บทที่ 4
ผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ประกอบไปด้วย 4 ชุดการทดลอง ซึ่ง 3 ชุดการทดลองแรกใช้น้ำเสียที่มีชนิดสี 3 ชนิดได้แก่ สีดิสเพอร์ส, รีแอกทีฟ และซัลเฟอร์ ทดลองโดยใช้ระบบบำบัดจำลองขนาดทดลองแบบแบตช์ 2 ประเภทคือ ก) ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดากับ ข) ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ ก่อนที่จะเริ่มเดินระบบฯทั้งสองนี้ได้มีการทำโพรไฟล์ซีโอดีของน้ำเสียทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อหาช่วงเวลาการทำงานที่เหมาะสม แล้วจึงดำเนินการทดลองต่อไป

สำหรับการทดลองชุดที่ 4 ได้ใช้น้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟที่มีการเติมแหล่งคาร์บอน (ในรูปของกรดอะซิติกและน้ำตาล)เสริมลงไปด้วยเพื่อให้มีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ในระบบฯ และจากการทดลอง 3 ชุดการทดลองที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์สามารถกำจัดสีได้ดีกว่าระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา จึงได้กำหนดให้การทดลองชุดที่ 4 นี้ใช้เฉพาะระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์อย่างเดียว นอกจากนี้ยังกำหนดให้ระบบฯดังกล่าวมีช่วงเวลาการทำงานแตกต่างกันคือ 1 และ 2 วัฏจักรต่อวัน ตามลำดับ โดยมีช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกต่างกันสำหรับช่วงออกซิก และการทำงานในช่วงอื่นๆเท่ากัน คือ 20+2+2 และ 8+2+2 ชั่วโมง ตามลำดับ รายละเอียดของผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1 สีดิสเพอร์ส

4.1.1 ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียที่เกิดจากการย้อมสีชนิดดิสเพอร์สที่ใช้ในการทดลองนี้นำมาจากโรงงานแห่งหนึ่งในเขตจังหวัดสมุทรปราการ โรงงานนี้ส่วนใหญ่ย้อมผ้าเฉพาะประเภทโพลีเอสเตอร์และใช้เฉพาะสีดิสเพอร์สในขั้นตอนการย้อม ผู้วิจัยได้เก็บน้ำเสียมาจากบ่อพักน้ำเสียรวมของโรงงานซึ่งประกอบด้วยน้ำเสียจากกระบวนการฟอกและย้อมเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นยังมีน้ำเสียจากโรงอาหารและห้องสุขาที่มีอยู่ภายในโรงงานรวมอยู่ด้วย แต่ไม่รวมน้ำฝนซึ่งมีการระบายแยกต่างหาก ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะต่างๆของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ จากตารางพบว่าน้ำเสียนี้มีอัตราส่วนระหว่างซีโอดีต่อบีโอดีประมาณ 3 และมีค่าของแข็งแขวนลอย 61 มก./ล. ทีเคเอ็น(TKN) 27.43 มก./ล. ฟอสฟอรัสทั้งหมด(TP) 5.91 มก./ล. และค่าสี

142 และ 791ในหน่วย SU และ ADMI ตามลำดับ ซึ่งน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้จะเก็บมาสัปดาห์ละครั้งและเก็บรักษาโดยการแช่ในตู้เย็น 4 ° C ก่อนที่จะนำมาใช้ในการทดลองและได้เติมธาตุอาหารคือไนโตรเจนในรูปยูเรีย($(NH_4)_2CO$) และฟอสฟอรัสในรูป KH_2PO_4 เพื่อให้มีอัตราส่วน COD:N:P ประมาณ 150:5:1 และเนื่องจากน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมมีพีเอชสูง(> 10)จึงทำให้ต้องมีการปรับ พีเอชลงให้อยู่ระหว่าง 6.5-7.5 ด้วยกรดซัลฟุริก

ตาราง 4.1 ลักษณะน้ำเสียมีสีดิสเพอร์สที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 1

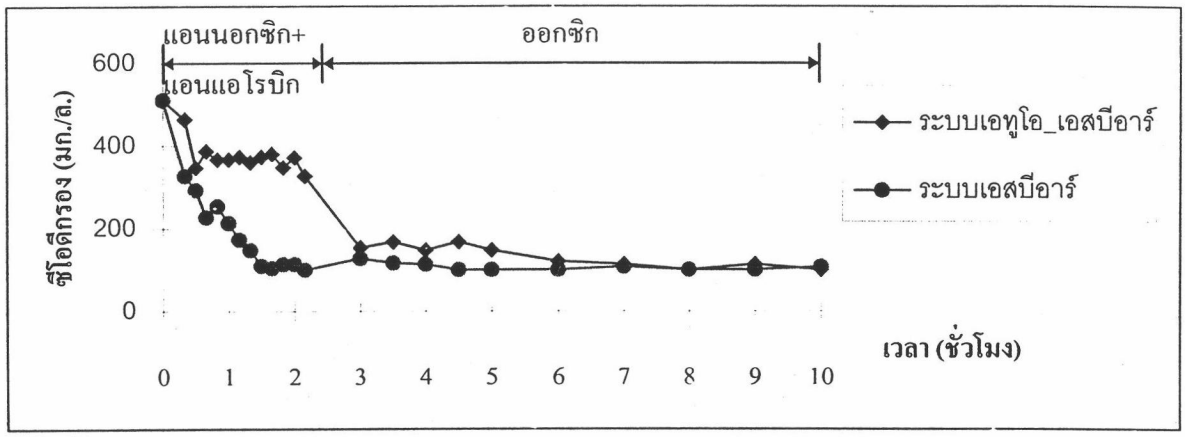
พารามิเตอร์	มก./ล.
บีโอดี	420*
ซีโอดี	1220
ของแข็งแขวนลอย	61
พีเอช	7.33
ทีเคเอ็น	27.43
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	5.91
สี (หน่วย SU)	142
(หน่วย ADMI)	791

* เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์บีโอดี 3 ครั้งส่วนค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์อื่นๆวิเคราะห์ 6 ครั้ง

ก่อนที่จะเริ่มเดินระบบจริงได้นำเชื้อจุลินทรีย์จากโรงบำบัดของโรงงานนี้มาเลี้ยงแบบแบตช์เพื่อให้มีจุลินทรีย์ที่ได้ชินกับน้ำเสียนี้มาส่วนหนึ่งแล้ว จากนั้นจึงเริ่มเดินระบบจริงโดยการหา โพรไฟล์ซีโอดีก่อน ในขั้นต้นได้กำหนดให้ระบบฯทั้งสองมีช่วงเวลาการทำงาน 2 วัฏจักรต่อวัน สำหรับขั้นตอนการทำงานที่กำหนดไว้มีดังนี้คือ

	ระบบเอสบีอาร์		ระบบเอทูโอ_เอสบีอาร์	
ช่วงเติมน้ำเสีย	2	นาที	2	นาที
ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก	-		2	ชั่วโมง
ช่วงออกซิก	10	ชั่วโมง	8	ชั่วโมง
ช่วงตกตะกอน	1.88	ชั่วโมง	1.88	ชั่วโมง
ช่วงระบายน้ำใสส่วนบน	5	นาที	5	นาที
รวม	12	ชั่วโมง	12	ชั่วโมง

ผลการทำโพรไฟล์ซีโอดีแสดงในรูปที่ 4.1 จากรูปจะเห็นว่าระบบฯทั้งสองใช้เวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมงเท่านั้นในการกำจัดซีโอดีให้ลดลงจนคงที่ระดับหนึ่ง จึงได้พยายามลดเวลาทำปฏิกิริยาลงโดยได้ทดลองเปลี่ยนจำนวนวัฏจักรการทำงานของระบบฯทั้งสองจาก 2 วัฏจักรต่อวัน เป็น 3 วัฏจักรต่อวัน แต่เมื่อวิเคราะห์ค่า ซีโอดีพบว่าระบบฯทั้งสองกำจัดซีโอดีได้น้อยลงและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วไม่ใสเท่ากับการทำงานที่ 2 วัฏจักรต่อวัน ดังนั้นจึงได้กำหนดให้ระบบฯทั้งสองมีช่วงเวลาการทำงานเหมือนเดิมดังรายละเอียดของการทำงานที่กล่าวไว้ข้างต้น และทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งการทดลองชุดนี้ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน



รูปที่ 4.1 โพรไฟล์ซีโอดีของการทดลองชุดที่หนึ่ง (สีดิสเพอร์ส)

4.1.2 การลดสีโดยใช้กระบวนการเอสบีอาร์

จากการใช้น้ำเสียที่มีสีชนิดดิสเพอร์สในการทดลองโดยใช้กระบวนการเอสบีอาร์ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าน้ำเสียในระบบนี้มีอุณหภูมิระหว่าง 25.8-26.8° C ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น 4 °C มาก่อนที่จะนำมาใช้ และมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเนื่องจากอะซิเทตถูกใช้ไปโดยแบคทีเรีย โดยเพิ่มจาก 7.3 เป็น 8.6 ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯและในถังออกซิกตามลำดับ โดยมีสภาพด่าง 398.2 และ 377.8 มก./ล. ตามลำดับ ค่าโออาร์พีและค่าเท่ากับ 116.7 มิลลิโวลล์และจากรูปที่ 4.3 แสดงว่าระบบอยู่ในสภาพแอโรบิกเนื่องจากค่าโออาร์พีปรับจาก -215 เป็น 120 และระบบฯมีดีโอเท่ากับ 7.1 มก./ล.ในถังออกซิก นอกจากนี้ยังพบว่ามีค่า MLSS 1070 มก./ล. , V_{30} 470 มล./ล. และมีค่า SVI 435.67 มล./ก. จะเห็นได้ว่าระบบเอสบีอาร์มีค่า SVI สูง เนื่องมาจากมีค่า V_{30} สูง แต่ก็ยังอยู่ในช่วงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาสลัดจ์ เพราะมีสัดส่วนของถังเก็บหลังตกตะกอนแล้วใหญ่พอ

ค่าเฉลี่ยซีโอดีกรองในน้ำเสียก่อนเข้าระบบและในถังออกซิกมีค่าเท่ากับ 1220 และ 218 มก./ล. ตามลำดับคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 82.1 % ซึ่งจากผลการทดลองที่สองวันสุดท้ายจะเห็นได้ว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯมีค่าซีโอดีสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้ค่า MLSS, V_{30} และ SVI ในวันดังกล่าวสูงขึ้นตาม นอกจากนี้มีค่าเฉลี่ยวีเอฟเอในน้ำก่อนเข้าระบบฯและในถังออกซิก 467.5 และ 24.2 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณวีเอฟเอเหลืออยู่ในถังออกซิกน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าระบบเอสบีอาร์มีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี

