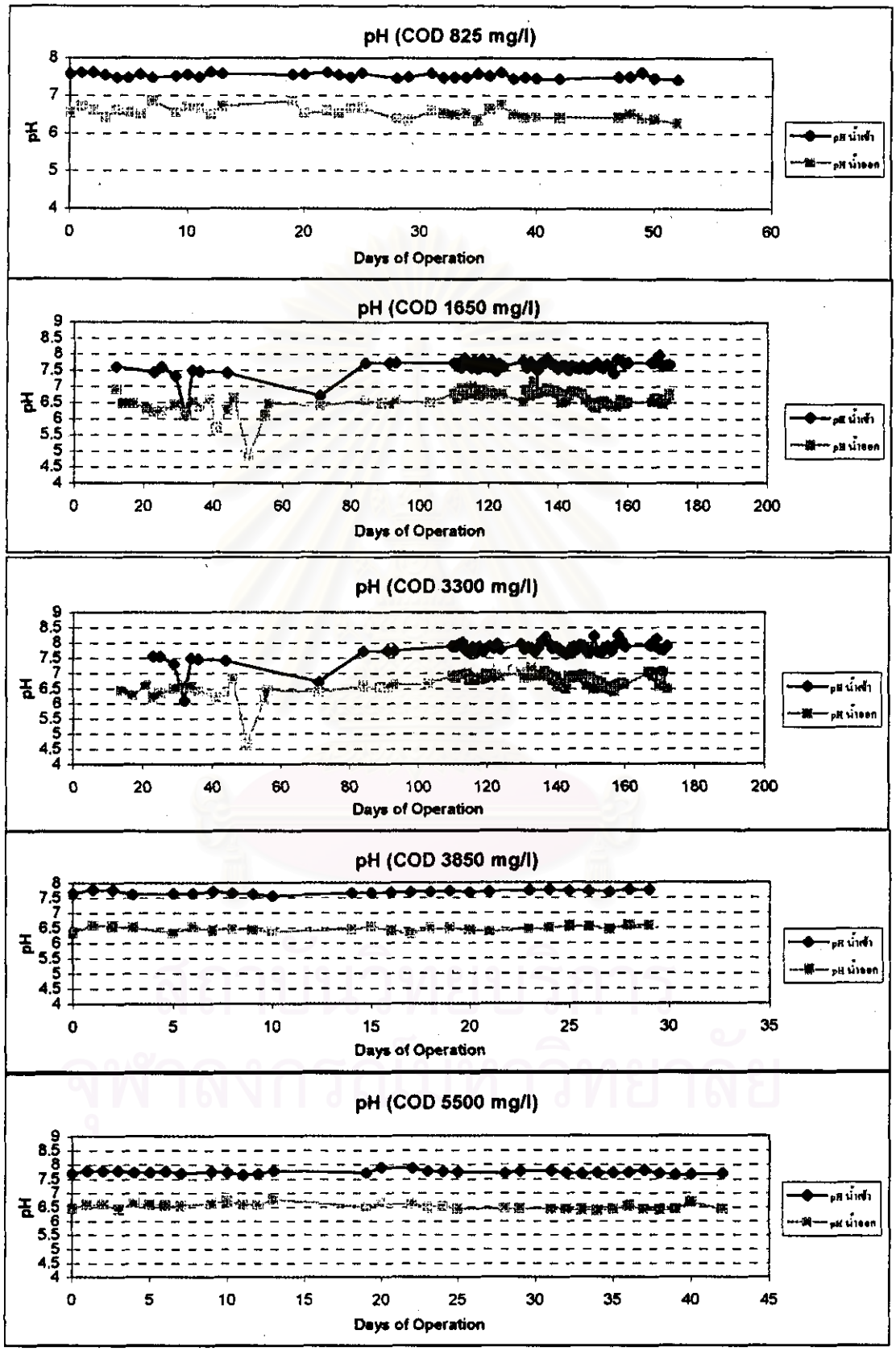
การวิจัยนี้ใช้กระบอกพีวีซีใสที่มีขนาดเท่ากันจำนวน 2 ชุด บรรจุเม็ดพลาสติกจำนวนเท่ากัน จะได้ถังปฏิกิริยาสำหรับระบบถังกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการวิจัยนี้ 2 ชุด นำเม็ดพลาสติกบรรจุลงในกระบอกพีวีซีใสโดยใส่ให้มีความสูงของชั้นตัวกลางประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของกระบอกพีวีซีจากด้านบนลงมา จะได้ความสูงของชั้นตัวกลาง 1.25 เมตร หลังจากนั้นเติม seed ที่นำมาจากระบบบ่อหมักไร้ออกซิเจนจำนวน 5 ลิตร (โดย seed ที่นำมาเติมนี้จะผ่านการเลี้ยงให้ชินกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัย) หลังจากนั้นเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัยลงไปจนเต็มกระบอกพีวีซี แล้วปิดฝาขันน็อตให้แน่น เมื่อต่อท่อน้ำทิ้งของระบบและติดตั้งท่อน้ำเสียเข้าท่อแยกก๊าซจากระบบเข้ายังเครื่องวัดก๊าซเรียบร้อยแล้ว ก็ทิ้งไว้ให้จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้น เมื่อสังเกตเห็นมีก๊าซเกิดขึ้นที่เครื่องวัดก๊าซแล้วแสดงว่าจุลินทรีย์พร้อมที่จะรับน้ำเสียใหม่ จึงเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบโดยดำเนินการทดลองชุดการทดลองที่ 2 และชุดที่ 3 จนเพียงพอสำหรับที่จะวิเคราะห์การทำงานของระบบได้แล้ว ก็จะเริ่มการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 4 ต่อไป และ ทำการทดลองชุดที่ 5 เป็นชุดสุดท้าย การที่ทดลองในชุดที่ 2 และ 3 ก่อน เพื่อง่ายสำหรับในการเปลี่ยนภาระบรรทุกอินทรีย์ในการทดลองชุดต่อไป

5.2 ผลการวิจัยทั่วไป

5.2.1 ค่าพีเอช (pH)

รูป 5.1 แสดงกราฟพีเอชของน้ำเสียที่เข้าระบบและออกจากระบบ โดยมีค่าเฉลี่ยในระยะคงตัวในตารางที่ 5.1 พบว่ามีค่าเฉลี่ยน้ำเข้ามีค่ามากกว่า 7 แต่เนื่องจากน้ำเสียมีความเข้มข้นสูงจึงทำให้น้ำออกมีค่าประมาณ 6-7 ดังนั้นเราควรรักษาระดับพีเอชประมาณ 6-8 นั้น ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่ทำให้แบคทีเรียในถังกรองไร้อากาศทำงานได้โดยไม่มีปัญหา

นอกจากนี้ในกรณีที่พีเอชลดลงต่ำลงจากค่าเฉลี่ยนี้แสดงว่าระบบอาจจะล้มเหลวได้จึงใช้เป็นตัวบอกความเป็นไปของระบบได้ เพราะว่าค่าพีเอชมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์หลายตัว



รูปที่ 5.1 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าถังกรองและที่ออกจากถังกรอง

อีกทั้งเป็นตัวที่วัดผลได้ง่าย เช่น ในอัตราภาระบรรทุก 4.4 และ 8.8 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ในช่วง start-up ระบบ วันที่ 50 ของการทดลอง จะเห็นว่ากราฟตกลงมาอยู่ที่พีเอชประมาณ 4 เป็นเพราะว่าช่วงนั้นอยู่ในช่วงเริ่มต้นระบบมีการทดลองใช้อัตราส่วน VFA/ALK คุมระบบเพื่อไม่ให้เปลืองสารเคมีแต่ควบคุมระบบได้ยากจึงทำให้ระบบล้มเหลว ดังนั้นจึงเปลี่ยนการควบคุมโดยใส่ปริมาณบัฟเฟอร์ให้มากเพียงพอแล้วจึงดำเนินการทดลองต่อไป

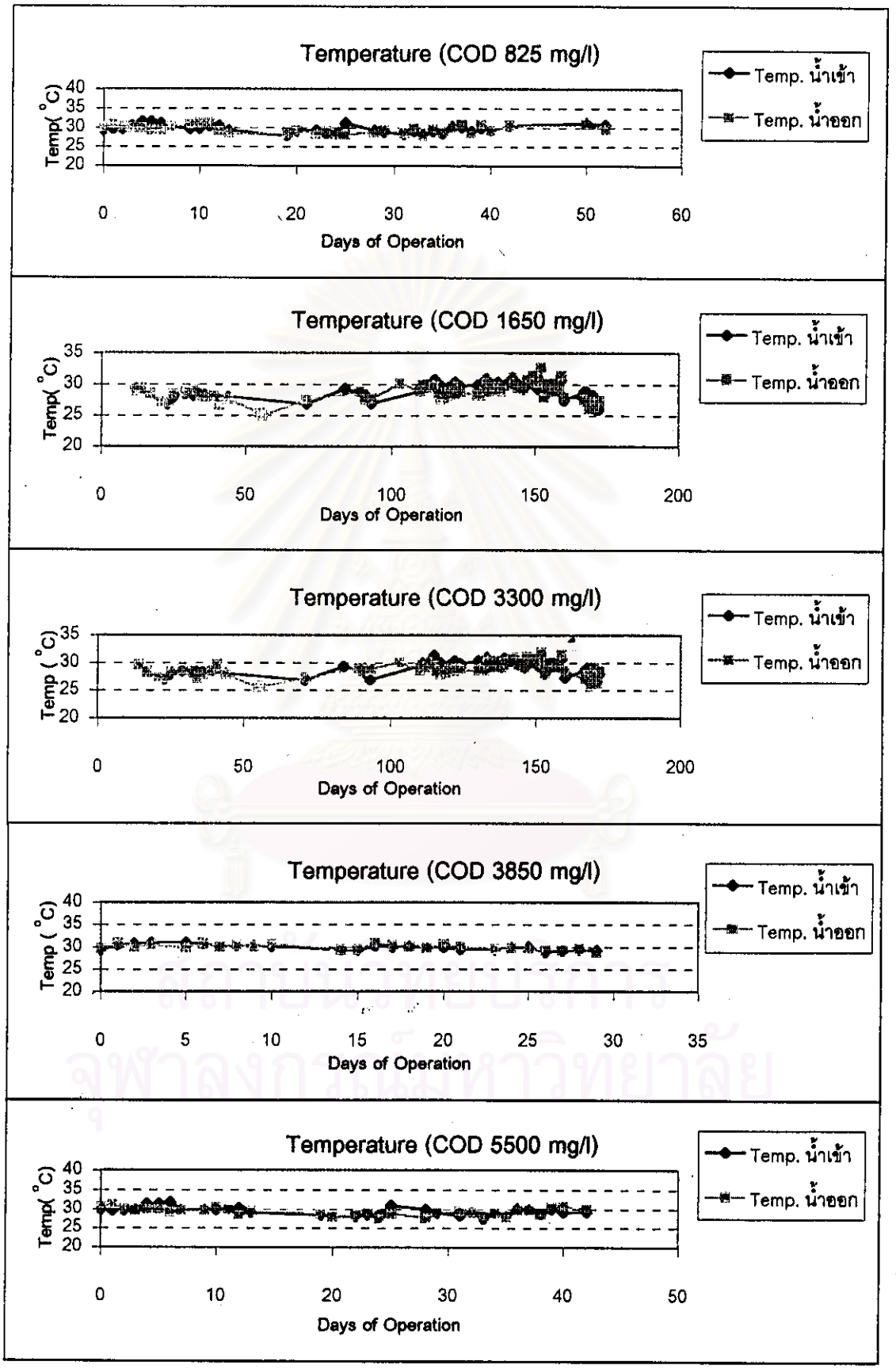
จากการทดลองเรายังพบอีกว่าอัตราภาระบรรทุกเมื่อเพิ่มขึ้นไม่ได้มีผลต่อค่าพีเอช แม้ว่าที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์สูงจะมีค่ากำลังบัฟเฟอร์มาก ซึ่งบัฟเฟอร์ที่ใช้อยู่ในรูปของไบคาร์บอเนตซึ่งค่าพีเอชไม่ควรเกิน 8 ผลที่ได้ก็เป็นไปตามทฤษฎี ส่วนค่าพีเอชน้ำออกนั้นขึ้นกับตัวระบบมากกว่า แต่ค่าพีเอชน้ำออกก็อยู่ในช่วงที่ระบบสามารถดำเนินกิจกรรมต่อไปได้

ตารางที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยพีเอชในสภาวะคงตัว

อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์	ระยะเวลากักน้ำ (ชม.)	ซีโอดี (มก./ล.)	น้ำเข้า	น้ำออก
2.2	9	825	7.50	6.47
4.4	9	1650	7.68	6.69
8.8	9	3300	7.86	6.80
10.26	9	3850	7.71	6.47
14.67	9	5500	7.72	6.45

5.2.2 อุณหภูมิ (Temperature)

รูปที่ 5.2 แสดงกราฟอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าระบบและออกจากระบบโดยมีค่าเฉลี่ยในระยะคงตัวในตารางที่ 5.2 พบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำเข้าและน้ำออกประมาณ 30 องศาเซลเซียส โดยมีช่วงประมาณ 25-32 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่ปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจนเกิดขึ้นได้ดี แสดงว่าอุณหภูมิที่ทดลองก็เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.2 ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าถังกรองและที่ออกจากถังกรอง

ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในสภาวะคงตัว

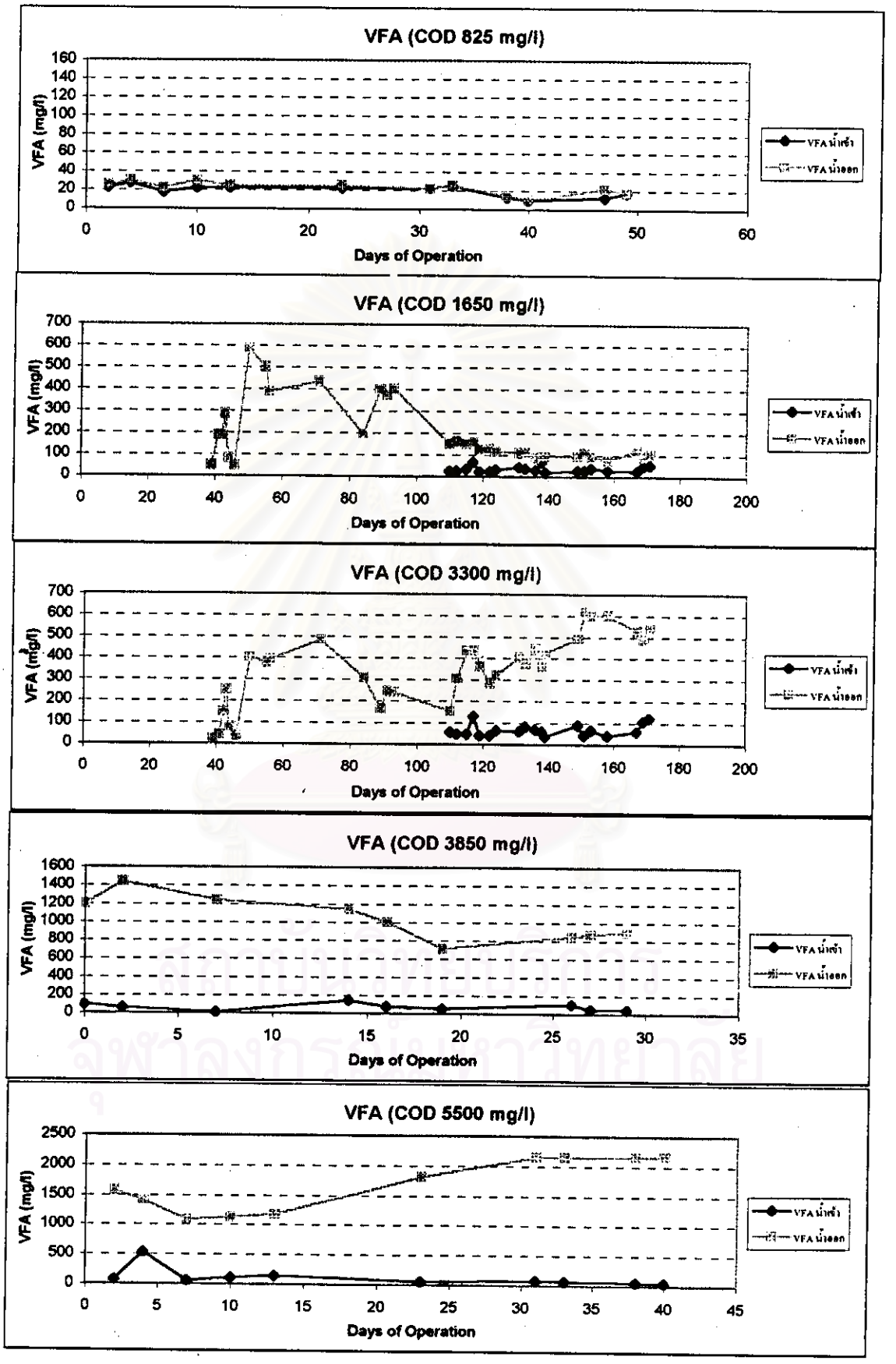
อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์	ระยะเวลากักน้ำ (ชม.)	ซีโอดี (มก./ล.)	น้ำเข้า	น้ำออก
2.2	9	825	29.49	29.51
4.4	9	1650	29.49	29.22
8.8	9	3300	29.60	29.33
10.26	9	3850	29.58	29.70
14.67	9	5500	29.10	29.03