ส่วนค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรองในน้ำเสียก่อนเข้าระบบและในถังออกซิกเท่ากับ 27.4 และ 2.2 มก./ล.ตามลำดับ พบว่าระบบเอสบีอาร์นี้มีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นสูงเท่ากับ 94.8 % โดยทีเคเอ็นจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนไทรต์และไนเทรตตามลำดับ จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าไนเทรตในน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีค่า 1.2 มก./ล. ถูกเพิ่มขึ้นเป็น 13.1 มก./ล.ในถังออกซิก และระบบเอสบีอาร์นี้มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำคิดเป็น 12.3 % ซึ่งจะเห็นได้ว่าฟอสฟอรัสแทบจะไม่ถูกกำจัดออกไปจากระบบเนื่องจากไม่มีสภาพแอนแอโรบิกซึ่งช่วยให้การกำจัดฟอสฟอรัสแบบ EPBR ดีขึ้น

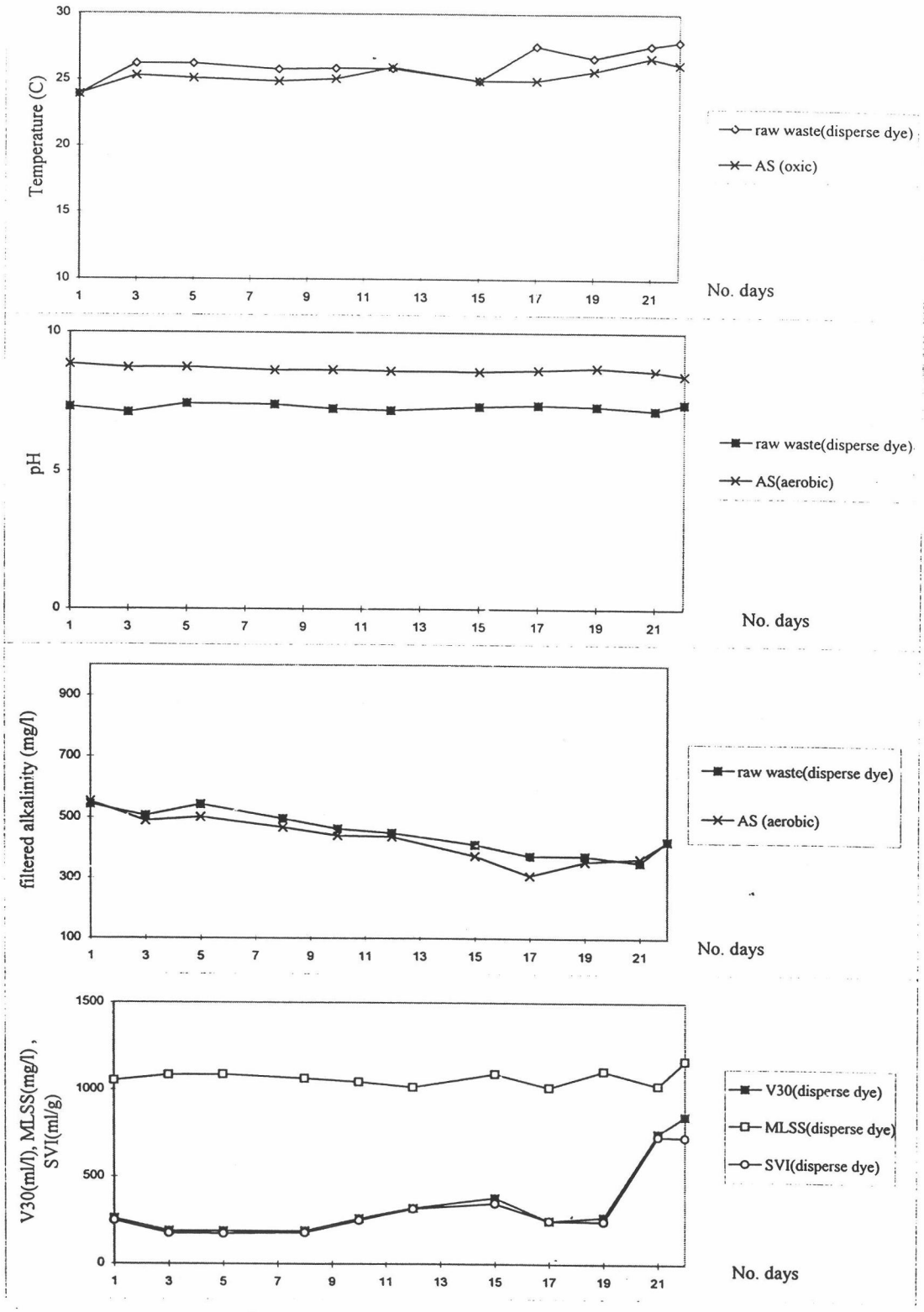
สำหรับการกำจัดสีดิสเพอร์สโดยใช้ระบบเอสบีอาร์พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดสีเท่ากับ 73.7 และ 3.8 % ในหน่วย SU และ ADMI ตามลำดับโดยค่าสีของน้ำเสียก่อนเข้าระบบและในถังออกซิกมีค่าเท่ากับ 141.9 และ 37.6 ในหน่วย SU และ 791.2 และ 761.7 ในหน่วย ADMI ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้นี้พบว่าการกำจัดสีดิสเพอร์สโดยใช้ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดาไม่สามารถลดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ(ดูภาพ 4.4) ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพสูงในหน่วย SU ก็ตาม

ตาราง 4.2 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ (ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา;สีดิสเพอร์ส) (n= 6)*

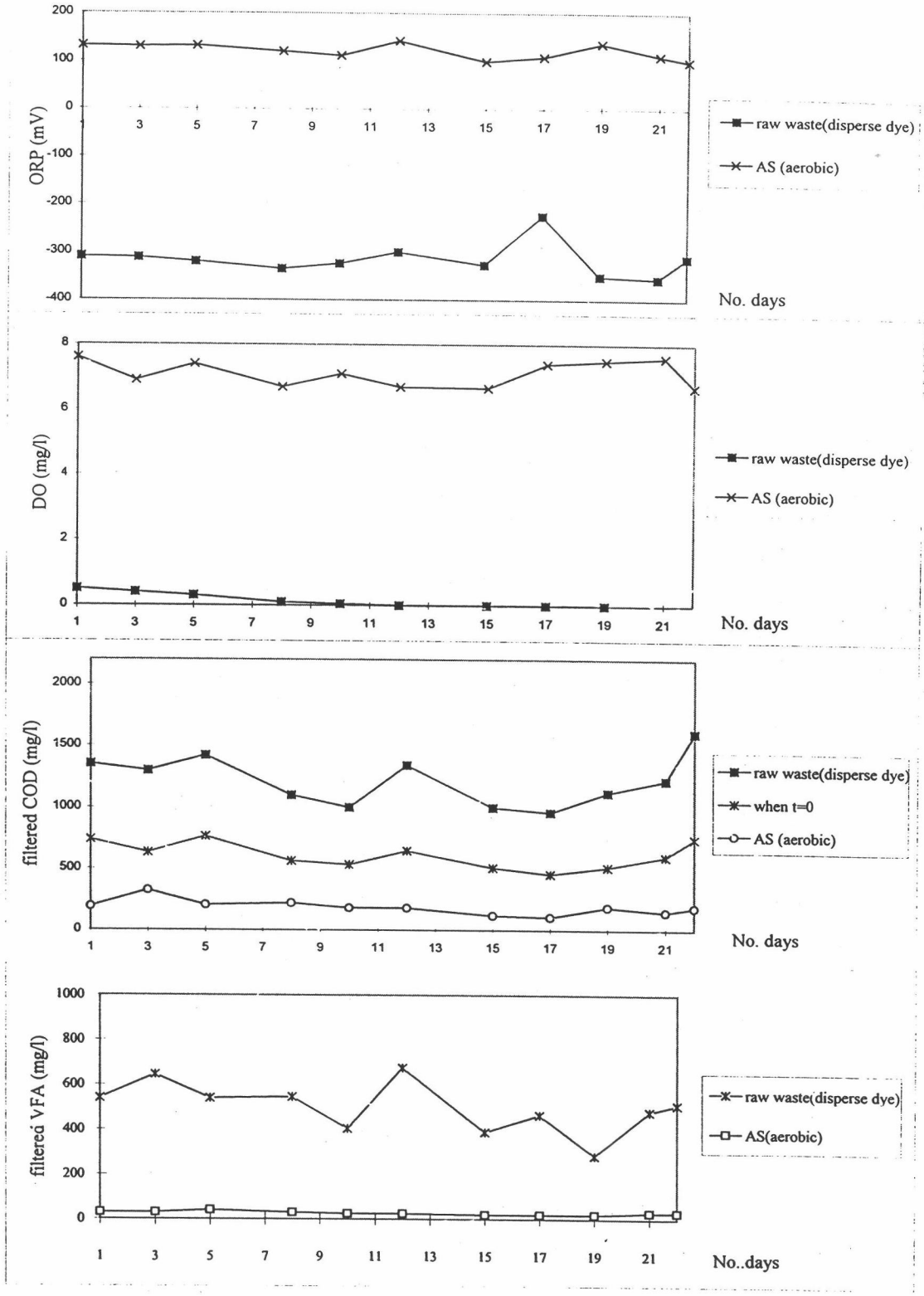
พารามิเตอร์	น้ำเข้าระบบ	เมื่อ t = 0	แอโรบิก	ประสิทธิภาพของระบบฯ(%)
อุณหภูมิ	26.8	-	25.8	-
พีเอช	7.3	-	8.6	-
สภาพด่าง(มก./ล.)	398.2	386.0	377.8	-
ดีโอ(มก./ล.)	0.0	-	7.1	-
โออาร์พี(มิลลิโวท์)	-311.3	-	166.7	-
ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)	61.0	-	* *28	-
เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.)	-	-	1070.3	-
วี 30 (มล./ล.)	-	-	470.0	-
เอ็สวีไอ (มก./ล.)	-	-	435.7	-
กรดไขมันระเหย(มก./ล.)	467.5	201.5	24.2	81.0
ซีโอดี (มก./ล.)	1220.0	618.8	218.0	82.1
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	27.4	13.3	2.2	94.8
ไนเตรท (มก./ล.)	1.2	8.3	13.1	-366.7
ฟอสฟอรัสทั้งหมด(มก./ล.)	5.9	-	-	-
ฟอสฟอรัส (กรอง)(มก./ล.)	-	5.6	5.4	12.3
สี (หน่วย SU)	142.0	-	37.4	73.7
(หน่วย ADMI)	791.0	-	761.0	3.8

* วัดหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ววิเคราะห์พารามิเตอร์ต่อเนื่องอีก 6 วัน

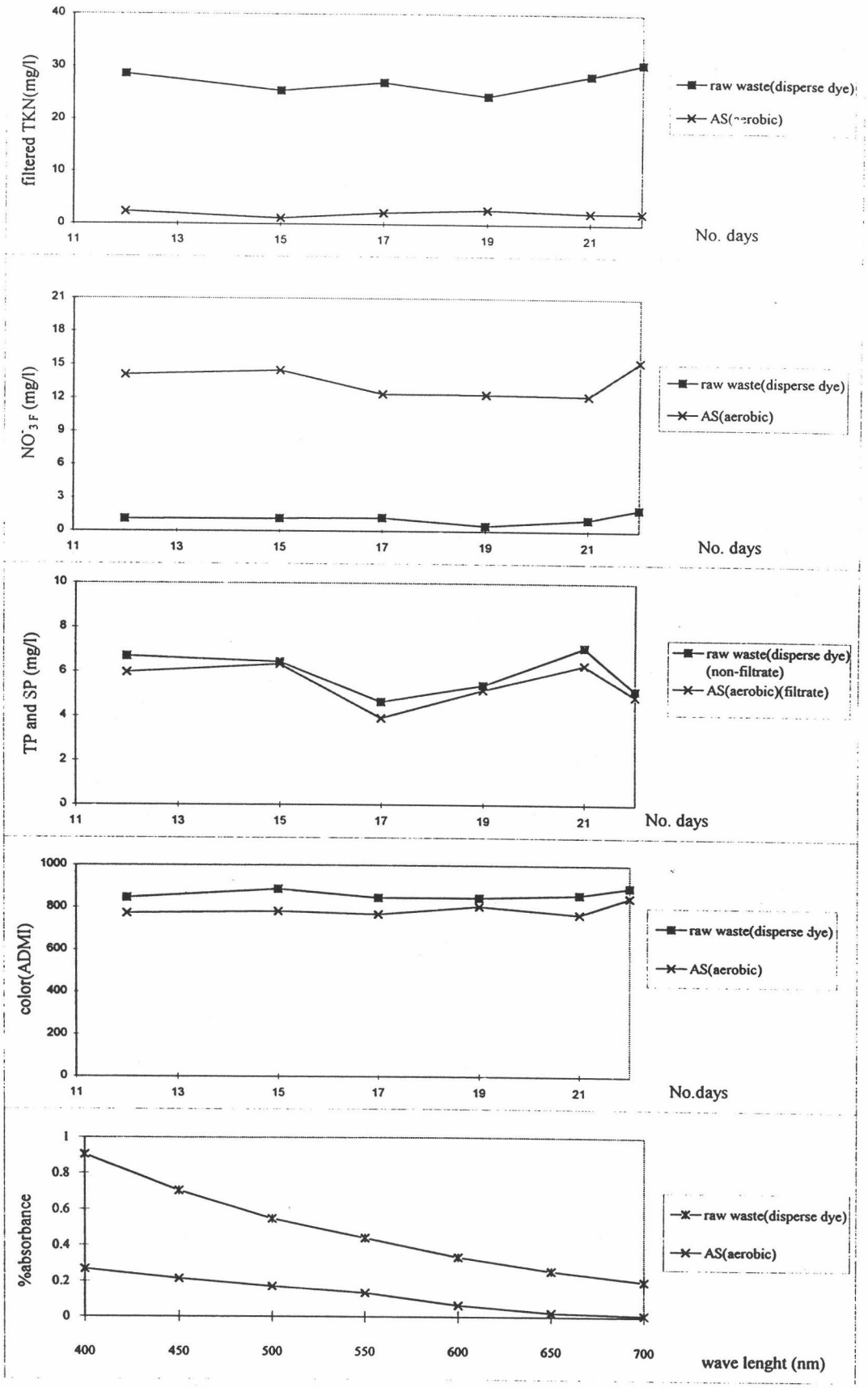
** วัดหลังจากระบายน้ำใสออกจากระบบฯ (effluent)



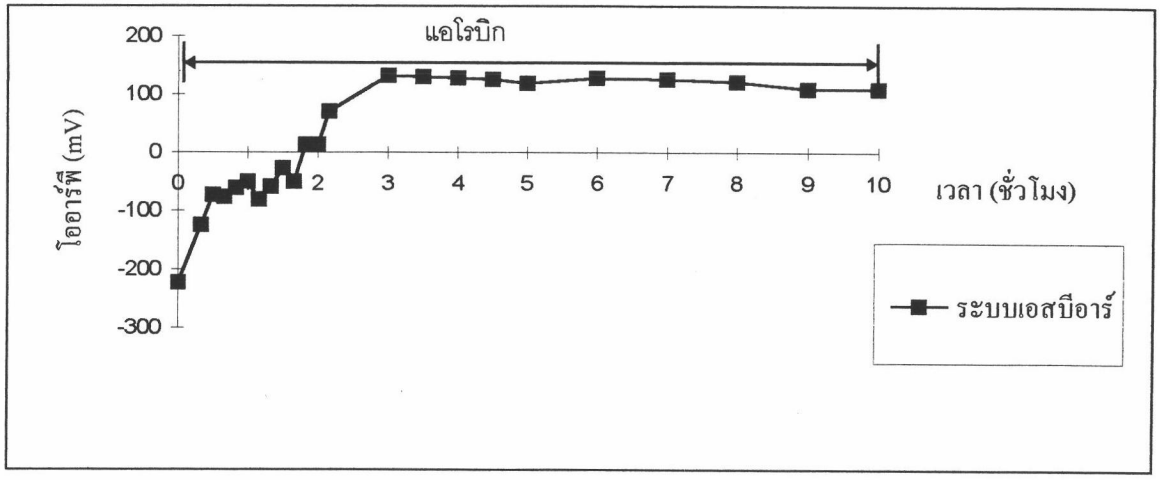
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีดิสเพอร์สโดยใช้ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา



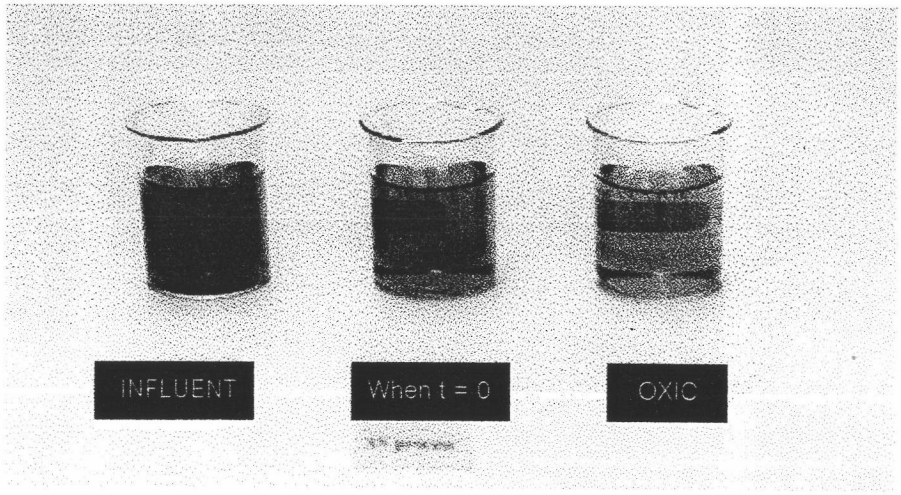
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีดิสเพอร์สโดยใช้ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา (ต่อ..)



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีดิสเพอร์สโดยใช้ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา



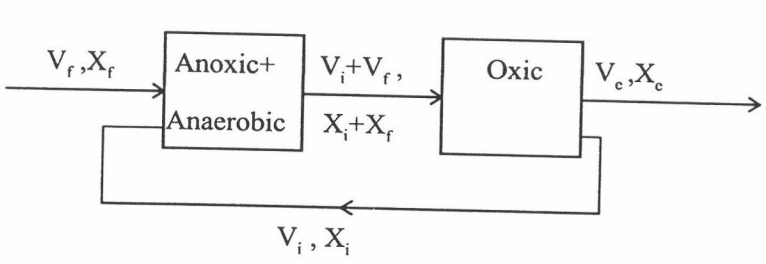
รูปที่ 4.3 โพรไฟล์โออาร์พีของระบบเอสบีอาร์(น้ำเสียมีสีดิสเพอร์ส)



ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบการกำจัดสีดิสเพอร์สที่ช่วงการทำงานต่างๆกันของระบบเอสบีอาร์

4.1.3 การลดสีโดยใช้กระบวนการเอสบีอาร์แบบแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิก

จากการใช้สีดิสเพอร์สในการทดลองกับระบบแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิกเอสบีอาร์ (เอทูโอ-เอสบีอาร์) การคิดค่าเฉลี่ยที่เวลา t = 0 โดยคิดจากการดุลมวลของระบบฯดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.6 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ คือ