จะเห็นว่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิ โดยค่าอุณหภูมิมักขึ้นกับสภาวะอากาศรอบๆตัว ซึ่งเมืองไทยมีค่าไม่ต่างกันมากนักจึงทำให้อุณหภูมิที่ได้ของทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

5.2.3 ค่ากรดโวเลนไทล์ (Volatine Fatty Acid)

ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 5.3 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของกรดโวเลนไทล์ในสภาวะคงตัว และรูปที่ 5.3 คือ รูปที่แสดงค่ากรดโวเลนไทล์ของน้ำเสียที่เข้าระบบ และออกจากระบบพบว่าค่าปริมาณกรดจะขึ้นอยู่กับค่าภาระบรรทุกอินทรีย์ของน้ำเข้าระบบ จากกราฟน้ำเข้าของทุกอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์จะมีปริมาณค่ากรดโวเลนไทล์ต่ำ เพราะว่าน้ำที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อเตรียมน้ำเสียแล้ววัดผลจึงทำให้มีปริมาณกรดโวเลนไทล์ไม่มากนัก ส่วนในน้ำออกจากระบบ จะมีปริมาณค่ากรดโวเลนไทล์สูงกว่าน้ำเข้า เพราะแบคทีเรียใช้กรดโวเลนไทล์ที่เกิดขึ้นไม่หมด จึงทำให้น้ำออกปริมาณกรดโวเลนไทล์สูง เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ที่แตกต่างกันจะเห็นว่าปริมาณกรดโวเลนไทล์น้ำเข้าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ปริมาณกรดโวเลนไทล์น้ำออกจะเพิ่มขึ้นตามอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อปริมาณค่าภาระบรรทุกอินทรีย์เพิ่มมากขึ้นปริมาณกรดโวเลนไทล์ก็เพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วจะเห็นว่าที่ภาระบรรทุกอินทรีย์สูงจะมีเปอร์เซนต์ในการกำจัดค่ากรดโวเลนไทล์ต่ำมาก ซึ่งก็จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ำ เพราะถ้ากรดโวเลนไทล์สูงมากไปจะเป็นพิษต่อระบบ



รูปที่ 5.3 ค่ากรดโวเลนไทล์ของน้ำเสียที่เข้าถังกรองและที่ออกจากถังกรอง

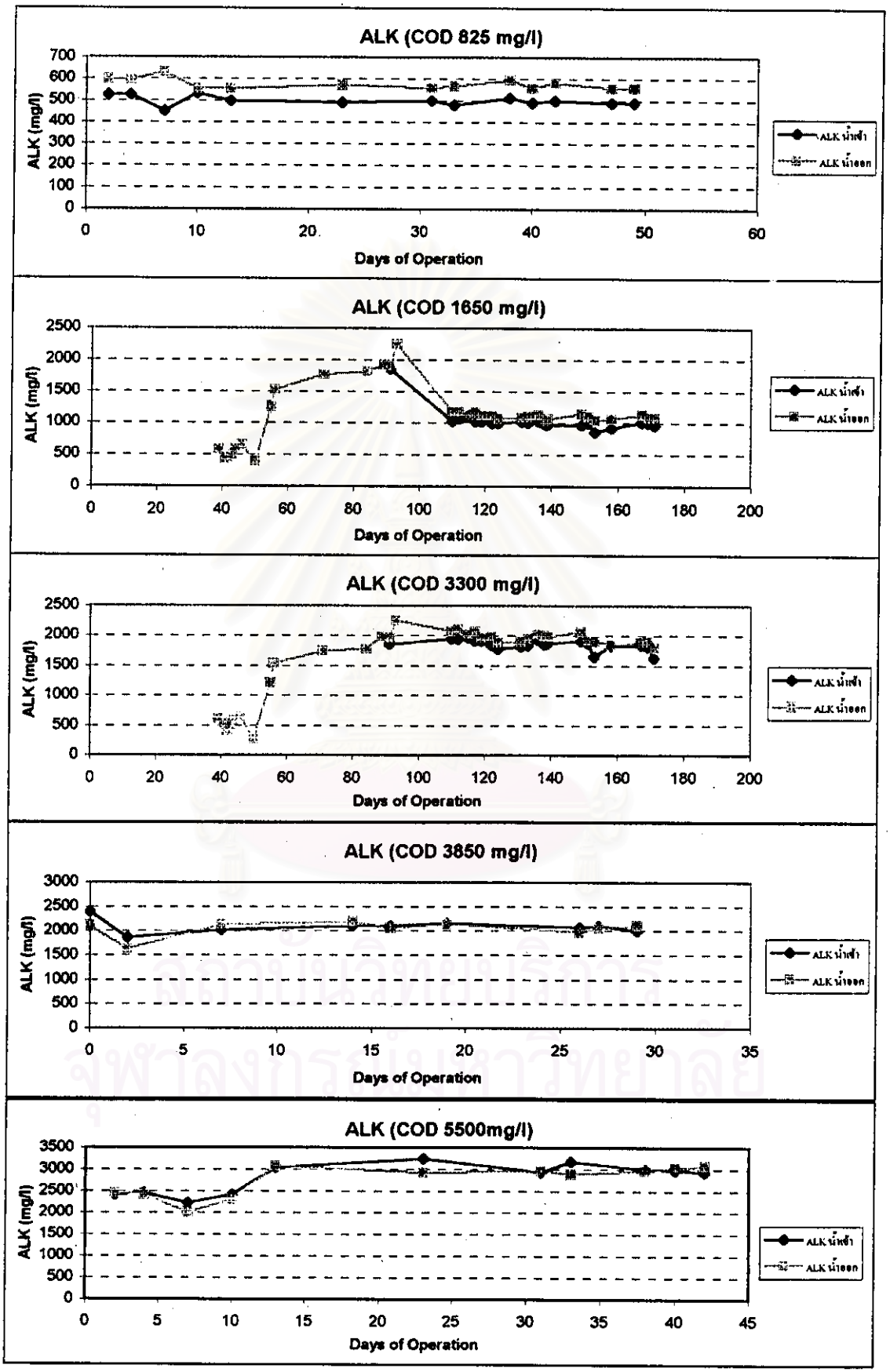
ตารางที่ 5.3 ค่าเฉลี่ยของกรดโวเลนไทล์ในสภาวะคงตัว

อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์	ระยะเวลากักน้ำ (ชม.)	ซีโอดี (มก./ล.)	กรดโวเลนไทล์ (มก./ล.)	
			น้ำเข้า	น้ำออก
2.2	9	825	16.67	18.75
4.4	9	1650	36.24	114.84
8.8	9	3300	65.92	430.55
10.26	9	3850	79.58	902.16
14.67	9	5500	63.50	2090.25

5.2.4 สภาพความเป็นด่างรวม (Alkalinity)

สภาพความเป็นด่างรวมแสดงถึงกำลังบัฟเฟอร์ของระบบ ซึ่งมักจะมีแนวโน้มไปในทางตรงกันข้ามกับปริมาณของกรดโวเลนไทล์ ซึ่งผลการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 5.4 ที่แสดงสภาพความเป็นด่างรวมที่เข้าระบบและที่ออกจากระบบ โดยมีค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 5.4 จะเห็นว่าที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์น้อยจะมีค่าสภาพความเป็นด่างน้อย เมื่ออัตราภาระบรรทุกอินทรีย์มากสภาพความเป็นด่างมากขึ้นเนื่องมาจากไบคาร์บอเนตที่เติม ที่ภาระบรรทุกอินทรีย์มากจะเติมมากเพื่อให้มีกำลังบัฟเฟอร์มาก เพราะค่ากรดโวเลนไทล์ที่ภาระบรรทุกอินทรีย์สูงจะมีค่ากรดโวเลนไทล์สูงเพราะแบคทีเรียเปลี่ยนกรดเป็นมีเทนไม่ทันจึงทำให้มีกรดสะสมอยู่ในระบบ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีกำลังบัฟเฟอร์สูงเพื่อควบคุมให้ระบบอยู่ในสมดุลและแบคทีเรียก็จะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์น้อยเติมด่างน้อยเพราะกรดที่เกิดขึ้นถูกใช้จนมีการสะสมตัวของกรดในระบบน้อย จึงไม่มีความจำเป็นต้องเติมด่างมาก

สภาพภาระบรรทุกอินทรีย์สูงจะมีสภาพความเป็นด่างรวมมากกว่าที่ภาระบรรทุกอินทรีย์ต่ำเพื่อรักษาค่าพีเอชของระบบไม่ให้ต่ำเกินไปจนแบคทีเรียไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ นอกจากนี้สภาพความเป็นด่างรวมยังแสดงถึงบัฟเฟอร์ของระบบด้วย ที่ภาระบรรทุกอินทรีย์สูงควรมีกำลังบัฟเฟอร์สูงเพื่อป้องกันไม่ให้ระบบทำงานล้มเหลว



รูปที่ 5.4 ค่าความเป็นด่างรวมของน้ำเสียที่เข้าถังกรองและที่ออกจากถังกรอง

ตารางที่ 5.4 ค่าเฉลี่ยสภาพความเป็นด่างรวมในสภาวะคงตัว

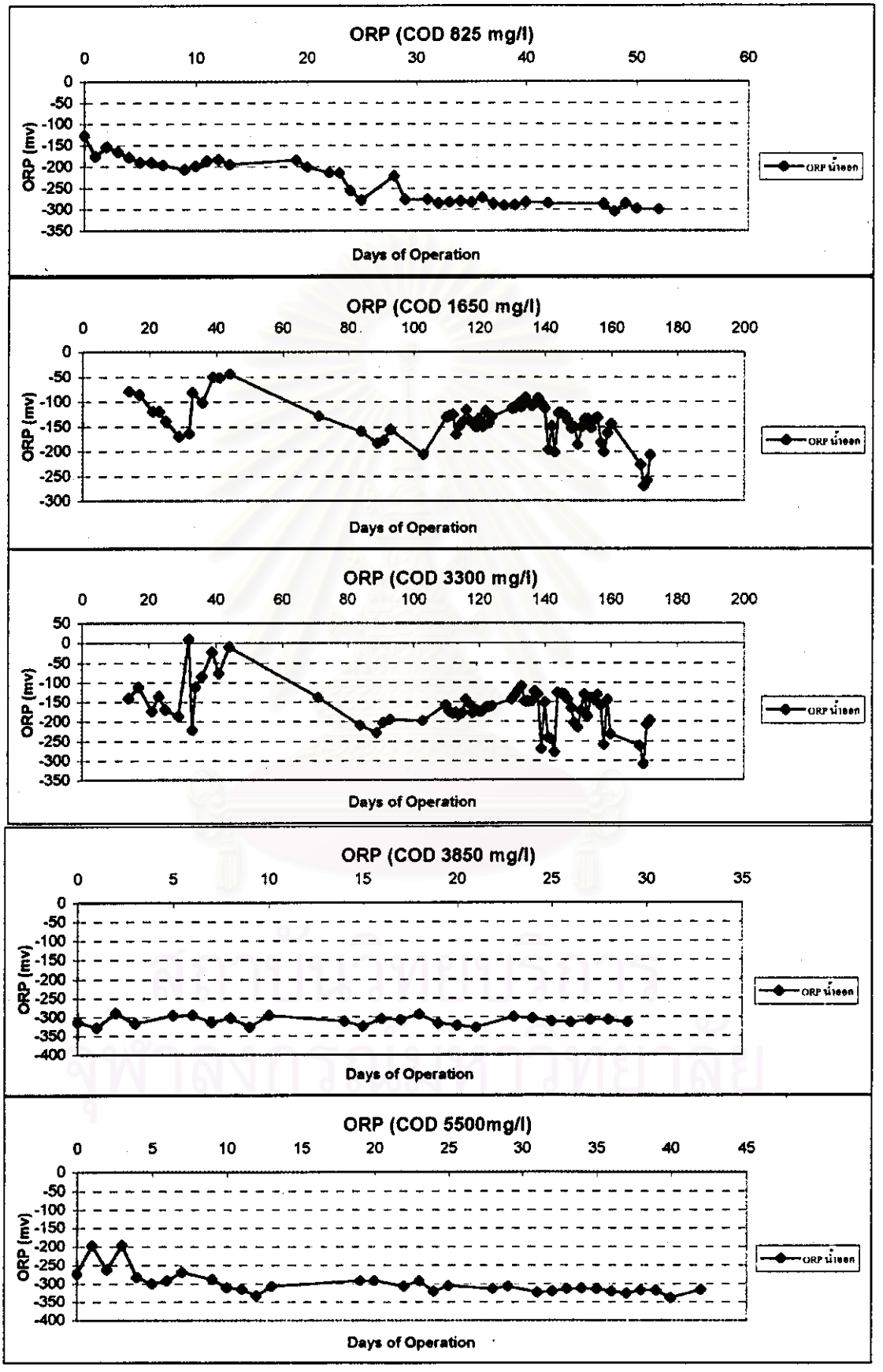
อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์	ระยะเวลากักน้ำ (ชม.)	ซีโอดี (มก./ล.)	สภาพความเป็นด่างรวม (มก./ล.)	
			น้ำเข้า	น้ำออก
2.2	9	825	493.35	567.39
4.4	9	1650	998.95	1102.69
8.8	9	3300	1848.25	1959.33
10.26	9	3850	2081.40	2081.39
14.67	9	5500	3042.63	2970.92

5.2.5 ศักยภาพการให้และรับอิเล็คตรอน (Oxidation-Reduction Potential)

ใช้แสดงถึงเสถียรภาพในการทำงานของระบบว่าสมบูรณ์มากน้อยแค่ไหน ดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นค่าโออาร์พีของระบบที่ภาระบรรทุกอินทรีย์สูงจะมีค่าเป็นลบมาก แสดงว่ามีปฏิกิริยาเกิดขึ้นมากในภาระบรรทุกอินทรีย์สูง และทุกค่าภาระบรรทุกอินทรีย์มีค่าติดลบแสดงว่าเป็นภาวะไร้อากาศ แต่ที่ภาระบรรทุกอินทรีย์ 4.4 และ 8.8 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน มีค่าติดลบน้อยเป็นเพราะอิเลคโทรดที่ใช้วัดโออาร์พีมีปัญหา