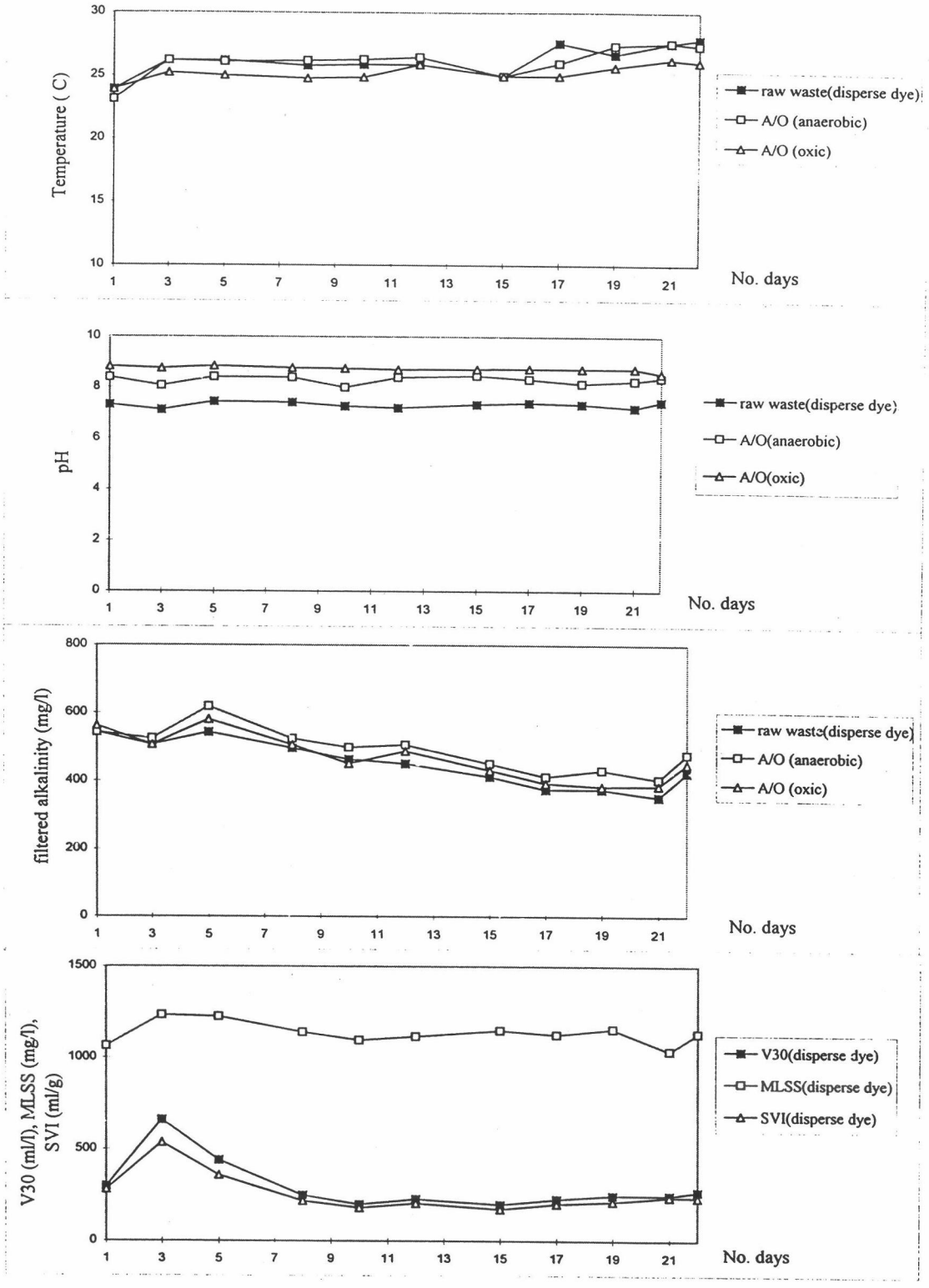
รูปที่ 4.5 ดุลมวลของระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ (ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์; สีดิสเพอร์ส) (n= 6)*

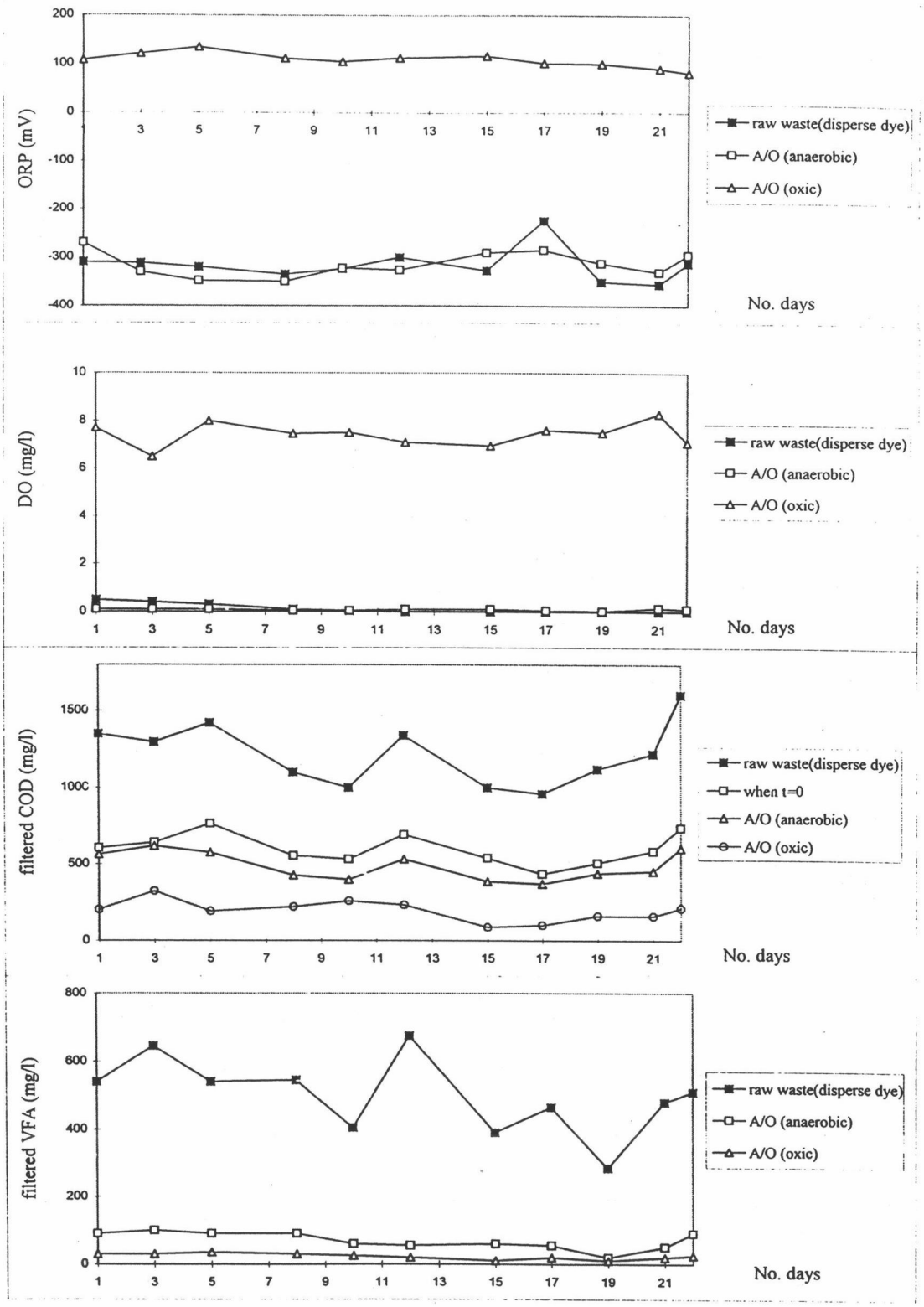
พารามิเตอร์	น้ำเข้าระบบ	เมื่อ t = 0	แอนนอกซิก+แอนแอโรบิก		แอโรบิก		ประสิทธิภาพของระบบฯ(%)
			ค่าเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ(%)	ค่าเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ(%)	
อุณหภูมิ	26.8	-	26.7	-	25.7	-	-
พีเอช	7.3	-	8.3	-	8.7	-	-
สภาพด่าง(มก./ล.)	398.2	412.4	446.8	-	421.8	-	-
ดีโอ(มก./ล.)	0.0	-	0.1	-	7.4	-	-
โออาร์พี(มิลลิโวท์)	-311.3	-	-306.0	-	101.0	-	-
ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)	61.0	-	-	-	**22.4	-	-
เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.)	-	-	-	-	1119.0	-	-
วี 30 (มล./ล.)	-	-	-	-	238.0	-	-
เอ็สวีไอ (มก./ล.)	-	-	-	-	213.0	-	-
กรดไขมันระเหย(มก./ล.)	467.5	197.5	55.0	72.2	17.5	68.2	81.0
ซีโอดี (มก./ล.)	1220.0	640.5	488.0	23.8	255.0	47.8	79.1
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	27.4	12.0	9.7	19.1	1.7	82.3	93.7
ไนเตรท (มก./ล.)	1.2	3.4	0.7	79.1	4.8	-584.8	-312.9
ฟอสฟอรัสทั้งหมด(มก./ล.)	5.9	-	-	-	-	-	-
ฟอสฟอรัส (กรอง)(มก./ล.)	-	4.9	7.1	-47.1	4.2	41.9	29.8
สี (หน่วย SU)	142.0	-	77.6	-	35.5	-	75.0
(หน่วย ADMI)	791.0	-	769.0	-	703.0	-	11.2

* วัดหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ววิเคราะห์พารามิเตอร์ต่อเนื่องอีก 6 วัน

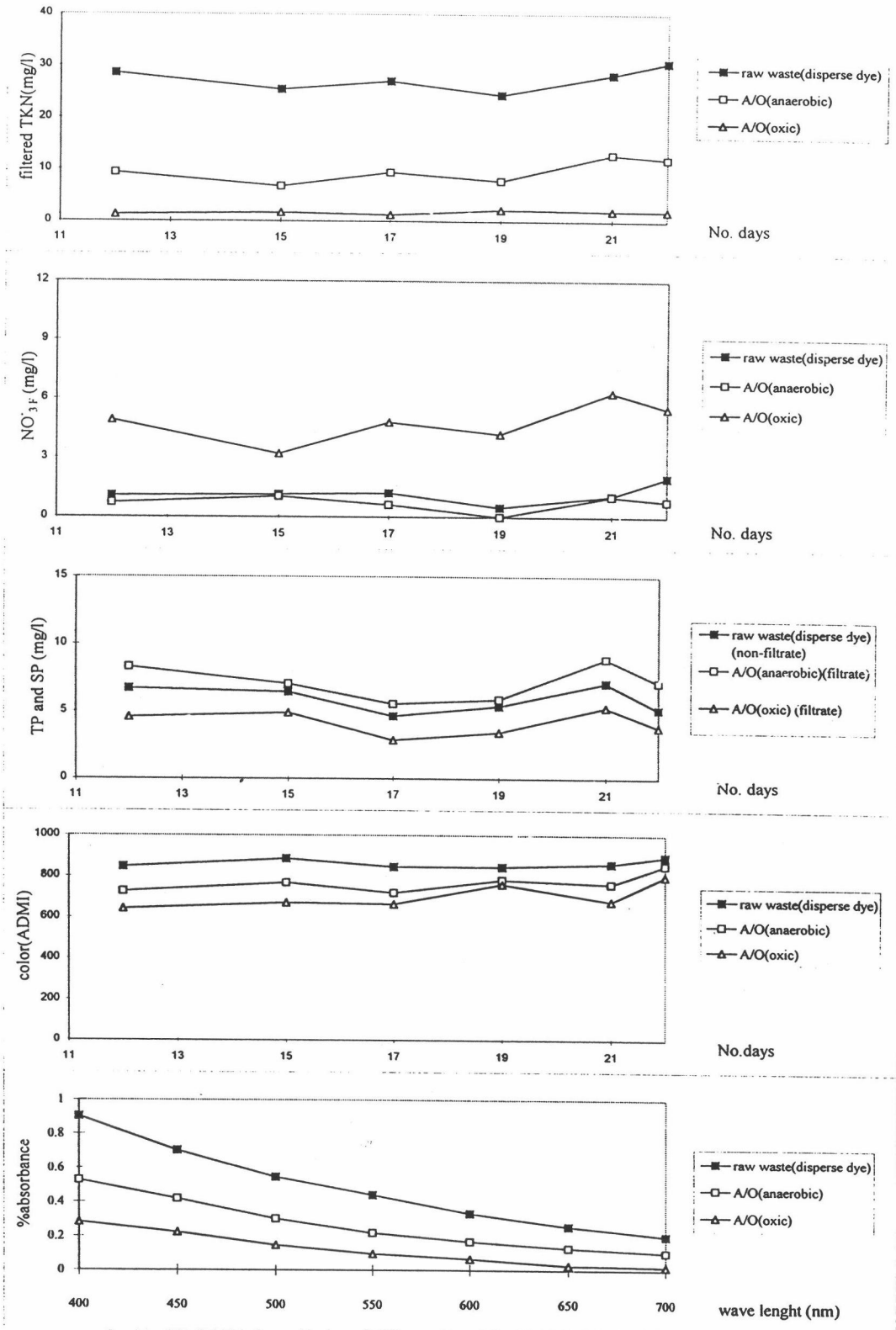
* *วัดหลังจากระบายน้ำใสออกจากระบบฯ (effluent)



รูปที่ 4.6 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีดิสเพอร์สโดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์

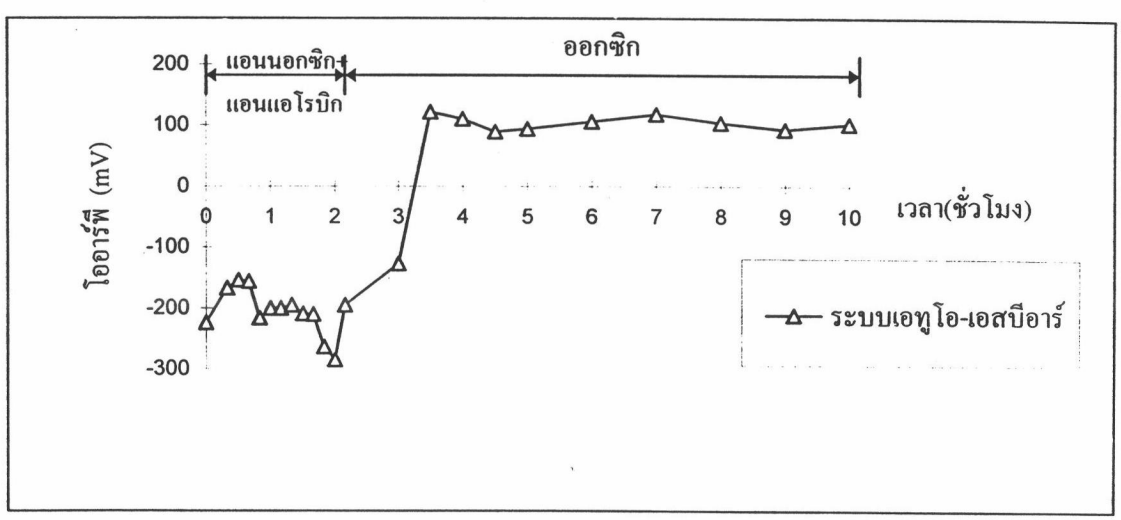


รูปที่ 4.6 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีดิสเพอร์สโดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (ต่อ..)



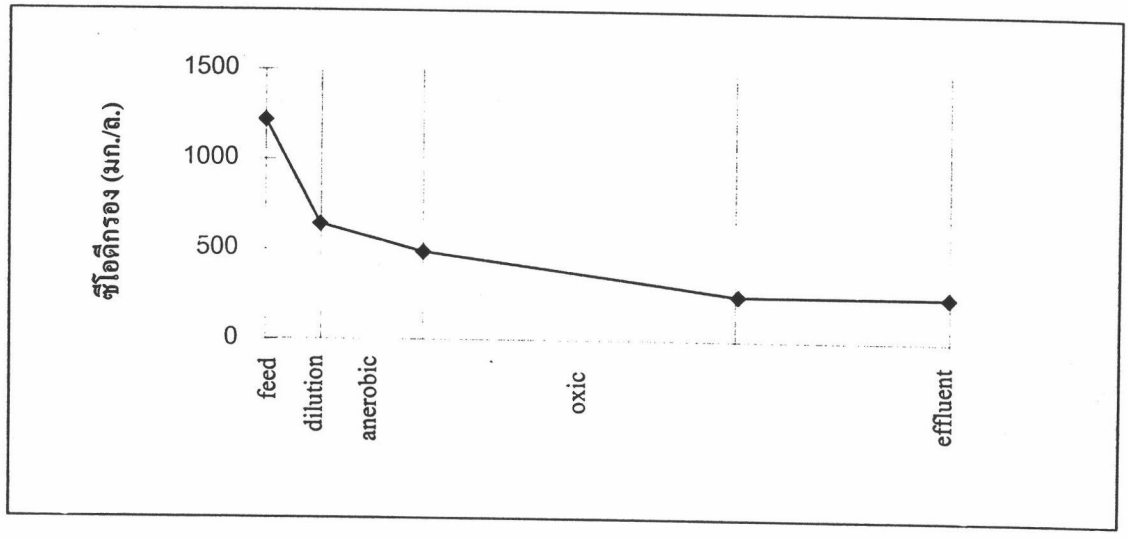
รูปที่ 4.6 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีดิสเพอร์สโดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์

จากตารางพบว่าอุณหภูมิภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักคืออยู่ระหว่าง 25.7 - 26.8 °C ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น 4 °C ก่อนที่จะนำมาใช้ ส่วนค่าพีเอชในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิกมีค่าเปลี่ยนแปลงดังนี้คือ 7.3, 8.3 และ 8.6 การที่มีพีเอชเพิ่มขึ้นในช่วงออกซิกนั้นเกิดจากอะซิเทตถูกใช้ไปโดยแบคทีเรีย และมีสภาพด่าง 398.2, 446 และ 421.8 มก./ล. ตามลำดับ นอกจากนี้ระบบฯแต่ละช่วงการทำงานดังกล่าวมีค่าโออาร์พี -311 ,-306 และ 101 มิลลิโวลท์ และมีค่าดีโอในแต่ละช่วงดังนี้คือ 0, 0.1 และ 7.4 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งจากค่าโออาร์พีและดีโอที่วัดได้ในแต่ละช่วงนี้สามารถเป็นตัวชี้ได้ว่าระบบนี้อยู่ในสภาพของการทำงานช่วงใด กล่าวคือถ้าระบบอยู่ในช่วงแอนนอกซิกจะมีค่าโออาร์พีติดลบน้อยๆ(~ -50)และมีดีโอต่ำ (< 0.2 มก./ล.) และถ้าระบบอยู่ในช่วงแอนแอโรบิกจะมีค่าโออาร์พีติดลบมากๆ(> -300)และมีดีโอเป็นศูนย์ แต่ถ้ามีค่าโออาร์พีเป็นบวกและดีโอสูงๆแสดงว่าขณะนั้นระบบอยู่ในสภาพแอโรบิก จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกค่าโออาร์พีเพิ่มขึ้นก่อนซึ่งเกิดจากอิทธิพลของไนเทรตเมื่อน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯผสมกับน้ำค้างถัง และเมื่อไนเทรตถูกใช้หมดค่าโออาร์พีจึงลดลงซึ่งเป็นช่วงแอนแอโรบิก พอเริ่มเปลี่ยนเป็นช่วงออกซิกค่าโออาร์พีจะค่อยๆเพิ่มขึ้นโดยจะเห็นว่าช่วงนี้เป็นช่วงปรับตัวของระบบฯซึ่งใช้เวลามากกว่า 1.5 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์มีค่า MLSS เท่ากับ 1119 มก./ล. V_{30} 238 มล./ล. และมีค่า SVI 213 มล./ก. ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์นี้มีค่าเอสวีไอต่ำกว่าระบบเอสบีอาร์ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์คือป้องกันการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัว

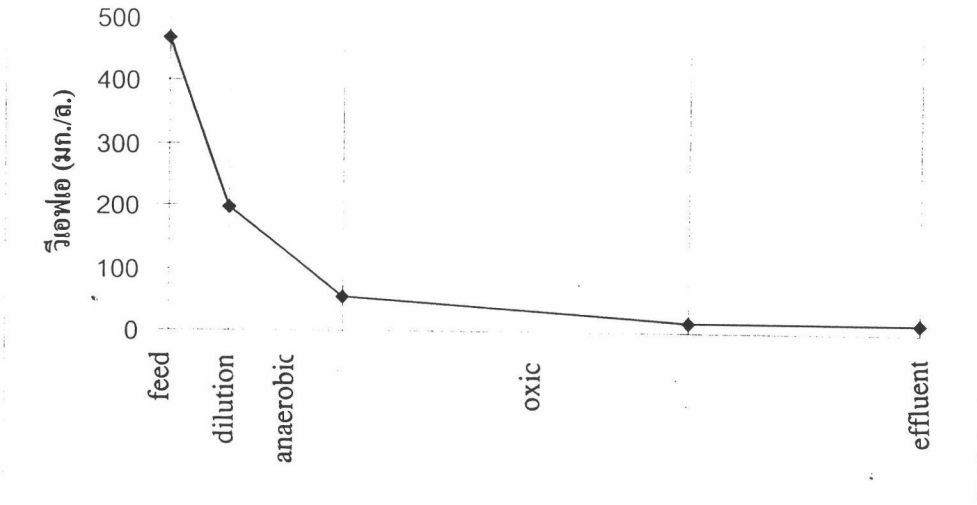


รูปที่ 4.7 โพรไฟล์โออาร์พีของระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีดิสเพอร์ส)