ตารางที่ 5.5 ค่าเฉลี่ยโออาร์พีในสภาวะคงตัวน้ำออก

อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์	ระยะเวลากักน้ำ (ชม.)	ซีโอดี (มก./ล.)	โออาร์พี (น้ำออก)
2.2	9	825	-286
4.4	9	1650	-145
8.8	9	3300	-174
10.26	9	3850	-312
14.67	9	5500	-316



รูปที่ 5.5 ค่าโออาร์พีของน้ำเสียที่ออกจากระบบ

หมายเหตุ : ค่าโออาร์พีในช่วงคงที่ที่ภาระบรรทุกอินทรีย์ 4.4 และ 8.8 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ไม่สามารถนำมาอ้างอิงได้

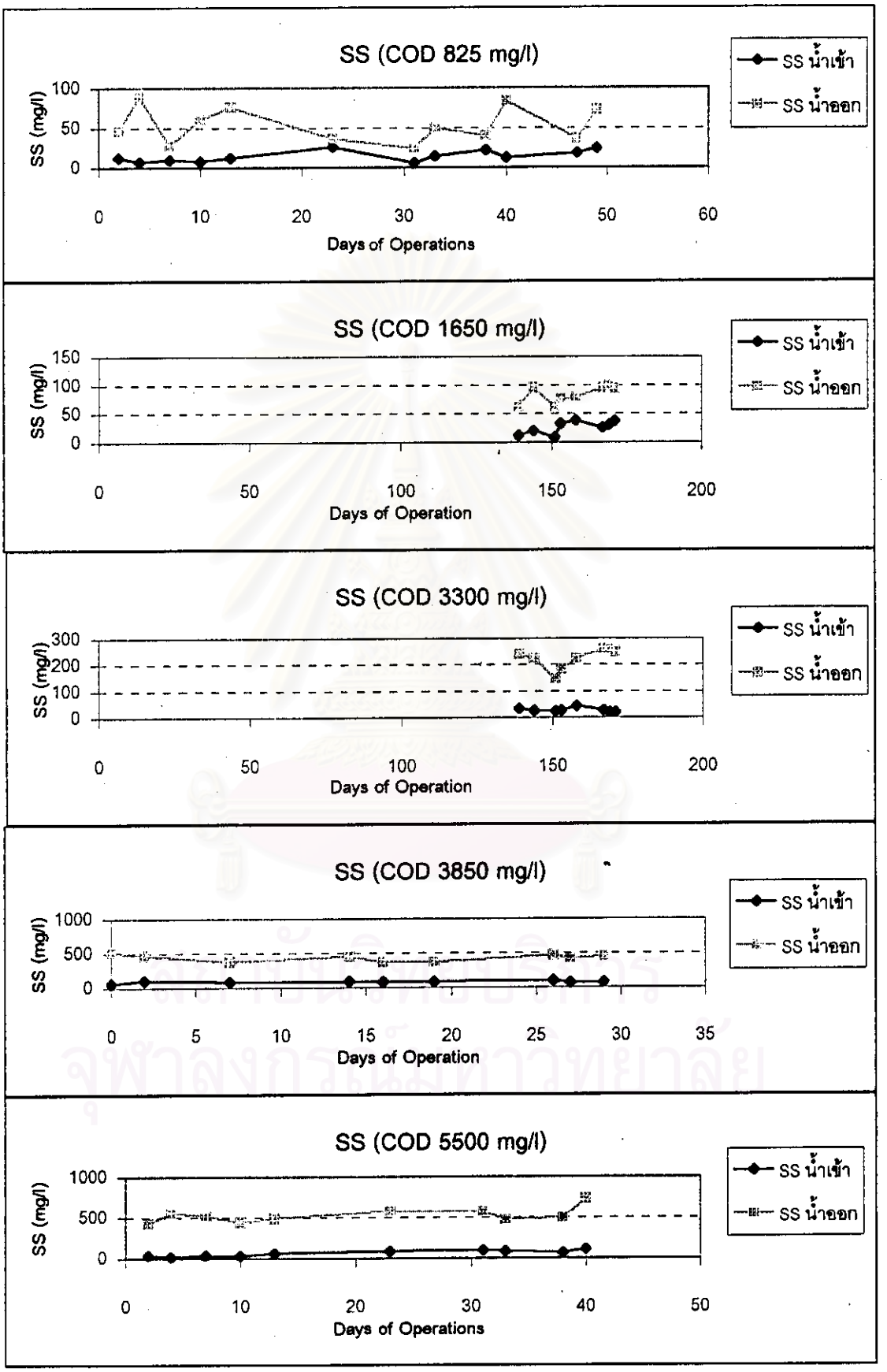
5.2.6 ค่าตะกอนแขวนลอย (Suspended Solids)

จากการทดลองจะได้ค่าตะกอนแขวนลอยดังตารางที่ 5.6 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยของระบบในสภาวะคงตัวและรูปที่ 5.6 แสดงกราฟของตะกอนแขวนลอยของน้ำเข้าและน้ำออก ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำเข้าที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ต่ำจะมีค่าตะกอนแขวนลอยน้อยและเมื่ออัตราภาระบรรทุกอินทรีย์สูงขึ้นก็จะมีค่าตะกอนแขวนลอยสูงขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากสารอาหารที่แขวนลอย เช่น เฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) เป็นต้น จะเพิ่มขึ้นตามอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าในน้ำเสียที่เข้าระบบค่าตะกอนแขวนลอยขึ้นกับสารอาหารที่เติมเข้าไปว่ามีค่าตะกอนแขวนลอยมากน้อยเท่าไร ปกติน้ำเสียที่ใช้จริงในการบำบัดก็กำหนดค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียเข้าระบบไม่ได้ เพราะขึ้นกับว่าเป็นน้ำเสียประเภทใด

ตารางที่ 5.6 ค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยที่สภาวะคงตัว

อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์	ระยะเวลากักน้ำ (ชม.)	ซีโอดี (มก./ล.)	ค่าตะกอนแขวนลอย(มก./ล.)	
			น้ำเข้า	น้ำออก
2.2	9	825	16.00	51.00
4.4	9	1650	25.25	82.75
8.8	9	3300	27.13	223.13
10.26	9	3850	82.50	418.00
14.67	9	5500	90.20	571.20

ส่วนที่น้ำออกจะมีผลเช่นเดียวกับน้ำเข้า คือ ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ต่ำจะมีปริมาณตะกอนแขวนลอยต่ำ เพราะระบบนี้เป็นตัวกลางกรอง ดังนั้นตัวกลางจะคอยกักเซลเอาไว้ไม่ให้หลุดออกจากระบบมากขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มปริมาณเซลในระบบจึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ต่ำมีประสิทธิภาพมาก ส่วนที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์สูงจะมีปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำออกสูงมาก สาเหตุเนื่องจากที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์สูงจะมีแบคทีเรียหลุดออกมามากเป็นเพราะแบคทีเรียไม่สามารถย่อยสารอาหารได้ทัน จึงทำให้สารอาหารบางส่วนเป็นพิษ แบคทีเรียจึงไม่เกาะกับตัวกลางจึงหลุดออกมา ทำให้ค่าตะกอนแขวนลอยสูงขึ้นตามอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ที่มากขึ้น



รูปที่ 5.6 ค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าถังกรองและที่ออกจากถังกรอง

5.2.7 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบ เนื่องจากมีการแปรเปลี่ยนค่าซีโอดีซึ่งในการทดลองนี้มีการแปรเปลี่ยนค่าซีโอดีเป็น 4 ค่า คือ 825, 1650, 3300, 3650 และ 5500 มก./ล. ซึ่งผลจะเป็นดังตารางที่ 5.7 ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะเป็น 89, 77, 71, 47 และ 33 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ โดยซีโอดีที่ทดลองครั้งนี้น้ำเข้าและน้ำออกไม่ได้ทำการกรองก่อนเพื่อดูว่าในน้ำจริง ๆแล้วทั้งน้ำเข้าและน้ำออกมีซีโอดีทั้งหมดเท่าไรโดยเฉพาะน้ำออกในกรณีที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์สูงซึ่งจะมีค่าเซลของแบคทีเรียหลุดออกมาจากระบบด้วย

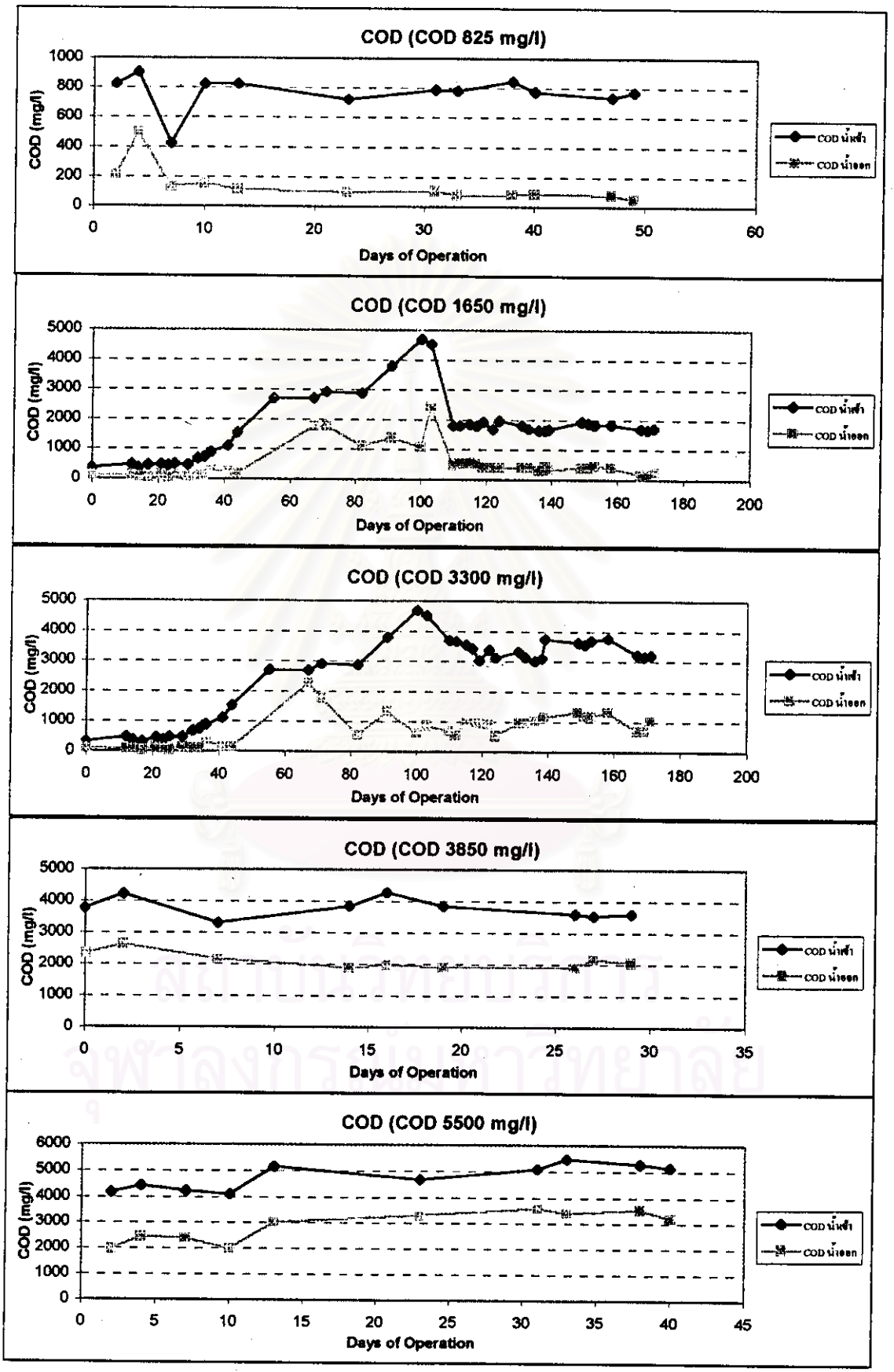
จากรูปที่ 5.7 เห็นว่าในช่วงอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 4.4 และ 8.8 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน จะเริ่มจากต่ำมาก่อนเพราะเป็นช่วงเริ่มต้นระบบและค่อย ๆ เพิ่มค่าซีโอดีจนเข้าสู่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ที่ต้องการจะเห็นว่ากราฟในช่วงแรกจะไม่ค่อยคงที่เพราะเป็นช่วงเริ่มระบบมีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างรวมถึงขอบเขตในการศึกษาจึงทำให้กราฟไม่คงที่จนช่วงวันที่ 110 ของการทดลองกราฟก็เริ่มเข้าสู่สมดุล จากจากตารางที่ 5.7 จะเห็นว่าเมื่ออัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เพิ่มขึ้นเปอร์เซนต์การกำจัดจะลดลง

ตารางที่ 5.7 ค่าเฉลี่ยซีโอดีของระบบที่สภาวะคงตัว

อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์	ระยะเวลากักน้ำ (ชม.)	เปอร์เซนต์การกำจัด	ค่าซีโอดี(มก./ล.)	
			น้ำเข้า	น้ำออก
2.2	9	89	782.06	80.43
4.4	9	77	1774.19	392.53
8.8	9	71	3394.26	956.91
10.26	9	47	3781.11	1978.65
14.67	9	33	5133.12	3395.34

5.2.8 สมรรถนะในการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ

ก๊าซชีวภาพเป็นผลสุดท้ายของขบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จะเป็นเครื่องสะท้อนอย่างดีที่จะให้เห็นถึงความสามารถในการกำจัดน้ำเสียของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนภายใต้สภาวะการที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยทั่วไปองค์ประกอบส่วนใหญ่



รูปที่ 5.7 ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าถังกรองและที่ออกจากถังกรอง

ของก๊าซชีวภาพจะเป็นพวก CO_2 และ CH_4 (เสริมพลและคณะ, 2525) พบว่าปริมาณ CH_4 ในก๊าซชีวภาพจะมีมากหรือมีน้อยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสียที่ใช้