จากการทดลองยังพบอีกว่าระบบเอทูโอ–เอสบีอาร์มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 79.1 % ซึ่งมีค่าเฉลี่ยซีโอดีกรองในน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ, เมื่อเวลา t = 0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิกเท่ากับ 1220, 640, 488 และ 255 มก./ล. ตามลำดับ(ดูรูป 4.8) โดยพบว่าซีโอดีส่วนมากถูกกำจัดในช่วงออกซิกคิดเป็น 47.8 % และ23.8 % ถูกกำจัดในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกในที่นี้ไม่ได้รวมซีโอดีที่ลดลงจากการเจือจางระหว่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบกับน้ำทิ้งที่เหลือหลังจากผ่านขั้นตอนระบายน้ำใสส่วนบนออก แต่ถ้ารวมผลกระทบจากการที่ซีโอดีที่ลดลงจากการเจือจางของน้ำเสียระบบขั้นตอนนี้จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงถึง 60 % และมีปริมาณวีเอฟเอในแต่ละช่วงการทำงานของระบบฯ 467.5, 197.5, 55 และ 17.5 มก./ล. ตามลำดับ (ดูรูป 4.9) ซึ่งจะเห็นได้ว่าวีเอฟเอในน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯมีปริมาณสูงและจะถูกเจือจางลงเหลือ 197.5 มก./ล. และถูกใช้ไปในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกและออกซิกตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีดิสเพอร์ส)

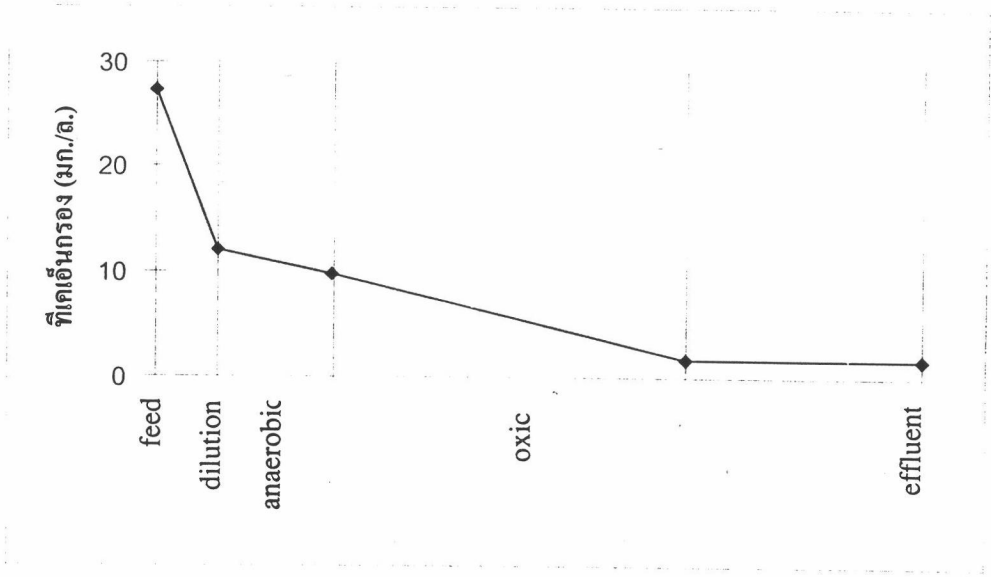


รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยวีเอฟเอที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีดิสเพอร์ส)

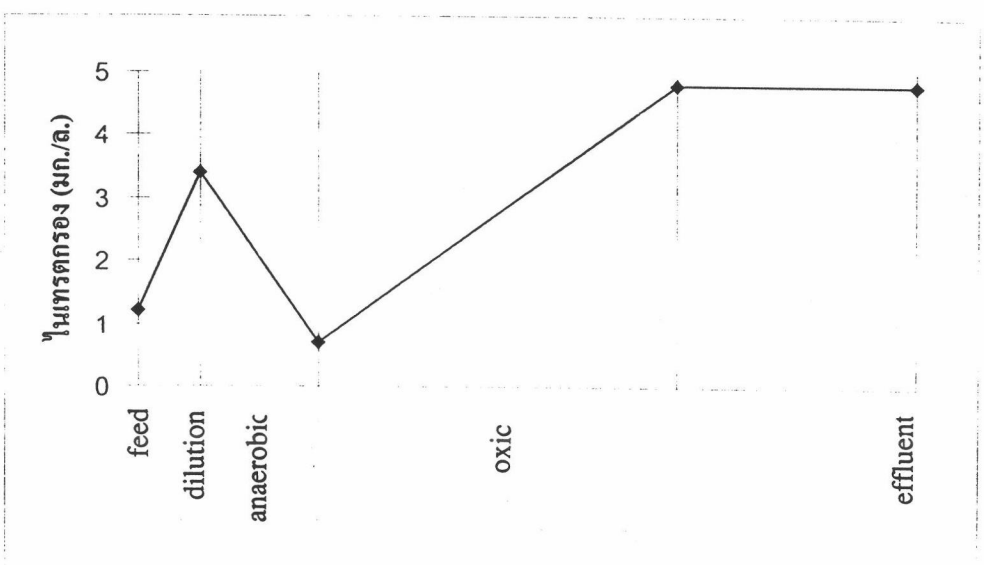
ส่วนค่าทีเคเอ็นกรองของน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ, เมื่อเวลา t = 0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิกมีค่าเท่ากับ 27.4, 12, 9.7 และ 1.7 มก./ล.ตามลำดับ (ดูรูป 4.10) ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น 93.7 % โดยส่วนใหญ่ถูกกำจัดในช่วงออกซิก 82.3 % และถูกกำจัดในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก 19.1 % ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปในการทำงานของจุลชีพ สำหรับทีเคเอ็นที่ลดลงนี้จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนไทรต์และไนเทรตในช่วงออกซิก จากการทดลองที่ได้พบว่าค่าไนเทรตในน้ำเสียทั้งสี่ตำแหน่งมีค่าเท่ากับ 1.2, 3.4, 0.7 และ 4.8 มก./ล.ตามลำดับ(ดูรูป 4.11) ซึ่งจะเห็นได้ว่าไนเทรตส่วนหนึ่งถูกกำจัดในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกคิดเป็น 79.1 % โดยการเปลี่ยนรูปเป็นกาซไนโตรเจน นอกจากนี้ยังพบว่าระบบฯมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 29.78 % โดยมีปริมาณ 5.9, 4.9, 7.1 และ 4.2 มก./ล. ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ, เมื่อเวลา t = 0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกและช่วงออกซิกตามลำดับ(ดูรูป 4.12) จะเห็นได้ว่าระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์กำจัดฟอสฟอรัสได้ดีกว่าระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา (คิดเป็น 58.7 %) เนื่องจากระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์มีกลไกการกำจัดฟอสฟอรัสซึ่งเป็นข้อดีข้อหนึ่ง

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบฯ คิดเป็น 75 และ 11.2 % ในหน่วย SU และ ADMI ตามลำดับ โดยค่าสีที่วัดได้ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกและช่วงออกซิก มีค่าเท่ากับ 741.9, 77.6 และ 35.5 ในหน่วย SU และ 791.17, 769.2 และ 702.8 ในหน่วย ADMI ตามลำดับ จากภาพที่ 4.13 ที่เวลา t=0 จะเห็นว่าสีถูกเจือจางลงซึ่งแสดงให้เห็นว่า

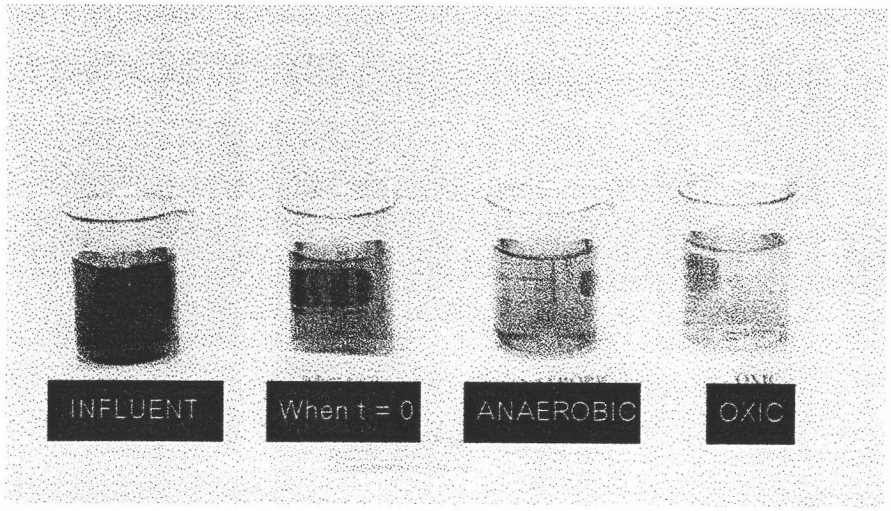
ระบบฯสามารถกำจัดสีได้จริง และนอกจากนี้ยังสรุปได้ว่าระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์สามารถกำจัดสีดิสเพอร์สดีกว่าระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา



รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรองที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีดิสเพอร์ส)



รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยไนเทรตกรองที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีดิสเพอร์ส)

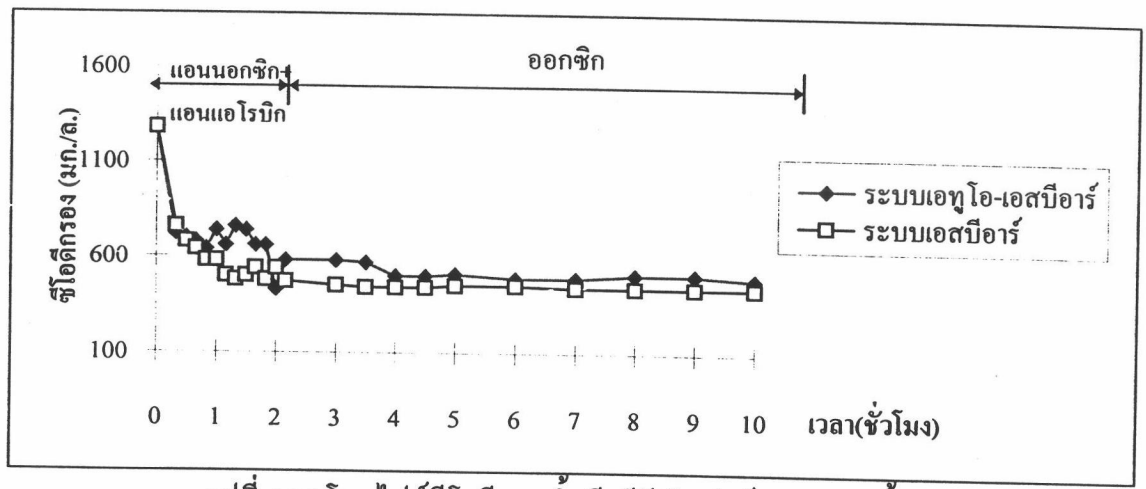


ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบการกำจัดสีดิสเพอร์สที่ช่วงการทำงานต่างๆกันของระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์

4.2 สีซัลเฟอร์

4.2.1 ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียที่มีสีซัลเฟอร์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีสีดำ โดยเก็บมาจากกระบวนการฟอกย้อมอย่างเดียวไม่รวมน้ำเสียจากส่วนอื่นๆจากโรงงานซึ่งมีขนาดใหญ่มาก ภายในอาคารย้อมมีการย้อมสีหลายประเภท และตั้งอยู่อีกแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งสีชนิดนี้ใช้ในการย้อมผ้าฝ้าย และน้ำเสียนี้มีส่วนประกอบที่เกิดจากขั้นตอนการเตรียมผ้าและขั้นตอนการย้อมเป็นส่วนใหญ่ โดยมีลักษณะต่างๆก่อนที่จะเข้าระบบฯดังแสดงในตารางที่ 4.4 จากตารางจะเห็นว่าน้ำเสียประเภทสีซัลเฟอร์นี้มีความเข้มของสีสูงมาก เนื่องจากไม่มีน้ำล้างจากส่วนอื่นๆมาเจือจางเหมือนน้ำเสียมีสีประเภทสีดิสเพอร์สซึ่งได้เก็บจากบ่อน้ำเสียรวม อีกทั้งมีค่าบีโอดีต่ำแต่มีค่าซีโอดีสูง(ใกล้เคียงกับน้ำเสียอีก 2 ชนิดที่นำมาใช้ในการทดลอง) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำเสียมีสีซัลเฟอร์นี้มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง 71 มก./ลซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำเสียประเภทสีดิสเพอร์ส เมื่อสังเกตดูบนกระดาษกรองจะพบว่ามีสีส่วนหนึ่งติดค้างอยู่ แสดงว่าสีชนิดดิสเพอร์สและสีซัลเฟอร์เป็นสีที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ ทำให้สีในส่วนที่ไม่ละลายน้ำนั้นไม่สามารถผ่านกระดาษกรองได้ โดยได้เก็บตัวอย่างน้ำเสียมาจากโรงงานสัปดาห์ละครั้งและเก็บรักษาโดยแช่ในตู้เย็น 4 °C และมีการเติมธาตุอาหารและปรับพีเอชเหมือนกับน้ำเสียมีสีดิสเพอร์สเช่นกัน ก่อนเริ่มทำการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ทำโพรไฟล์ซีโอดีก่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งพบว่าแนวโน้มในการกำจัดซีโอดีมีลักษณะคล้ายกันกับชุดการทดลองแรก และเพื่อต้องการที่จะเปรียบเทียบความสามารถในการลดสีทั้ง 3 ชนิด จึงได้กำหนดให้ระบบฯทั้งสองมีช่วงเวลาการทำงานเหมือนกันทั้ง 3 ชุดการทดลองสำหรับสีดิสเพอร์ส, ซัลเฟอร์ และรีแอกทีฟ



รูปที่ 4.14 โพรไฟล์ซีโอดีของน้ำเสียมีสีซัลเฟอร์ของระบบทั้งสอง

ตารางที่ 4.4 ลักษณะน้ำเสียมีสีซัลเฟอร์ที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 2

พารามิเตอร์	มก./ล.
บีโอดี	200*
ซีโอดี	1213
ของแข็งแขวนลอย	71
พีเอช	7.03
ทีเคเอ็น	41.22
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	5.74
สี (หน่วย SU)	761
(หน่วย ADMI)	1973

* เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์บีโอดี 3 ครั้งส่วนค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์อื่นๆวิเคราะห์ 6 ครั้ง

4.2.2 การลดสีโดยใช้กระบวนการเอสบีอาร์

จากการใช้น้ำเสียที่มีสีชนิดซัลเฟอร์ในการทดลองโดยใช้กระบวนการเอสบีอาร์ โดยมีขั้นตอนการทำงานเหมือนกันกับการทดลองชุดแรก(น้ำเสียมีสีดิสเพอร์ส) ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าน้ำเสียในระบบฯ มีอุณหภูมิระหว่าง 24.4-24.6 ° C ซึ่งแตกต่างกันน้อยมากเนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น 4 ° C ก่อนนำมาใช้ในการทดลองและมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 7.0 เป็น 8.1 ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ และในถังออกซิกตามลำดับ ซึ่งเกิดจากอะซิเทตถูกใช้ไป โดยมีสภาพด่าง 527 และ 461 มก./ล.ตามลำดับ และน้ำเสียในถังออกซิกนี้มีค่าโออาร์พีและดีโอเท่ากับ 148.6 มิลลิโวลล์และ 7.6 มก./ล. ตามลำดับซึ่งเป็นตัวชี้ว่าระบบอยู่ในสภาพแอโรบิก และจากรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าค่าโออาร์พีปรับตัวเพิ่มขึ้นจาก -110 เป็น 60 มิลลิโวลท์ นอกจากนี้ยังพบว่ามีค่า MLSS 377 มก./ล. , V_{30} 16 มล./ล. และมีค่า SVI 36 มล./ก. ทั้งนี้อาจเกิดจากน้ำเสียชนิดนี้มีความเป็นพิษ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีเท่าที่ควรและผลที่ตามมาคือประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบไม่ดีเช่นกัน

ค่าเฉลี่ยซีโอดีกรองในน้ำเสียก่อนเข้าระบบและในถังออกซิกมีค่าเท่ากับ 1213 และ 437 มก./ล. ตามลำดับคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 64.0 % แสดงให้เห็นว่าระบบเอสบีอาร์ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่มีสีซัลเฟอร์ปนอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับระบบฯที่มีสี

ดิสเพอร์สปนอยู่ นอกจากนี้มีค่าเฉลี่ยวีเอฟเอที่ตำแหน่งทั้งสองเท่ากับ 306.6 และ 60.8 มก./ล.ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสูงถึง 80.2 %

ส่วนค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรองในน้ำเสียก่อนเข้าระบบและในถังออกซิกเท่ากับ 41.2 และ 2.0 มก./ล. ตามลำดับ พบว่าระบบเอสบีอาร์นี้มีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นสูงเท่ากับ 95.2 % โดยทีเคเอ็นจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนไทร์ตและไนเทรตตามลำดับ จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าค่าไนเทรตในน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีค่า 3.9 มก./ล. ถูกเพิ่มขึ้นเป็น 13.1 มก./ล.ในถังออกซิกและระบบเอสบีอาร์นี้มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำ 6.5 % โดยมีปริมาณ 5.7 และ 5.4 มก./ล. ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯและในถังออกซิกตามลำดับ ซึ่งมีเหตุผลเช่นเดียวกับการทดลองชุดที่ 1 ในระบบฯเดียวกัน

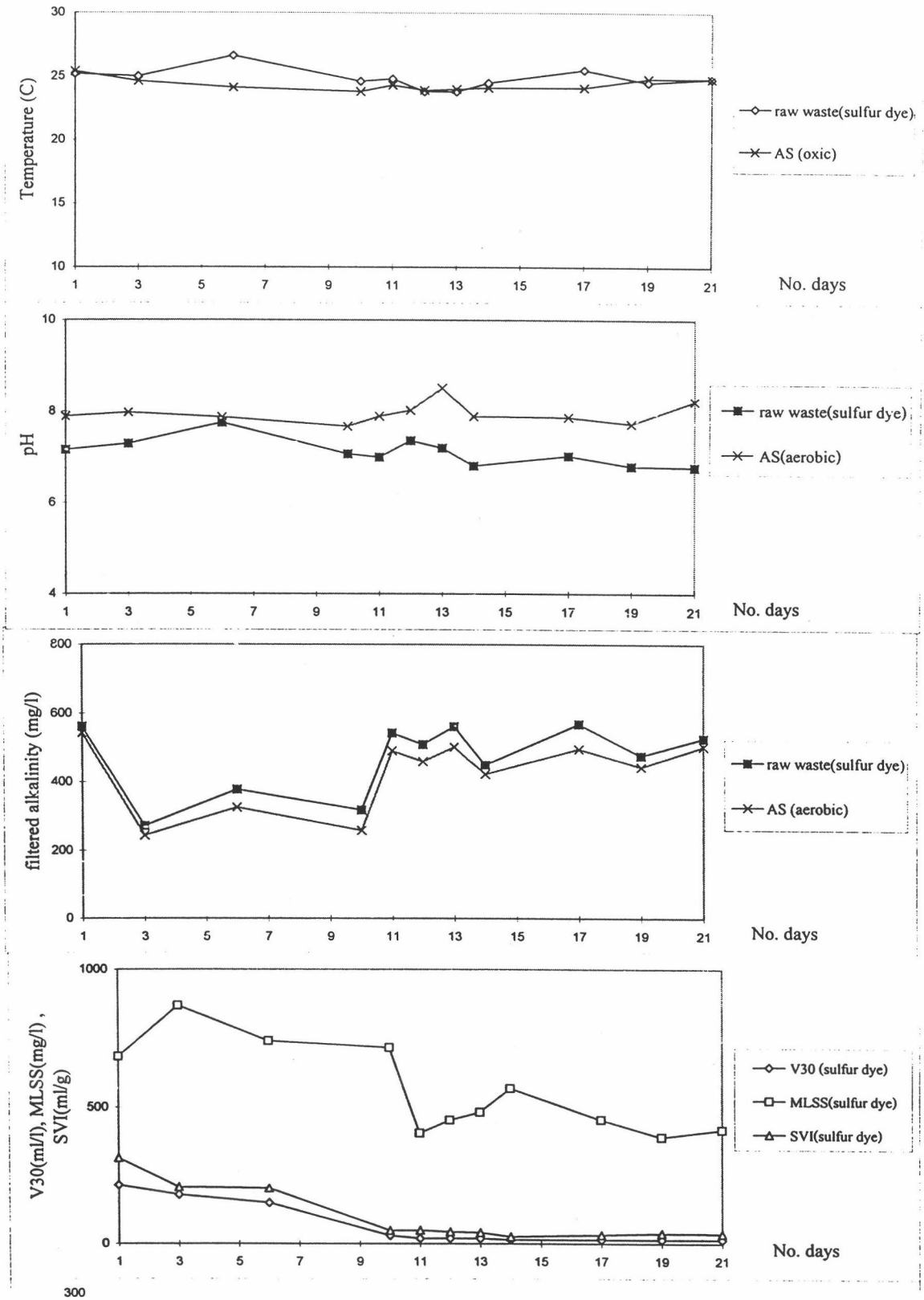
สำหรับการกำจัดสีซัลเฟอร์โดยใช้ระบบเอสบีอาร์พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดสีน้อยมากคิดเป็น 3.2 และ 5.2 % ในหน่วย SU และ ADMI ตามลำดับโดยค่าสีของน้ำเสียก่อนเข้าระบบและในถังออกซิกมีค่าเท่ากับ 761 และ 737 ในหน่วย SU และ 1973 และ 1871 ในหน่วย ADMI ตามลำดับ จากรูป 4.17 จะเห็นว่าสีซัลเฟอร์ถูกกำจัดได้น้อยมากเมื่อเทียบกับสีดิสเพอร์สโดยใช้ระบบฯเดียวกัน ทั้งนี้อาจเกิดจากมีความเข้มของสีซัลเฟอร์สูงมากเกิน