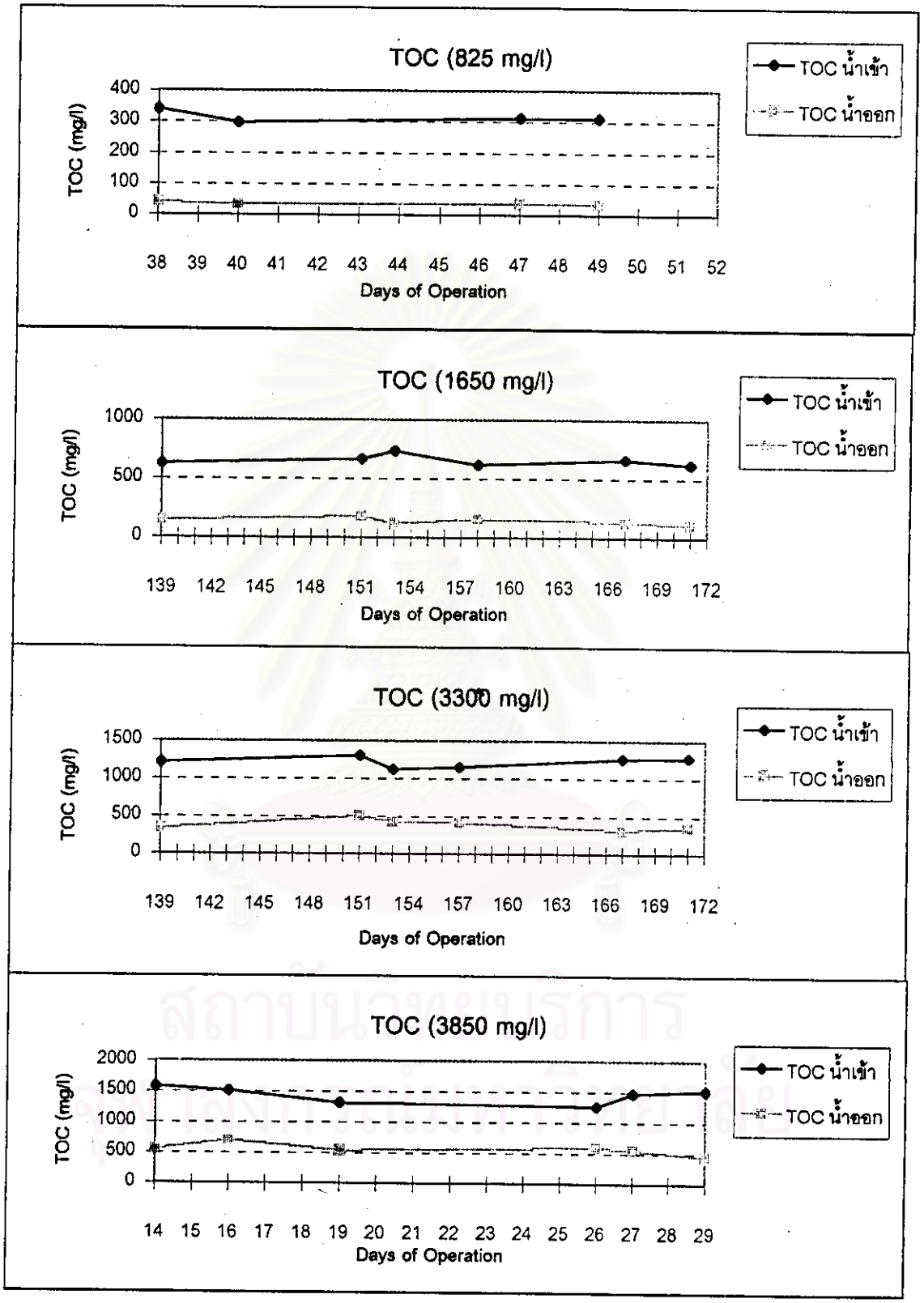
จากการบันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้ของการทำงานของระบบถังกรองไร้อากาศ ที่ค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ต่างๆ คือ 825, 1650, 3300, 3650 และ 5500 มก./ล. จะได้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้ 7.60, 16.27, 29.27, 29.70, และ 37.91 ลิตร/วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์มากจะได้ปริมาณก๊าซที่มากกว่า แต่คุณภาพของก๊าซก็จะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบด้วย โดยค่าเปอร์เซนต์ของก๊าซมีเทนของระบบตามค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์จะมีเปอร์เซนต์ดังนี้ 82, 59, 50, 48, และ 44 เปอร์เซนต์ตามลำดับ ดังนั้นเห็นได้ว่าที่ภาระบรรทุกอินทรีย์ต่ำจะมีคุณภาพของก๊าซชีวภาพดีกว่าเพราะมีค่าเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนสูง และที่ภาระบรรทุกอินทรีย์สูงจะมีคุณภาพของก๊าซชีวภาพต่ำเพราะมีค่าเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนต่ำ

ทั้งนี้จากผลการทดลองข้างต้นอาจมีสาเหตุมาจากการที่ปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น จะทำให้แบคทีเรียที่สร้างกรดมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเพื่อจะย่อยสารอินทรีย์ที่มากขึ้นจากเดิม ดังนั้นอัตราการเกิดกรดอินทรีย์จึงมีมากในขณะเดียวกันแบคทีเรียที่สร้างมีเทนซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าจึงไม่สามารถสลายกรดอินทรีย์ได้ทัน เป็นผลให้มีการสะสมของกรดอินทรีย์มากขึ้นในระบบ ดังนั้นจึงทำให้ระบบมีปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนน้อยจึงเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนมีปริมาณต่ำ

5.2.9 TOC (Total Organic Carbon)

จากงานเขียนของ Eckenfelder และ Ford (1970) ได้กล่าวว่า อัตราส่วนระหว่าง COD/TOC เป็นอัตราส่วนระหว่างโมเลกุลของออกซิเจนและคาร์บอน ซึ่งมีค่าเป็น 32/12 = 2.66 ซึ่งโดยทั่วไปอัตราส่วนของ COD/TOC จะมีค่าแกว่งไปมาตามปริมาณของออกซิเจนและคาร์บอนซึ่งอัตราส่วนนี้จะอยู่ในช่วงกว้าง ซึ่งค่าอัตราส่วนจะอยู่ในช่วง 1.75-6.65 สำหรับน้ำเสียชนิดต่างๆ

ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.8 แสดงค่า TOC ของน้ำเข้าและน้ำออกเฉลี่ยในระยะคงตัว และแสดงในรูปที่ 5.8 แสดงกราฟค่า TOC ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งจากผลการทดลองแสดงว่าค่าอัตราส่วนระหว่าง COD/TOC มีค่าใกล้เคียงตามทฤษฎี คือ 2.66 ในการทดลองครั้งนี้วิเคราะห์ค่า TOC เพียง 4 อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เท่านั้น เพราะที่อัตรา



รูปที่ 5.8 ค่า TOC ของน้ำเสียที่เข้าถังกรองและที่ออกจากถังกรอง

ภาระบรรทุกอินทรีย์ 14.67 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน นั้น ไม่ได้ทำการเก็บผลการทดลองที่สภาวะคงตัว เพราะประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่ำมาก

ตารางที่ 5.8 ค่าเฉลี่ย TOC ของระบบที่สภาวะคงตัว

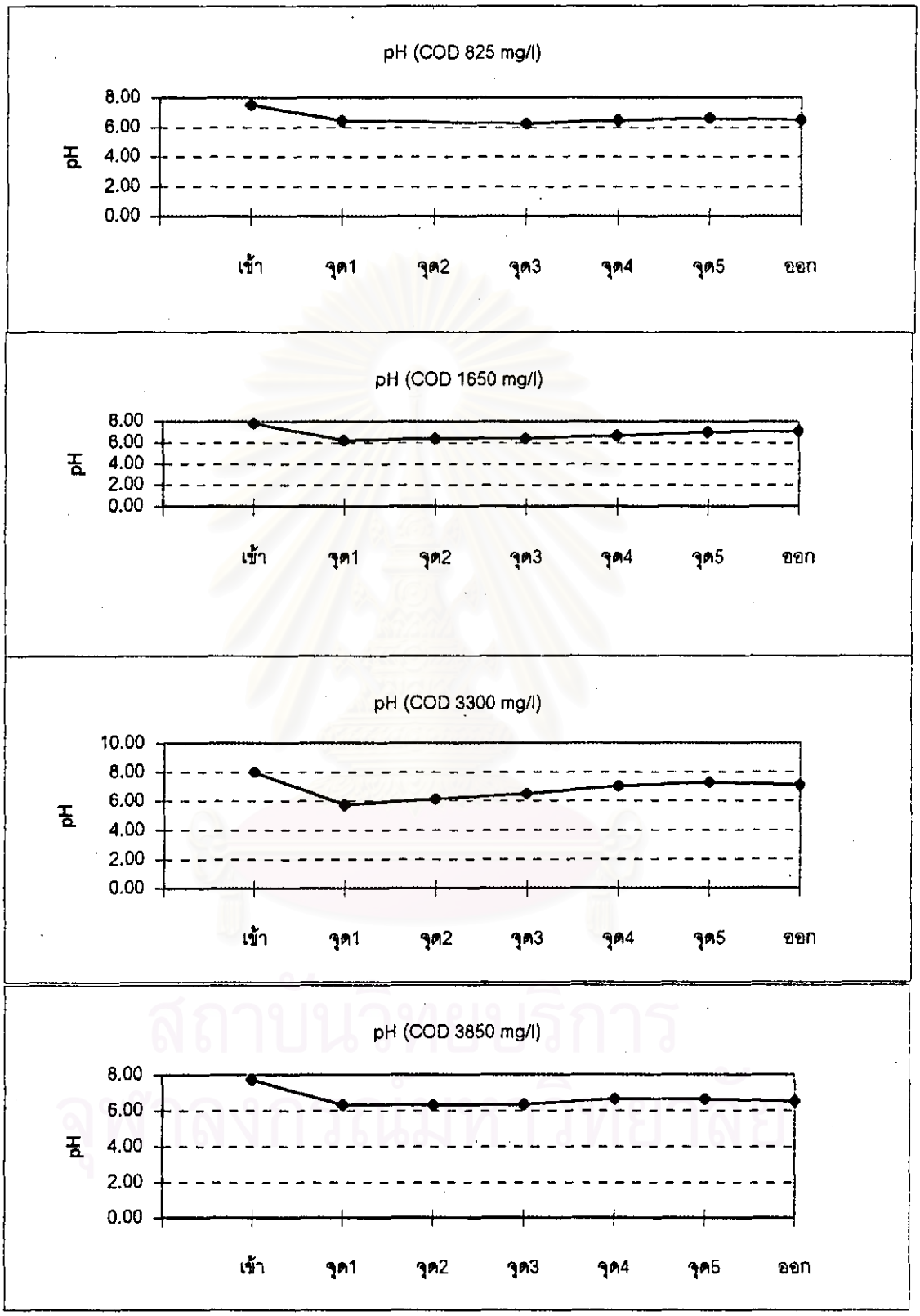
อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์	ระยะเวลากักน้ำ (ชม.)	TOC (มก./ล.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก
2.2	9	315.1	36.3
4.4	9	654.6	139.8
8.8	9	1221.8	392.7
10.26	9	1441.8	558.3

5.3 ผลการทดลองตามความสูงของถังกรอง

ในการเก็บผลการทดลองตามระยะความสูงของถังกรองนั้น จะทำการเก็บผลเพียง 4 การทดลอง คือ ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 2.2, 4.4, 8.8, และ 10.26 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน และที่ไม่ได้ทำการทดลองที่ภาระบรรทุกอินทรีย์ 14.67 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน เพราะว่าที่ค่านี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่ำซึ่งเมื่อเก็บตามความสูงก็ไม่เกิดประโยชน์มากนัก จึงทำการเก็บแค่ 4 ค่า และที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 2.2 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ไม่ได้เก็บตำแหน่งที่ 2 เพราะว่าเกิดการชำรุดเสียหายที่ตัวโมเดลแต่ผลการทดลองที่แสดงก็สามารถเห็นแนวโน้มได้

5.3.1 พีเอช (pH)

จากกราฟและตารางที่ 5.9 จะเห็นว่าเมื่อเริ่มต้นน้ำเสียที่เข้าระบบจะมีค่าพีเอชสูง และเมื่อเข้าไปในถังกรองแล้วจะเห็นว่าค่าพีเอชจะมีค่าลดลง อันเนื่องมาจากค่ากรดโวเลนไทล์มีค่าเพิ่มมากขึ้น และเมื่อผ่านเข้าชั้นกรองค่าพีเอชจะค่อยมีค่าเพิ่มมากขึ้นเพราะค่ากรดโวเลนไทล์เริ่มลดลงโดยถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน แต่ค่าพีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกไม่แตกต่างมากนัก โดยจะอยู่ในช่วงประมาณ 6-8 เมื่อพิจารณาตามอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์จะเห็นว่าที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ต่างๆ ค่าพีเอชมีค่าใกล้เคียงกันตามระยะความสูง และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันตามที่อธิบายข้างต้น



รูปที่ 5.9 ค่าพีเอชตามระยะความสูงของถังกรอง

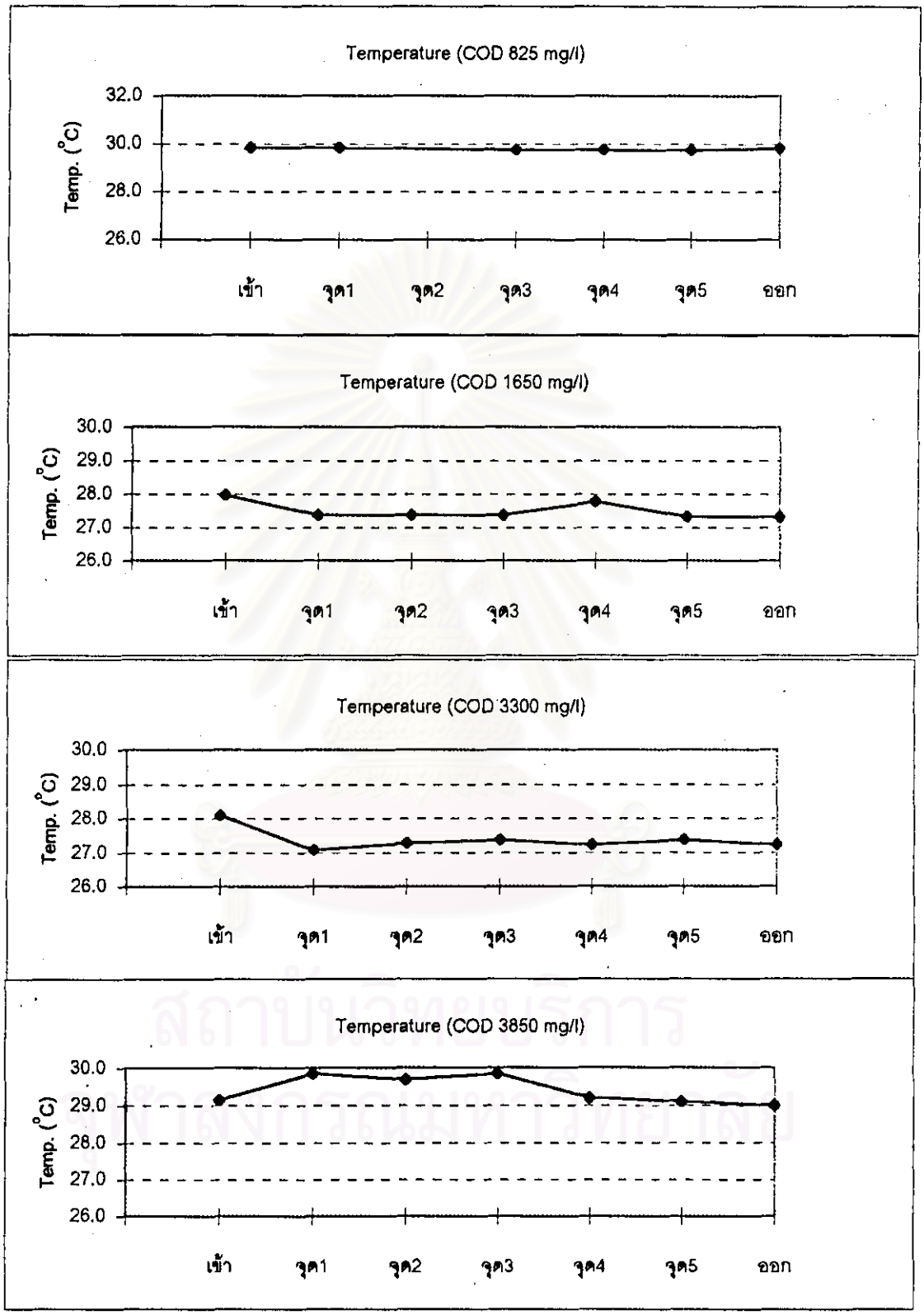
ตารางที่ 5.9 ค่าพีเอชตามระยะความสูงของถังกรอง

ตำแหน่ง	ระยะ (ม.)	พีเอช			
		อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ม^3-วัน)			
		2.2	4.4	8.8	10.26
เข้า	0	7.49	7.80	8.02	7.72
จุด 1	0.15	6.43	6.21	5.74	6.30
จุด 2	0.45	-	6.40	6.14	6.32
จุด 3	1.05	6.23	6.38	6.51	6.33
จุด 4	1.65	6.45	6.66	7.00	6.62
จุด 5	2.25	6.59	6.98	7.28	6.63
ออก	2.50	6.47	7.09	7.07	6.51

5.3.2 อุณหภูมิ (Temperature)

ค่าอุณหภูมิที่แสดงในกราฟและตารางที่ 5.10 นั้นจะแปรตามค่าสภาวะอุณหภูมิภายนอก ดังนั้นอุณหภูมิจะอยู่ในช่วงของอุณหภูมิห้อง ซึ่งตามระยะความสูงของถังกรองไม่มีผลต่ออุณหภูมิ และเมื่อพิจารณาตามอัตราภาระบรรทุกแล้วจะเห็นว่าอุณหภูมิก็ไม่เกี่ยวข้องกับอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นแปลง และค่าอุณหภูมิของแต่ละอัตราบรรทุกอินทรีย์ก็ไม่ได้มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งค่าอุณหภูมิขึ้นกับลักษณะของอุณหภูมิภายนอกเป็นสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



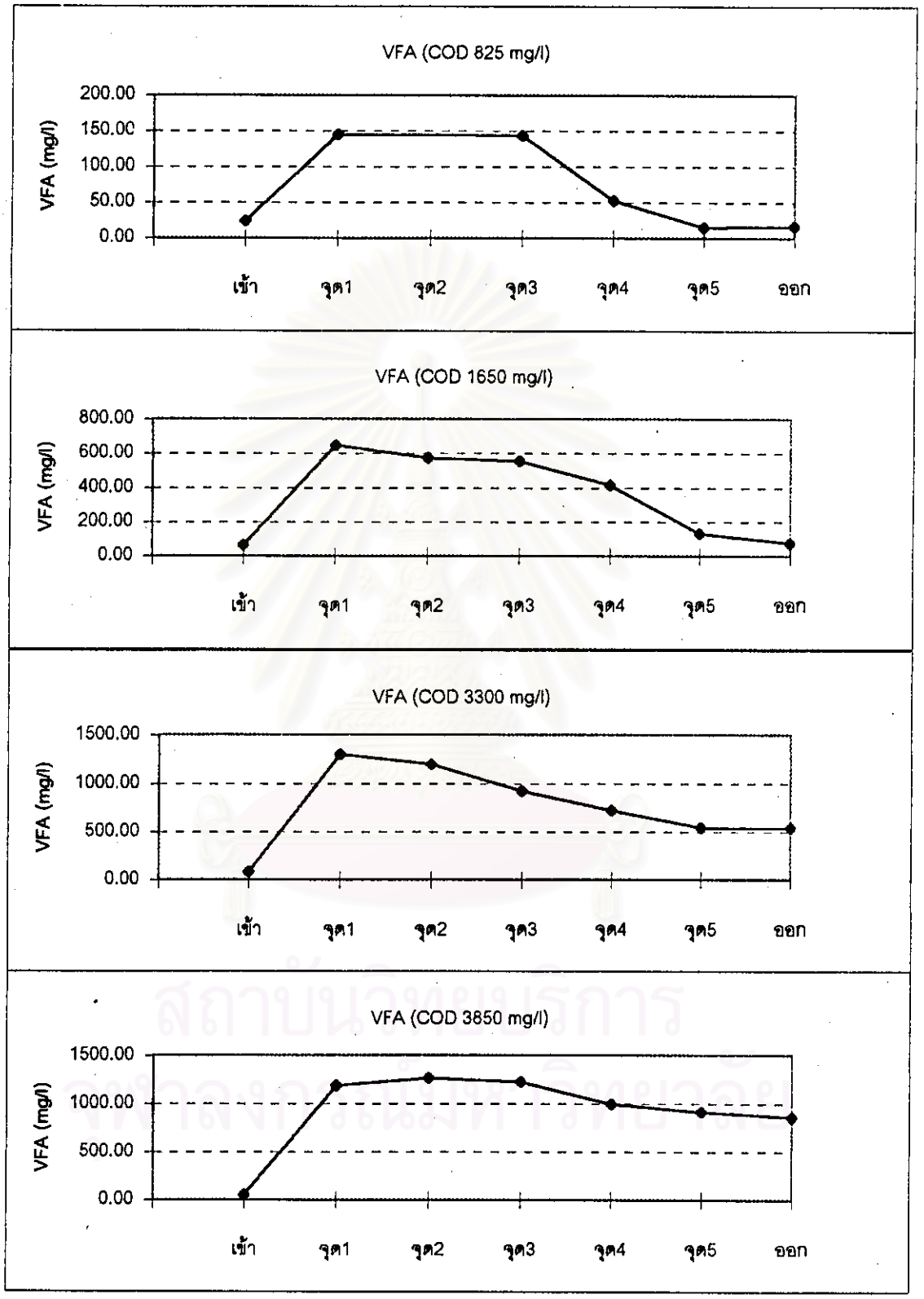
รูปที่ 5.10 ค่าอุณหภูมิตามระยะความสูงของถังกรอง

ตารางที่ 5.10 ค่าอุณหภูมิตามระยะความสูงของถังกรอง

ตำแหน่ง	ระยะ (ม.)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์(กก.ซีโอดี/ม^3-วัน)			
		2.2	4.4	8.8	10.26
เข้า	0	29.84	27.98	28.10	29.15
จุด 1	0.15	29.64	27.38	27.08	29.85
จุด 2	0.45	-	27.38	27.28	29.70
จุด 3	1.05	29.76	27.38	27.38	29.85
จุด 4	1.65	29.76	27.78	27.23	29.20
จุด 5	2.25	29.74	27.33	27.38	29.10
ออก	2.50	29.82	27.33	27.23	29.00

5.3.3 ค่ากรดโวเลนไทล์ (Volatile Fatty Acid)

จากกราฟและตารางที่ 5.11 จะเห็นว่าเมื่อค่าภาระบรรทุกอินทรีย์สูงขึ้นจะมีค่ากรดโวเลนไทล์สูงขึ้นเช่นกัน เมื่อพิจารณาในแง่ของความสูงของถังกรองแล้วพบว่า เมื่อน้ำเข้าถังกรองเริ่มต้นจะมีค่ากรดโวเลนไทล์ไม่สูงมาก เพราะเมื่อเริ่มต้นน้ำเสียที่เข้าเป็นน้ำเสียสังเคราะห์จึงยังไม่มีปฏิกิริยาอะไรเกิดขึ้น จึงทำให้น้ำเข้ามีกรดโวเลนไทล์ต่ำ จากนั้นเมื่อเข้าไปในระบบค่ากรดโวเลนไทล์จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และสูงขึ้นเรื่อยๆ กราฟมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อถึงจุดกึ่งกลางถังกรอง และเมื่อเข้าสู่ชั้นกรองแล้วค่าของกรดโวเลนไทล์ก็จะลดลงเนื่องจากด้านล่างถังไม่มีแบคทีเรียเปลี่ยนกรดโวเลนไทล์ไปเป็นมีเทนซึ่งมีแต่กระบวนการหมักจึงทำให้กรดโวเลนไทล์สูงขึ้น เมื่อเข้าสู่ชั้นกรองแล้วมีแบคทีเรียที่เปลี่ยนกรดโวเลนไทล์เป็นมีเทนจึงทำให้กรดโวเลนไทล์ลดลง และเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าในชั้นกรองจะมีก๊าซเกิดขึ้น และเมื่อพิจารณาตามอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์จะเห็นว่ากราฟทั้งหมดจะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันตามที่ได้อธิบายข้างต้น



รูปที่ 5.11 ค่ากรดโวเลนไทล์ตามระยะความสูงของถังกรอง

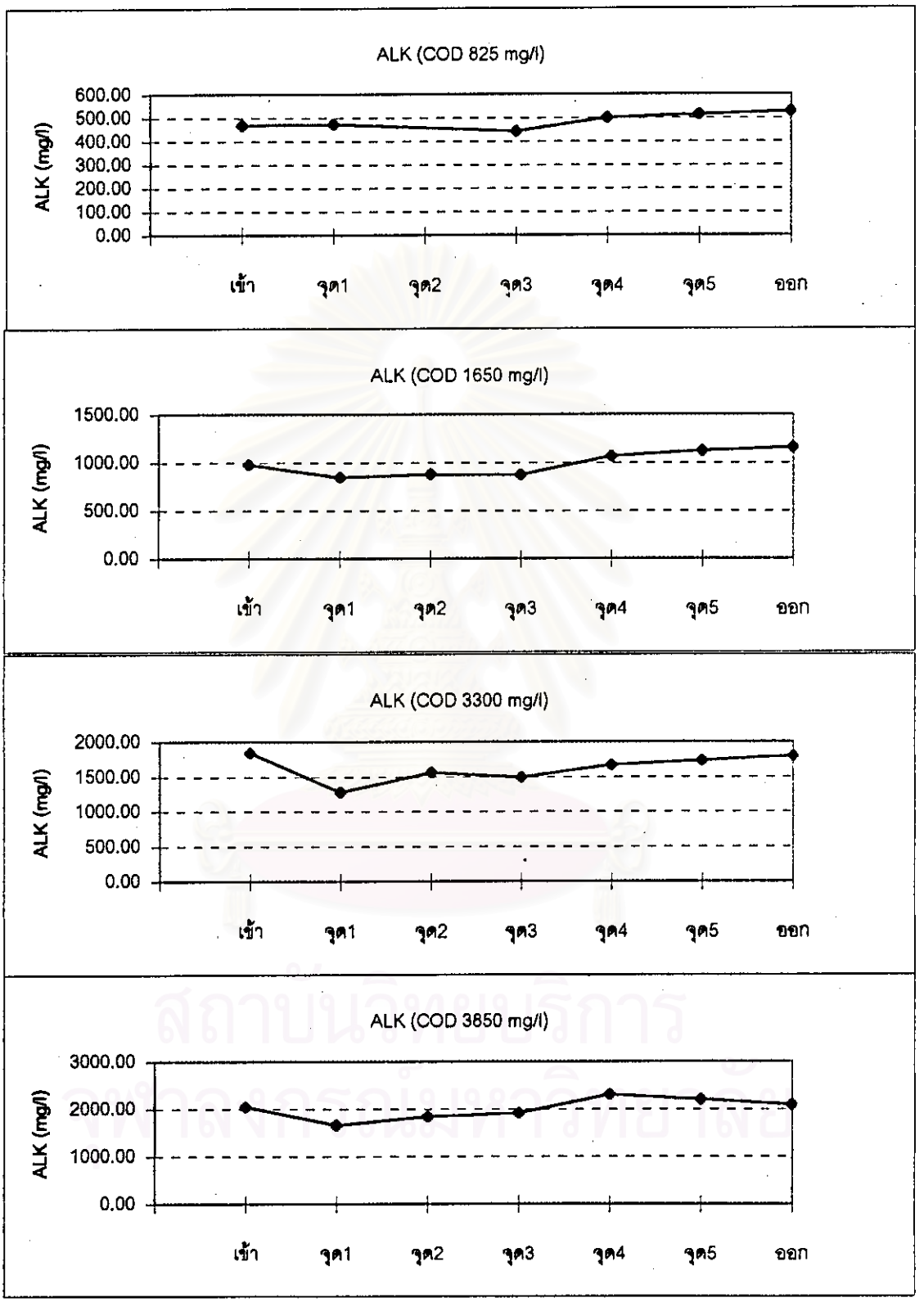
ตารางที่ 5.11 แสดงค่ากรดโวเลนไทล์ตามระยะความสูงของถังกรอง

ตำแหน่ง	ระยะ (ม.)	กรดโวเลนไทล์ (มก./ล.) อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์(กก.ซีโอดี/ม^3-วัน)			
		2.2	4.4	8.8	10.26
เข้า	0	23.75	61.25	81.88	48.75
จุด 1	0.15	145.00	645.94	1304.06	1185.00
จุด 2	0.45	-	571.95	1195.31	1265.63
จุด 3	1.05	143.13	554.06	918.75	1224.38
จุด 4	1.65	52.50	415.31	722.81	996.88
จุด 5	2.25	15.00	131.25	544.81	913.00
ออก	2.50	16.25	74.38	540.00	857.75

5.3.4 สภาพความเป็นด่างรวม (Alkalinity)

จากกราฟและตารางที่ 5.12 จะเห็นว่าเมื่อเริ่มต้นค่าสภาพความเป็นด่างรวมจะมีค่าสูง เมื่อเข้าระบบแล้วค่าจะลดลงซึ่งที่ลดลงเกิดจากการที่ด้านล่างถังกรองมีสภาพความเป็นกรดสูง ดังนั้นสภาพความเป็นด่างรวมจะถูกใช้เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ แต่เมื่อผ่านเข้าชั้นตัวกรองแล้ว สภาพความเป็นด่างรวมก็มีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้น เพราะกรดโวเลนไทล์ได้ถูกใช้ไป เมื่อพิจารณาตาม อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ พบว่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ต่างๆ กราฟจะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันตามที่อธิบายข้างต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.12 ค่าความเป็นด่างรวมตามระยะความสูงของถังกรอง

ตารางที่ 5.12 ค่าความเป็นด่างรวมตามระยะความสูงของถังกรอง

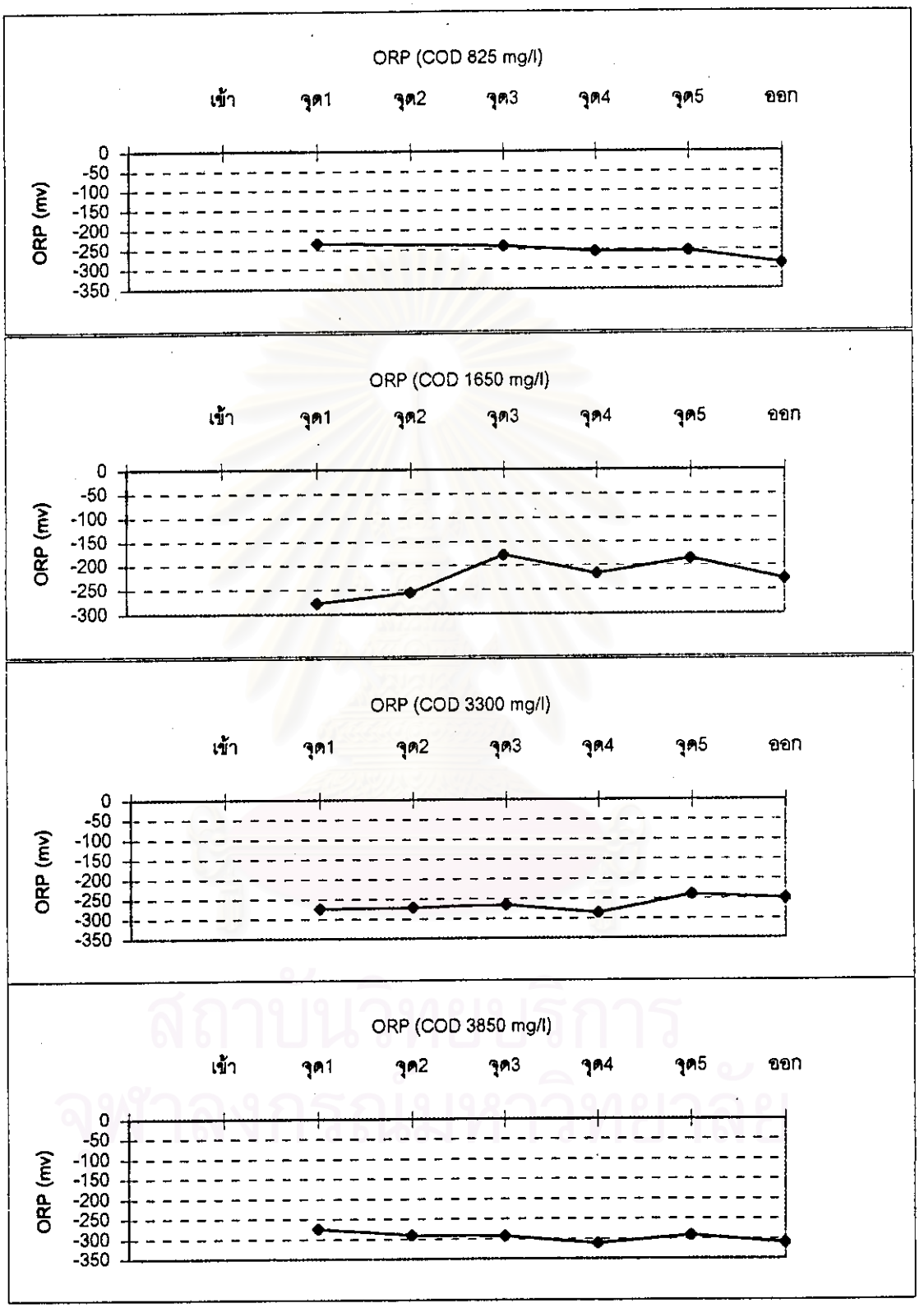
ตำแหน่ง	ระยะ (ม.)	สภาพความเป็นด่างรวม (มก./ล.)			
		อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์(กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน)			
		2.2	4.4	8.8	10.26
เข้า	0	467.43	975.70	1840.72	2040.70
จุด 1	0.15	472.09	843.63	1272.45	1654.24
จุด 2	0.45	-	877.26	1559.73	1834.65
จุด 3	1.05	444.18	871.65	1485.46	1914.78
จุด 4	1.65	500.00	1065.04	1662.03	2302.85
จุด 5	2.25	513.95	1121.10	1725.09	2197.67
ออก	2.50	527.90	1154.91	1793.05	2093.02

5.3.5 ศักยภาพการให้และรับอิเล็คตรอน (Oxidation-Reduction Potential)

จากกราฟและตารางที่ 5.13 จะเห็นแนวโน้มที่ว่าในบริเวณชั้นกรองจะมีค่าโออาร์พีค่อนข้างมาก จะเห็นว่ากราฟจะตกลงเมื่อถึงบริเวณชั้นกรองบริเวณอื่นๆ(คือเป็นลบมาก) ซึ่งค่าโออาร์พีแสดงถึงปฏิกิริยาของระบบ แสดงว่าที่บริเวณชั้นกรองของระบบจะมีกิจกรรมของแบคทีเรียมากนั่นเอง และกราฟในแต่ละอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์มีแนวโน้มเหมือนกัน

ตารางที่ 5.13 ค่าโออาร์พีตามระยะความสูงของถังกรอง (หมายเหตุ:น้ำเข้าไม่ได้วัดผลโออาร์พี)

ตำแหน่ง	ระยะ (ม.)	ศักยภาพการให้และรับอิเล็คตรอน (มิลลิโวลต์)			
		อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์(กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน)			
		2.2	4.4	8.8	10.26
เข้า	0	-	-	-	-
จุด 1	0.15	-233.60	-277.33	-274.33	-275.50
จุด 2	0.45	-	-257.00	-271.33	-291.00
จุด 3	1.05	-241.80	-178.67	-265.67	-293.50
จุด 4	1.65	-256.00	-217.00	-286.00	-313.00
จุด 5	2.25	-254.60	-186.00	-240.67	-292.50
ออก	2.50	-286.20	-229.00	-250.33	-311.50



รูปที่ 5.13 ค่าโอลาร์พีตามระยะความสูงถังกรอง

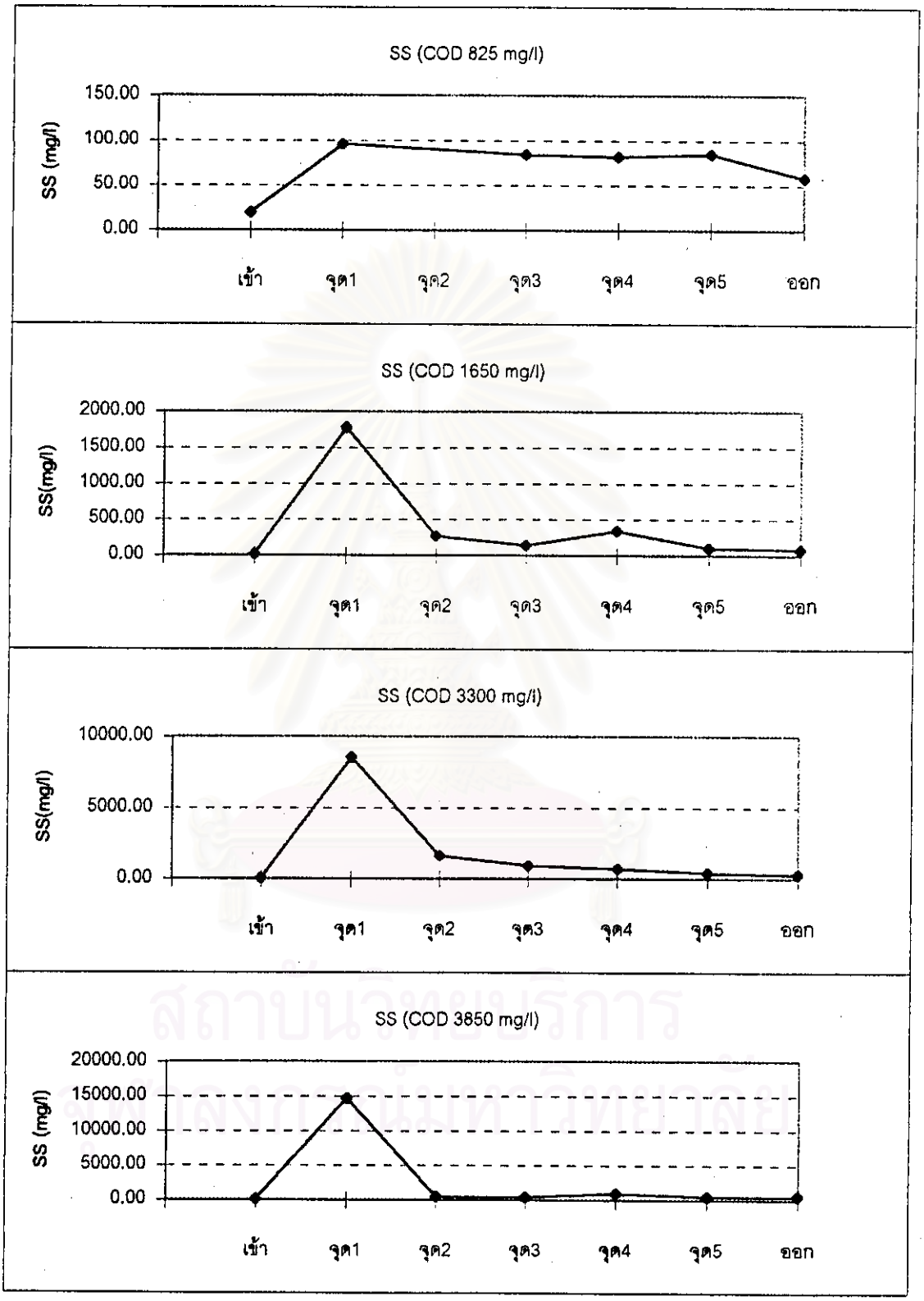
5.3.6 ค่าตะกอนแขวนลอย (Suspended Solid)

จากกราฟและตารางที่ 5.14 จะเห็นว่าน้ำเข้าถังกรองจะมีค่าตะกอนแขวนลอยต่ำมาก เพราะน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ แต่เมื่อเริ่มเข้าถังกรองพบว่าบริเวณถังกรองด้านล่างจะมีค่าตะกอนแขวนลอยสูงมาก เป็นเพราะว่าเมื่อระบบดำเนินการไปจะเกิดการสะสมตะกอนบริเวณด้านล่างของถังกรอง ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นตะกอนของสารประกอบคาร์บอเนต เพราะเป็นตะกอนสีขาวและไม่ละลายน้ำ แต่บริเวณกลางถังกรองก็จะมีปริมาณตะกอนแขวนลอยสูงเช่นกัน เหตุผลเป็นเพราะว่าบริเวณชั้นกรองจะมีเซลหลุดออกมาจากระบบในขณะที่มีการเก็บน้ำ ดังนั้นบริเวณชั้นกรองจึงมีค่าตะกอนแขวนลอยสูงขึ้นมา แต่เมื่อสูงขึ้นไปไม่มีตะกอนสะสมตัวจึงทำให้ตะกอนแขวนลอยต่ำ และที่น้ำออกจะมีค่าตะกอนแขวนลอยต่ำ ก็เพราะมีชั้นตัวกรองช่วยกรองตะกอนแขวนลอยไว้ในระบบ ซึ่งส่วนนี้ก็เป็นส่วนดีของระบบนี้เพราะจะทำให้เซลไม่หลุดออกมาจึงมีการสะสมตัวอยู่ในระบบมาก ประสิทธิภาพในการกำจัดก็จะดี

เมื่อพิจารณาตามอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์จะเห็นว่าเมื่ออัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เพิ่มขึ้นค่าตะกอนแขวนลอยก็จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 5.14 ค่าตะกอนแขวนลอยตามระยะความสูงของถังกรอง

ตำแหน่ง	ระยะ (ม.)	ค่าตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)			
		อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์(กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน)			
		2.2	4.4	8.8	10.26
เข้า	0	19.33	15.00	27.50	72.00
จุด 1	0.15	96.00	1780.00	8600.00	14750.00
จุด 2	0.45	-	267.50	1620.00	475.00
จุด 3	1.05	84.00	142.50	935.00	417.50
จุด 4	1.65	82.00	341.25	705.00	892.50
จุด 5	2.25	85.00	101.25	426.25	446.00
ออก	2.50	58.50	81.80	316.22	554.00



รูปที่ 5.14 ค่าตะกอนแขวนลอยตามระยะความสูงของถังกรอง

5.3.7 ซีโอดี (Carbon Oxygen Demand)

ซีโอดีที่ทำการทดลองในการเก็บตามระยะความสูงนี้จะกรองก่อน เพราะขณะการเก็บตัวอย่างจะมีแบคทีเรียบางส่วนหลุดออกมาซึ่งอาจจะทำให้ค่าซีโอดีผิดไป จากกราฟและตารางที่ 5.15 จะเห็นว่าเมื่อน้ำเข้าซีโอดีจะเริ่มลดลงเมื่อเข้าถังกรองและเมื่อผ่านระยะต่าง ๆ ค่าซีโอดีจะลดลงเรื่อย ๆจนเหลือน้อยที่สุดเมื่อถึงน้ำออก

เมื่อพิจารณาแต่ละอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่เมื่ออัตราภาระบรรทุกอินทรีย์มาก แต่ละจุดก็จะมากกว่าที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์น้อย

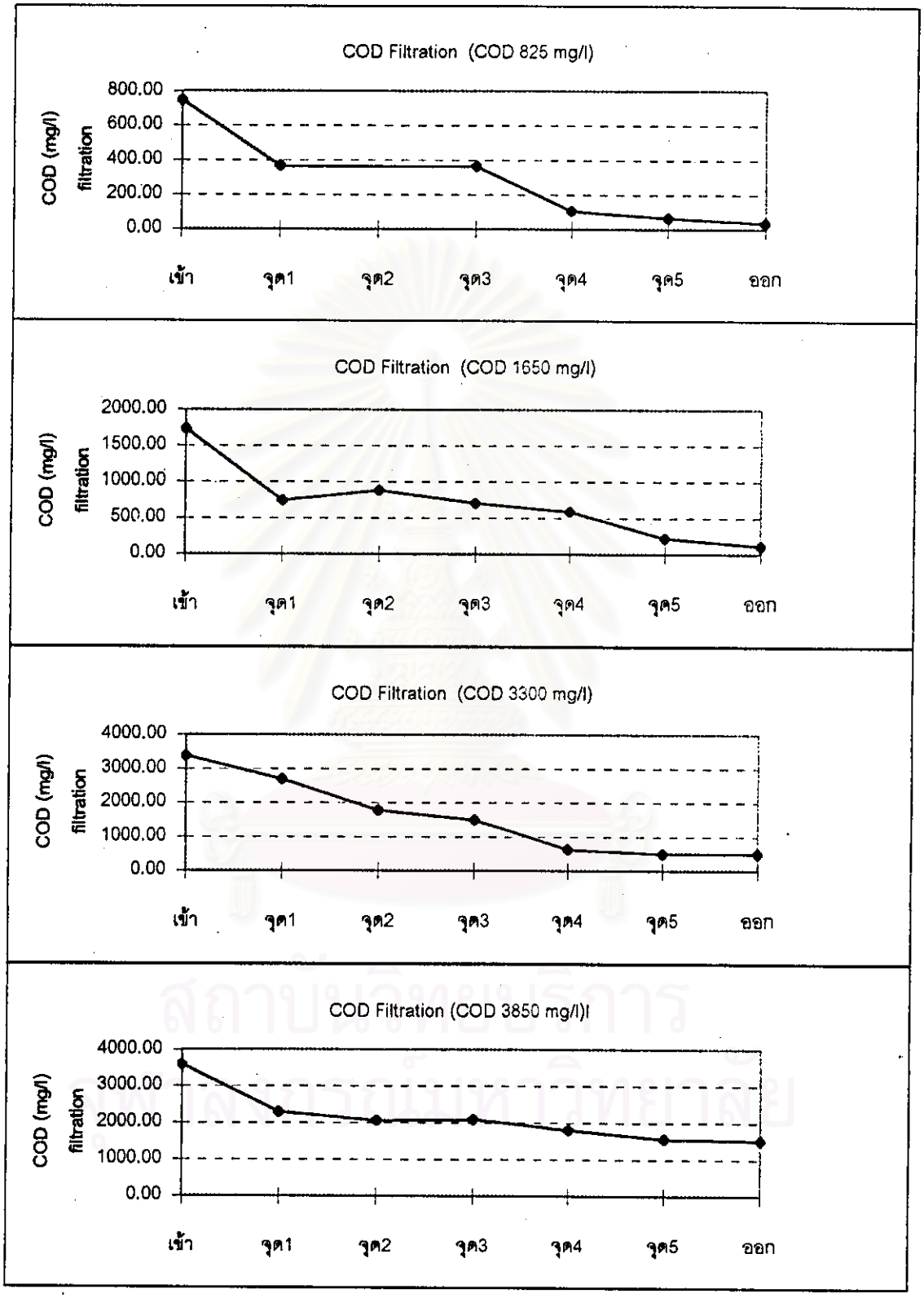
ตารางที่ 5.15 ค่าซีโอดีตามระยะความสูงของถังกรอง

ตำแหน่ง	ระยะ (ม.)	ซีโอดี (มก./ล.) อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์(กก.ซีโอดี/ม^3-วัน)			
		2.2	4.4	8.8	10.26
เข้า	0	748.10	1728.00	3373.95	3597.35
จุด 1	0.15	365.40	735.65	2676.86	2278.65
จุด 2	0.45	-	875.75	1766.32	2048.00
จุด 3	1.05	362.85	699.61	1490.44	2079.00
จุด 4	1.65	104.13	582.31	626.51	1790.00
จุด 5	2.25	63.50	222.05	490.15	1544.00
ออก	2.50	32.73	106.09	496.76	1509.00

5.4 วิเคราะห์ผลการวิจัย

5.4.1 ตำแหน่งของชั้นตัวกลางกรองที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดซีโอดี

จากตารางที่ 5.7 พบว่าค่าเฉลี่ยของซีโอดีเข้าระบบเป็น 782, 1774, 3394, 3781 และ 5133 มก./ล. และค่าซีโอดีออกจากระบบเป็น 80, 392, 956, 1978 และ 3395 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 89, 77, 71, 47 และ 33 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ โดยใช้เวลากักน้ำคงที่ 9 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของเจษฎา ศรศึก, 2527 เรื่องผลของความลึกและตำแหน่งของชั้นตัวกลางต่อสมรรถนะของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน โดยวางชั้นตัว



รูปที่ 5.15 ค่าซีโอดีตามระยะความสูงของถังกรอง

กลาง 4 ลักษณะ คือ ตัวกลางเต็มถัง ตัวกลางลอย 25% ตัวกลางลอยครึ่งถัง และตัวกลางจมครึ่งถังกรอง ในการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์อย่างต่อเนื่องและช้า ปรากฏว่าถังกรองที่มีตัวกลางเต็มถังจะมีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีน้ำเสียได้ดีที่สุด ส่วนตัวกลางลอยทั้ง 2 ลักษณะก็มีแนวโน้มทำงานได้ดีขึ้น สำหรับถังกรองที่มีตัวกลางจมครึ่งถังกรอง จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีไม่ดีนักเพราะมีแบคทีเรียหลุดจากถังกรองมาก เนื่องจากมีความเข้มข้นของซีโอดีสูงมาก ทำให้เกิดก๊าซมากจึงทำให้แบคทีเรียฟุ้งกระจายได้ง่าย และไม่มีตัวกรองคอยกักเซลเอาไว้อีกด้วย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยของผู้เขียนจะเห็นว่างานวิจัยของผู้เขียนเลือกระบบที่ให้ตัวกลางลอยครึ่งถัง เพื่อจะได้แก้ปัญหาในการที่เซลจะฟุ้งกระจาย ซึ่งจากผลการวิจัยที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ต่ำ คือ ซีโอดีต่ำที่ 825 และ 1650 มก./ล. จะมีการฟุ้งกระจายของเซลน้อยมาก โดยพิจารณาจากค่าตะกอนแขวนลอยที่ออกมา แต่ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์สูง คือ ค่าซีโอดี 3300, 3850 และ 5500 มก./ล. จะเห็นว่าค่าตะกอนแขวนลอยจะสูงขึ้นมากทันที ซึ่งเป็นเพราะที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์สูงจะมีค่ากรดโวเลนไทล์สูงมาก จึงทำให้ชั้นกรองแม้จะกักเซลไว้ได้ แต่บางส่วนก็สามารถจะหลุดออกจากชั้นกรองไปได้

นอกจากนี้งานวิจัยของเจษฎา ศรศึก ยังแสดงให้เห็นว่าการทำงานของถังกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางลอยครึ่งถัง และตัวกลางจมครึ่งถัง ในการกำจัดซีโอดีในน้ำเสีย 3600 มก./ล. ระยะเวลากักน้ำ 46.3 ชม. ทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีความสามารถกำจัดซีโอดีใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ยถังกรองทั้งสองมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 10-40% เนื่องจากทั้งสองมีประสิทธิภาพในเกณฑ์ต่ำทั้งคู่ จึงทำให้เจษฎา ศรศึก ไม่สามารถจะชี้ข้อแตกต่างจากการวางชั้นตัวกลางลอยครึ่งถัง เปรียบเทียบกับชั้นตัวกลางจมครึ่งถังได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจิตเทพ ประสิทธิ์อยู่ศีล, 2534 ก็ได้ทำการทดลองแบบตัวกลางจมครึ่งถัง แต่ก็ไม่สามารถสรุปได้ว่าการวางตัวกลางจมครึ่งถังมีผลดีหรือไม่อย่างไร เพราะใช้น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีค่อนข้างต่ำ อยู่ในช่วง 100-200 มก./ล. ซึ่งมีเวลากักน้ำ 12-72 ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 61-74% อีกทั้งมีการฟุ้งกระจายของเซลแบคทีเรียต่ำอีกด้วย ซึ่งผลที่แสดงไม่ค่อยชัดเจนเท่าไร แต่จากงานวิจัยที่ผู้เขียนได้ทำการทดลองนี้ ประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดีพอใช้ตามที่กล่าวข้างต้น ซึ่งประสิทธิภาพนี้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของเจษฎา ศรศึก และจิตเทพ ประสิทธิ์อยู่ศีล จะเห็นว่างานวิจัยนี้ในการใช้ตัวกลางลอยครึ่งถังมีประสิทธิภาพดีกว่า

5.4.2 อัตราส่วนโวเลนไทล์ต่อสภาพด่างทั้งหมด (VFA/ALK)

อัตราส่วนนี้เป็นค่าที่มีความสำคัญในการตรวจสอบกำลังบัฟเฟอร์ของระบบ อัตราส่วนนี้จะมีค่าเพิ่มตามการเพิ่มของอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ เหตุผลก็เพราะว่า เมื่ออัตราภาระบรรทุก

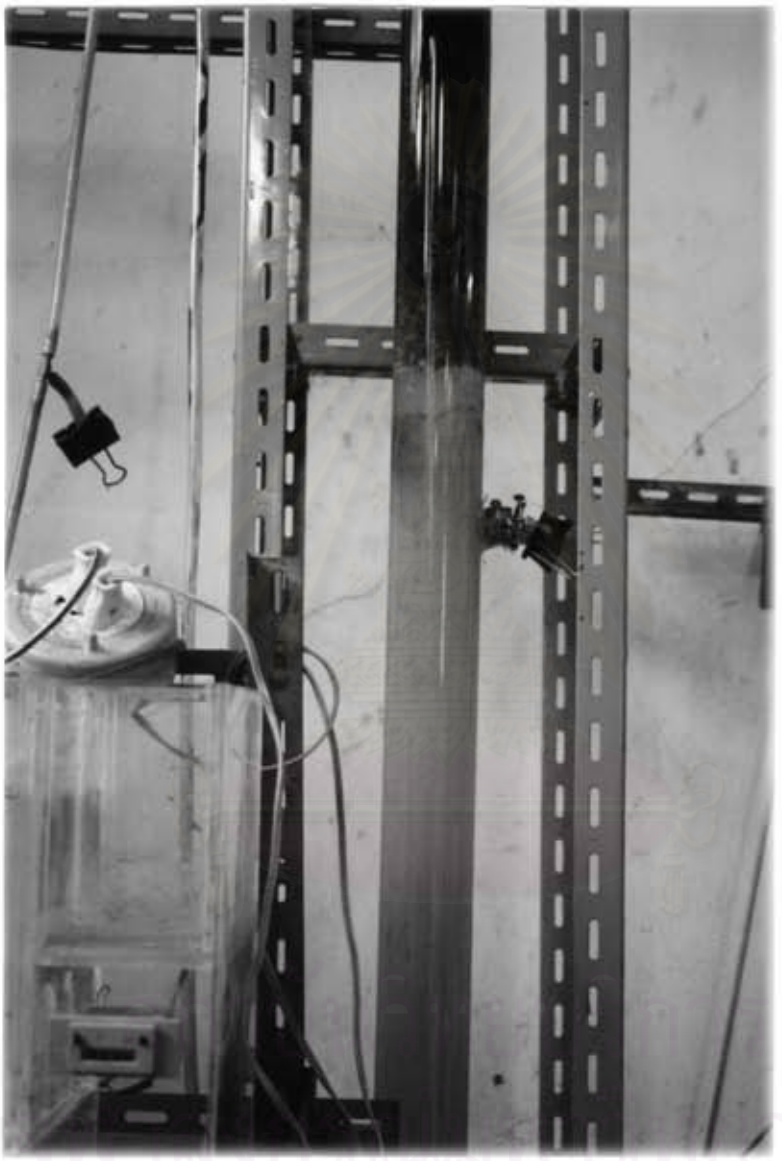
อินทรีย์สูงขึ้นปริมาณกรดโวเลนไทล์ก็จะสูงขึ้นตามเพราะเกิดการหมักมากขึ้นนั่นเอง การที่กรดโวเลนไทล์สูงขึ้นมากนั้นอาจทำให้ระบบเกิดภาวะล้มเหลวได้ ดังนั้นที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์สูง จึงต้องทำการใส่ไบคาร์บอเนตมากเพื่อให้เป็นกำลังบัฟเฟอร์ให้กับระบบเพื่อให้ดำเนินกิจกรรมต่อไปได้ ซึ่งทั่วไปตามทฤษฎีค่านี้ในระบบไร้ออกซิเจนควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.4-0.8 แต่ถ้าค่าอยู่เกิน 0.8 ขึ้นไปจะอยู่ในสภาวะอันตรายกับระบบมากเพราะแสดงว่าระบบจะมีค่ากรดโวเลนไทล์สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และกำลังบัฟเฟอร์ของระบบมีน้อยมากจนระบบจะล้มเหลว

ค่านี้ยังมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชด้วยเพราะเกี่ยวข้องกับค่ากรดและค่าด่าง โดยทั่วไประบบไร้อากาศจะมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6-8 ซึ่งถือว่าเป็นช่วงที่ระบบสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีและสมบูรณ์ แต่ถ้าพีเอชลดต่ำลงจาก 6 ลงมาแสดงว่าระบบมีแนวโน้มที่ค่ากรดโวเลนไทล์จะสูงขึ้น และค่าความเป็นด่างมีปริมาณน้อยจนไม่สามารถพยุงระบบให้ดำเนินต่อไปได้ ดังนั้นค่าพีเอช และอัตราส่วน VFA/ALK จึงมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด

จากงานวิจัยนี้ในการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 4.4 และ 8.8 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ในช่วงเริ่มต้นระบบ วันที่ 50 ของการทดลองของรูปที่ 5.1 กราฟของพีเอชตกลงมาที่พีเอช 4.83 และ 4.64 เมื่อตรวจสอบค่า VFA/ALK แล้วพบว่ามีค่าเท่ากับ 1.49 และ 1.43 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าเกิน 0.8 ไปเยอะมาก ระบบในช่วงนั้นจึงแย่ลงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นจึงได้รีบทำการแก้ไขระบบโดยด่วนโดยการเพิ่มด่างเข้าไปเพื่อให้ไปช่วยพยุงระบบให้กลับคืนมา ดังที่กล่าวมาแล้วจึงเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนนี้มีความสำคัญในการดำเนินระบบมาก ซึ่งในการวิจัยนี้มีค่าอัตราส่วนเฉลี่ยของ VFA/ALK ดังตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วน VFA/ALK ของระบบ

อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์	ซีโอดี (มก./ล.)	กรดโวเลนไทล์ (VFA)	ความเป็นด่าง (ALK)	VFA/ALK น้ำออก
2.2	825	18.75	567.39	0.03
4.4	1650	114.84	1102.69	0.10
8.8	3300	430.55	1959.33	0.22
10.26	3850	902.16	2081.39	0.43
14.67	5500	2090.25	2970.92	0.70

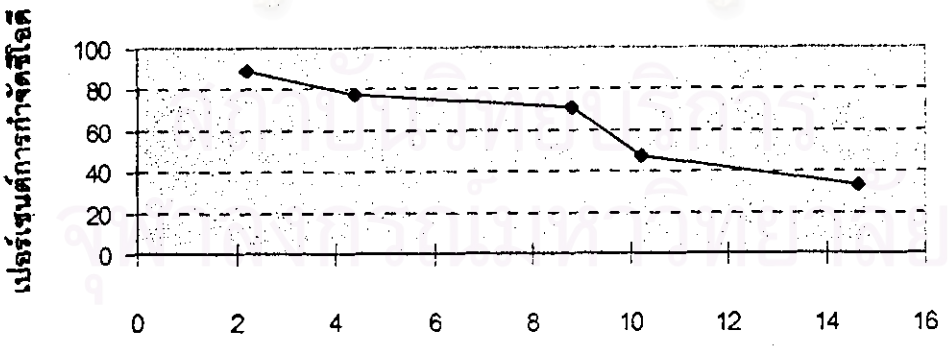


รูปที่ 5.16 ลักษณะของเม็ดพลาสติกที่บรรจุในถังกรองไร้อากาศ

จากตารางจะเห็นว่าเมื่ออัตราภาระบรรทุกอินทรีย์มากขึ้นค่า VFA/ALK ก็สูงมากขึ้น เหตุผลดังที่กล่าวไปแล้ว จะเห็นว่าที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์สูงสุดมีค่า VFA/ALK สูงถึง 0.70 ซึ่งก็ใกล้จะเกิน 0.8 แต่เนื่องจากมีปริมาณบัฟเฟอร์สูงจึงยังสามารถดำเนินระบบได้ แต่ก็มีแนวโน้มจะล้มเหลวได้ง่าย และเมื่อเพิ่มปริมาณบัฟเฟอร์ให้สูงมากเท่าไรก็ตามก็ไม่ช่วยให้ระบบบำบัดซีโอดีได้มากขึ้น เพราะปริมาณบัฟเฟอร์ช่วยพยุงพีเอชของระบบเท่านั้น เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีก็พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำ ซึ่งผลการวิจัยก็สอดคล้องกัน

5.4.3 อิทธิพลของอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ที่ทำการทดลองครั้งนี้ทำการแปรเปลี่ยนซีโอดีอย่างเดียว โดยมีค่าซีโอดีดังนี้ 825, 1650, 3300, 3850 และ 5500 มก./ล. คิดเป็นอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์คือ 2.2, 4.4, 8.8, 10.26 และ 14.67 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน โดยระบบมีระยะเวลากักน้ำ 9 ชั่วโมงคงที่ ซึ่งที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ต่างๆ นั้นประสิทธิภาพของระบบน่าจะเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการเพิ่มค่าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ คือ ที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 2.2, 4.4, 8.8, 10.26 และ 14.67 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเป็น 89, 77, 71, 47 และ 33 ตามลำดับ เนื่องจากในการทดลองนี้เรากำหนดแปรเปลี่ยนค่าซีโอดีอย่างเดียว โดยมีเวลากักน้ำคงที่ ดังนั้นเราจึงเห็นผลการทดลองชัดเจนว่าเมื่ออัตราภาระบรรทุกอินทรีย์มากขึ้น อัตราการกำจัดซีโอดีลดลง เมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 5.17 จะเห็นได้ชัดเจน



รูปที่ 5.17 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ

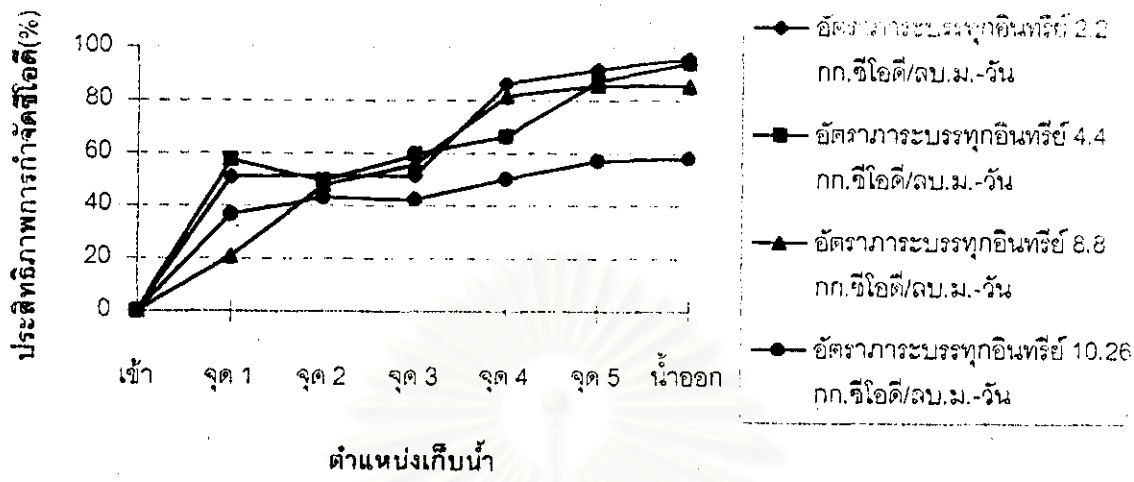
การที่กราฟเป็นเช่นนี้น่าจะเกิดจากความไม่สมดุลระหว่างปฏิกิริยาการสร้างกรด โดยแบคทีเรียชนิดสร้างกรดกับปฏิกิริยาการใช้กรดอินทรีย์ในการสร้างมีเทน โดยที่ปริมาตรก๊าซทั้งหมดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ แต่เปอร์เซนต์มีเทนจะมีค่าลดลง

นอกจากนี้เมื่ออัตราภาระบรรทุกอินทรีย์เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าตัวแปรส่วนใหญ่มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ตัวแปรเหล่านี้ได้แก่ ความเป็นด่างรวม กรดโวเลนไทล์ ค่าตะกอนแขวนลอย และค่าซีโอดี ส่วนค่าพีเอชจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากมีการควบคุมค่าพีเอชในระหว่างการทดลอง ค่าอุณหภูมิก็เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเช่นกันเพราะขึ้นกับสภาวะอากาศภายนอกซึ่งเมืองไทยมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ค่าโออาร์พีมีแนวโน้มจะลดลง(เป็นลบมากขึ้น)

การที่ค่ากรดโวเลนไทล์มีปริมาณสูงขึ้นนี้อาจสืบเนื่องมาจากปริมาณสารอาหารที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ จะทำให้แบคทีเรียที่สร้างกรดมีการเจริญเติบโตเร็ว ดังนั้นปฏิกิริยาการสร้างกรดโวเลนไทล์จึงเกิดเพิ่มเร็วกว่าการถูกนำไปใช้สร้างมีเทนโดยมีเทนแบคทีเรีย การสะสมตัวของกรดจึงเพิ่มขึ้น แต่สภาวะของสภาพความเป็นกรดด่าง (พีเอช) ยังคงเป็นกลางทั้งนี้เนื่องจากระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง ส่วนค่าสภาพความเป็นด่างรวมมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณไบคาร์บอเนตที่มีอยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์

5.4.4 ระยะความสูงของถังกรองกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

จากการทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างระหว่างถังกรองโดยแบ่งเป็น 5 จุด ตามระยะความสูงจากด้านล่างถังกรองดังนี้ คือ 0.15 ม., 0.45 ม., 1.05 ม., 1.65 ม. และ 2.25 ม. โดยเก็บเฉพาะเมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว โดยเก็บที่อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ 4 ค่า คือ 2.2, 4.4, 8.8 และ 10.26 กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน ซึ่งค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของภาระบรรทุกอินทรีย์ทั้ง 4 ค่า แสดงกราฟในรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามระยะความสูง

พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีส่วนใหญ่ของทุกอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์จะเกิดขึ้นสูงมากในช่วงตั้งแต่น้ำเข้าจนถึงจุดที่ 2 คือ ระยะ 0.45 ม.จากทางเข้า ซึ่งมีเปอร์เซนต์การลดของซีโอดีประมาณ 50% ซึ่งในช่วงแรกที่มีอัตราการลดลงของซีโอดีมากเพราะเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบ ก็จะเริ่มมีการหมักตัวโดยแบคทีเรียชนิดสร้างกรดซึ่งแบคทีเรียชนิดนี้น่าจะอยู่ในน้ำเพราะช่วงนี้ของถังกรองไม่มีชั้นกรองอยู่ เพราะฉะนั้นในช่วงนี้จึงควรจะมีค่ากรดโวเลนไทล์สูงมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.11 ก็จะเห็นดังที่กล่าวข้างต้น ต่อจากนั้นในช่วงจุดที่ 3 คือ ระยะ 1.05 ม.จากทางเข้า การลดของซีโอดีของทุกอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์จะไม่มากนัก เพราะว่าหลังจากที่เปลี่ยนซีโอดีเป็นกรดโวเลนไทล์แล้ว ก็ควรจะมีแบคทีเรียเปลี่ยนกรดโวเลนไทล์ให้เป็นมีเทน แสดงว่าในช่วงนี้ไม่มีแบคทีเรียเปลี่ยนเป็นมีเทนดังนั้นซีโอดีจึงลดไม่มากนัก แต่เมื่อผ่านจุดที่ 4 คือ ที่ระยะ 1.65 ม.จากด้านล่างถังค่าซีโอดีก็จะเริ่มลดลงอีกเพราะเริ่มเข้าชั้นกรองแล้ว ซึ่งแสดงว่าในชั้นกรองมีแบคทีเรียเปลี่ยนกรดโวเลนไทล์เป็นมีเทนอยู่ ซึ่งขณะทดลองถ้าสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่ามีก๊าซเกิดขึ้นที่ชั้นกรอง ซึ่งจุดที่ 5 จนถึงทางน้ำออกก็มีอัตราลดลงของซีโอดีอยู่ในอัตราเดียวกับจุดที่ 4

5.4.5 ลักษณะของเซล ลักษณะของตัวกลาง และลักษณะของเซลที่เกาะบนตัวกลาง

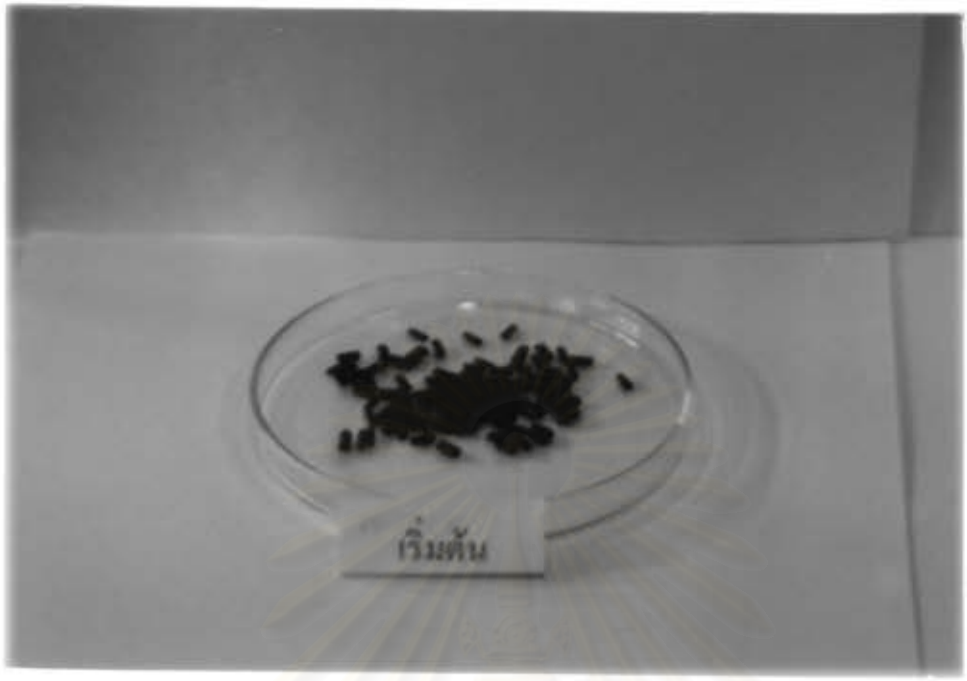
โดยทั่วไปปริมาณเซลแบคทีเรียสามารถวัดได้จากการหาน้ำหนักตะกอนโวเลนไทล์ต่อปริมาตรน้ำทิ้ง แต่ในกรณีที่น้ำเสียซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรียมีปริมาณสารแขวนลอยน้อยหรือไม่มี การวัดปริมาณแบคทีเรียก็สามารถทำได้ง่ายขึ้นโดยการวัดตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้ง งาน

วิจัยนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์จึงมีปริมาณสารแขวนลอยน้อย ดังนั้นจึงใช้ปริมาณสารแขวนลอยเป็นดรรชนีเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรีย

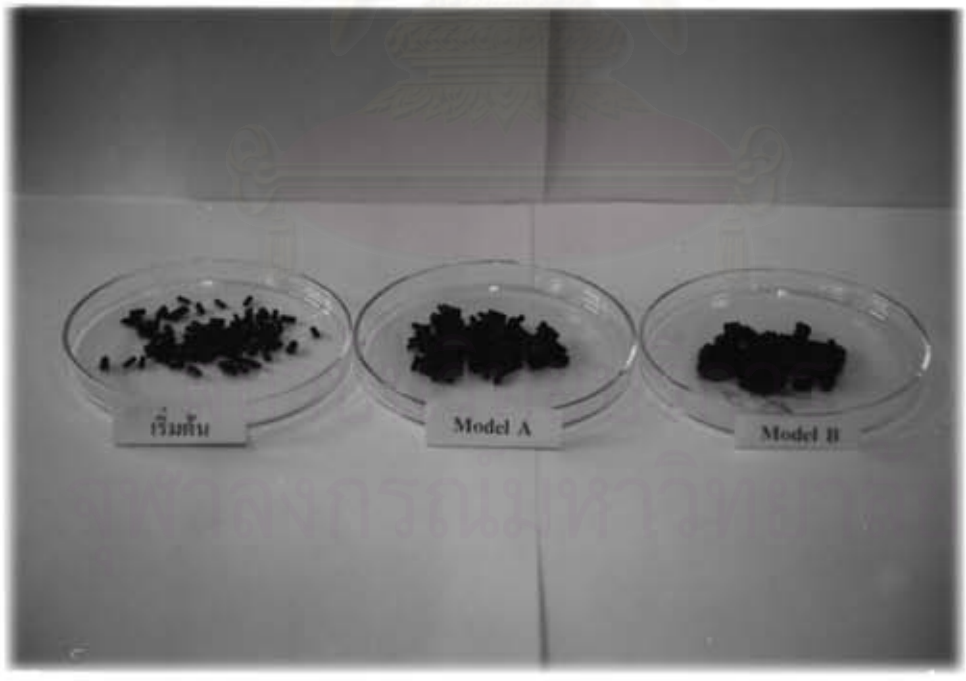
ปริมาณเซลในถังกรองจะมีการเพิ่มตลอดเวลา และการเพิ่มนี้จะเห็นได้ชัดในกรณีที่มีการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์อย่างเหมาะสม แต่ถ้าอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์มากเกินไปจนระบบไม่สามารถรองรับได้ ปริมาณเซลที่อยู่ในถังกรองก็จะไม่เพิ่มขึ้นและยังลดปริมาณลงเพราะเซลจะตายและหลุดออกมากับน้ำออก จากงานวิจัยนี้เป็นแบบตัวกลางลอย ดังนั้นแบคทีเรียส่วนใหญ่จะอยู่ภายในชั้นตัวกรอง ทั้งเกาะติดกับตัวกรองและอยู่ระหว่างเม็ดพลาสติกที่ใช้เป็นตัวกรอง แต่ก็มีบางส่วนที่รวมตัวกันและตกลงบริเวณด้านล่างถังกรอง ซึ่งจะเห็นได้จากค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยจากตารางที่ 5.14 ในช่วงแรก คือ 0.15 เมตรจากด้านล่างถัง จะมีปริมาณตะกอนแขวนลอยสูงมาก ซึ่งแบคทีเรียที่อยู่ด้านล่างนี้จะมีลักษณะเป็นปุย และเมือก มีสีเทาและมีกลิ่นค่อนข้างเหม็น

ส่วนตัวกลางที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นลักษณะของเม็ดพลาสติกที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเม็ดพลาสติกเหล่านี้ก่อนการทดลองได้เอาไปแช่ในกรดไนตริกเข้มข้น 50% เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้แบคทีเรียสามารถเกาะบนเม็ดพลาสติกได้มากขึ้น การใช้เม็ดพลาสติกในการทดลองเพราะเป็นเม็ดขนาดเล็กทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวมาก อีกทั้งทำให้กักเซลได้ปริมาณมากอีกด้วย แต่ข้อเสียคืออาจจะทำให้ระบบอุดตันได้ง่ายเมื่อดำเนินระบบไปนานๆเพราะปริมาณเซลจะเพิ่มมากขึ้นทำให้น้ำเสียผ่านระบบไปไม่ได้ อีกทั้งการที่เม็ดพลาสติกมีขนาดเล็กทำให้การระบายก๊าซของระบบทำได้ไม่ทัน ซึ่งอาจจะทำให้ระบบระเบิดได้ ซึ่งลักษณะตัวกลางเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงในรูปที่ 5.19 และ 5.20

ส่วนลักษณะเซลที่เกาะอยู่บนตัวกลาง ได้ทำการไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน (SEM) ดังรูปที่ 5.21 และ 5.22 จะเห็นว่าส่วนใหญ่ของแบคทีเรียที่เกาะบนเม็ดพลาสติกเป็นพวกแบคทีเรียมีเส้นใย (Filamentous Bacteria) ซึ่งการที่ระบบมีแบคทีเรียชนิดนี้อยู่มากเป็นการดีเพราะการที่มีเส้นใยทำให้แบคทีเรียช่วยกันยึดตัวกันไว้ ทำให้ระบบมีปริมาณเซลในระบบมาก แต่ข้อเสียก็อาจทำให้ระบบอุดตันได้ง่าย

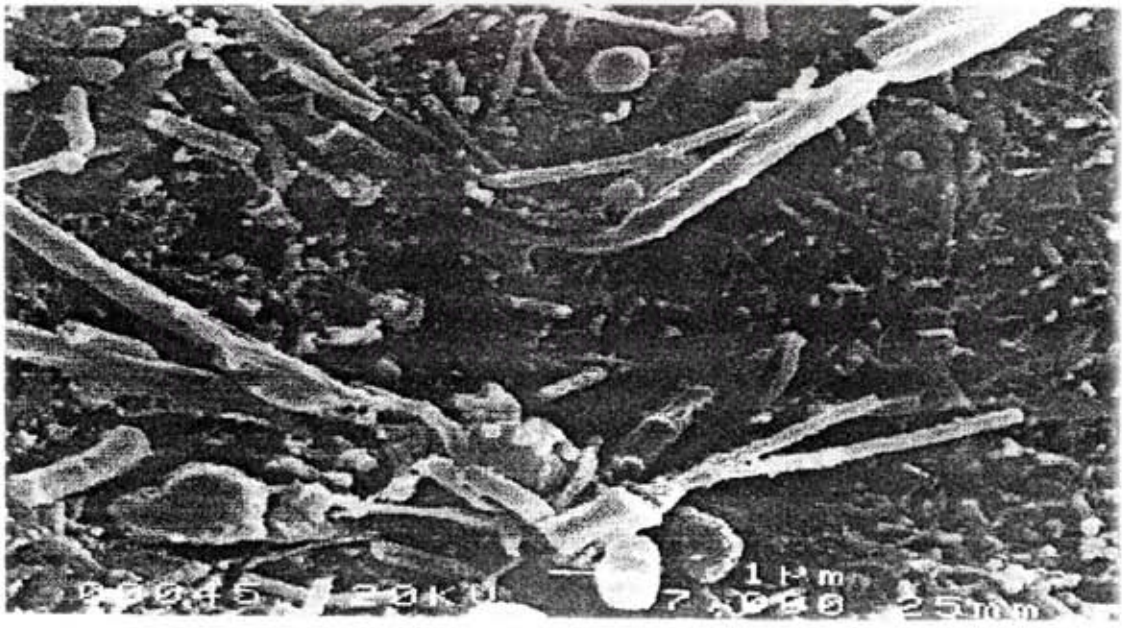


รูปที่ 5.19 ลักษณะเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบลักษณะเม็ดพลาสติกก่อนการทดลองและหลังการทดลอง

รูปที่ 5.21 ลักษณะของแบคทีเรียที่เกาะบนพื้นผิวเม็ดพลาสติก กำลังขยาย 370 เท่า



รูปที่ 5.22 ลักษณะของแบคทีเรียที่เกาะบนพื้นผิวเม็ดพลาสติก กำลังขยาย 7000 เท่า