ตาราง 4.5 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ (ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา ; สีซัลเฟอร์) (n= 6)*

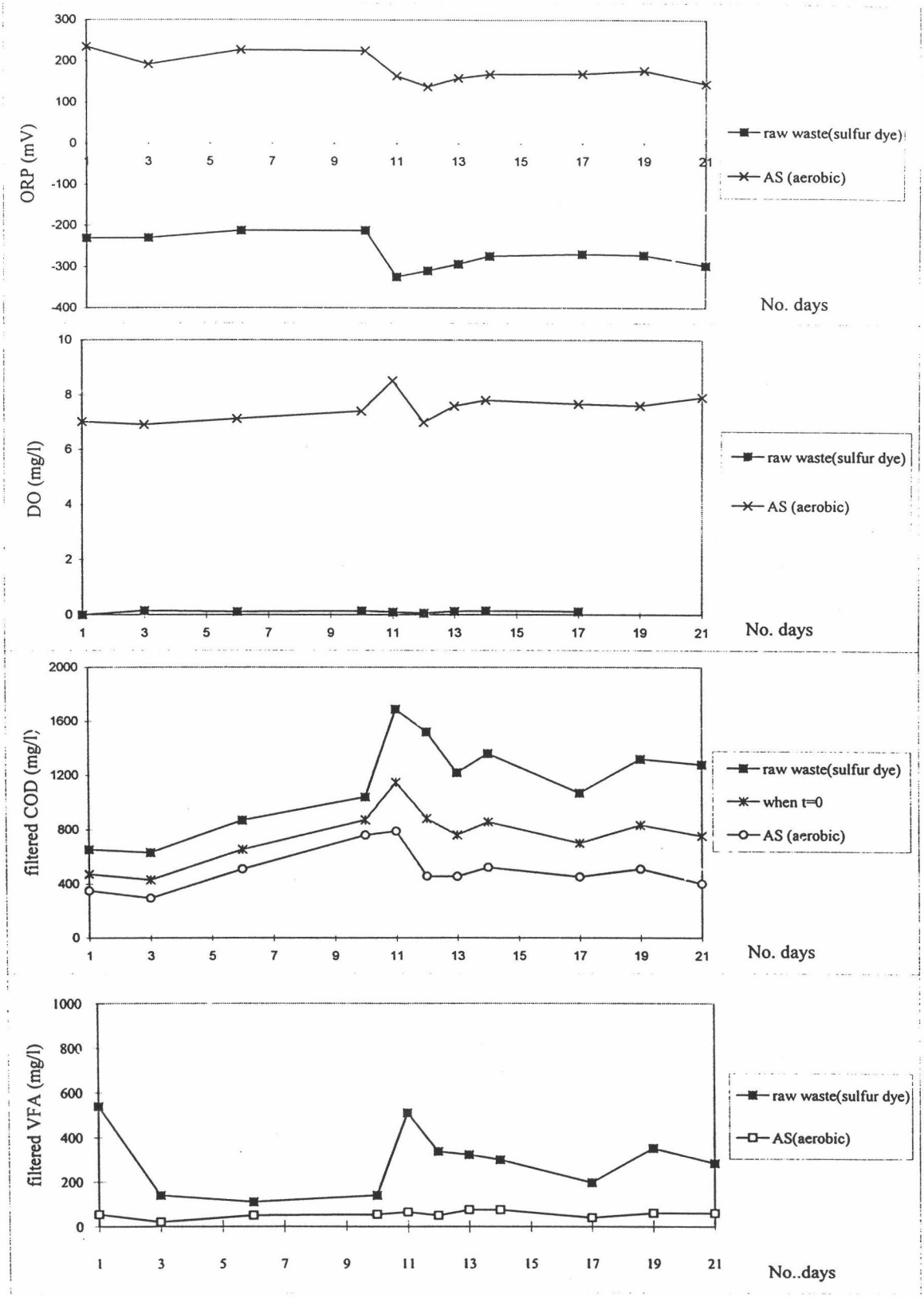
พารามิเตอร์	น้ำเข้าระบบ	เมื่อ t = 0	แอโรบิก	ประสิทธิภาพของระบบฯ(%)
อุณหภูมิ	24.6	-	24.4	-
พีเอช	7.0	-	8.1	-
สภาพด่าง(มก./ล.)	527.0	487.6	461.0	-
ดีโอ(มก./ล.)	0.1	-	7.6	-
โออาร์พี(มิลลิโวท์)	-297.0	-	149.0	-
ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)	71.0	-	* *42.5	-
เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.)	-	-	439.0	-
วี 30 (มล./ล.)	-	-	16.0	-
เอ็สวีไอ (มก./ล.)	-	-	36.0	-
กรดไขมันระเหย(มก./ล.)	306.6	159.1	60.8	80.2
ซีโอดี (มก./ล.)	1213.0	747.2	434.0	64.0
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	41.2	17.7	2.0	95.2
ไนเตรท (มก./ล.)	3.9	9.4	2.1	-231.5
ฟอสฟอรัสทั้งหมด(มก./ล.)	5.7	-	-	-
ฟอสฟอรัส (กรอง)(มก./ล.)	-	5.5	5.4	6.5
สี (หน่วย SU)	761.0	-	-	3.2
(หน่วย ADMI)	1973.0	-	-	5.2

* วัดหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ววิเคราะห์พารามิเตอร์ต่อเนื่องอีก 6 วัน

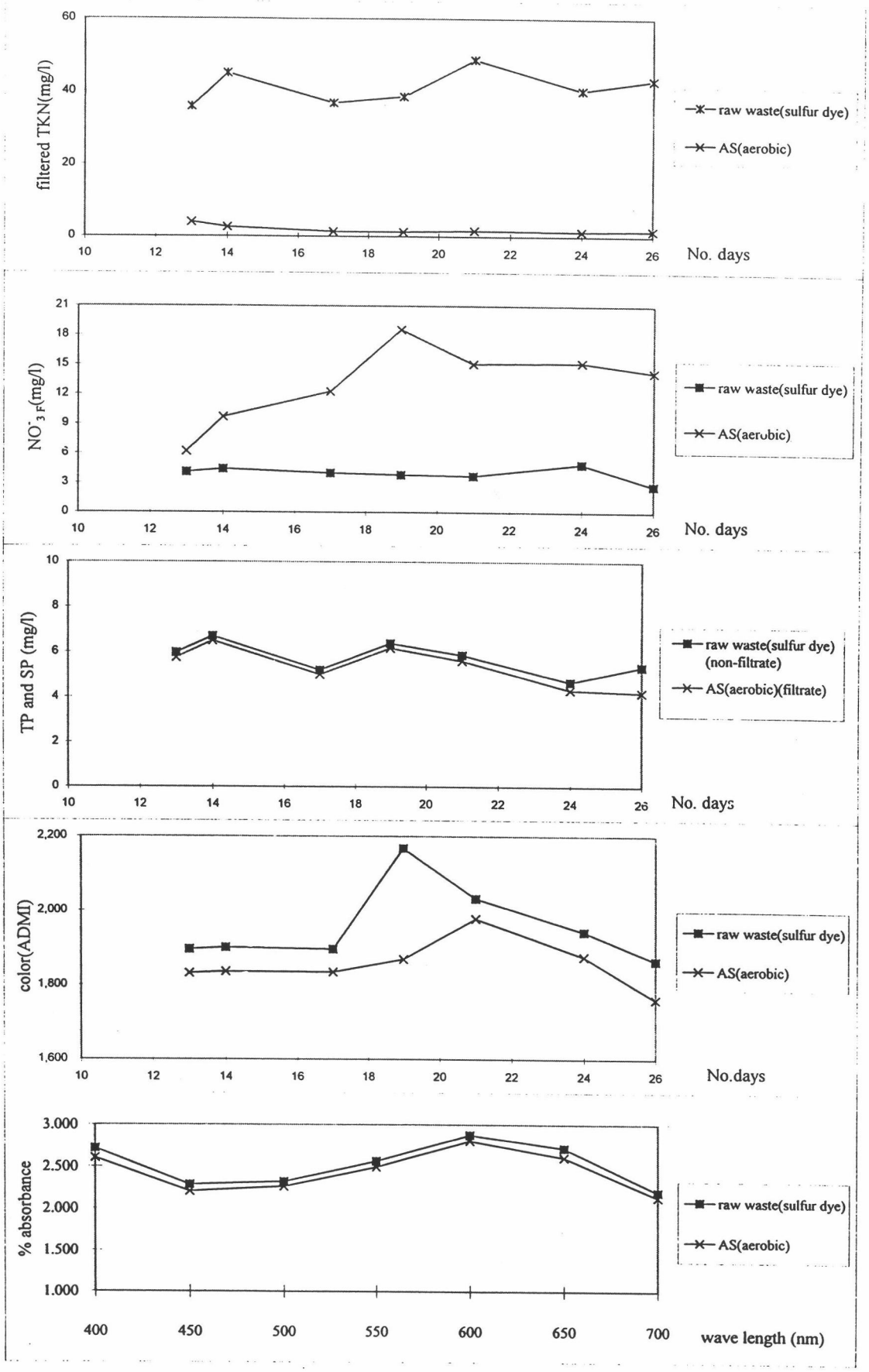
** วัดหลังจากระบายน้ำใสออกจากระบบฯ (effluent)



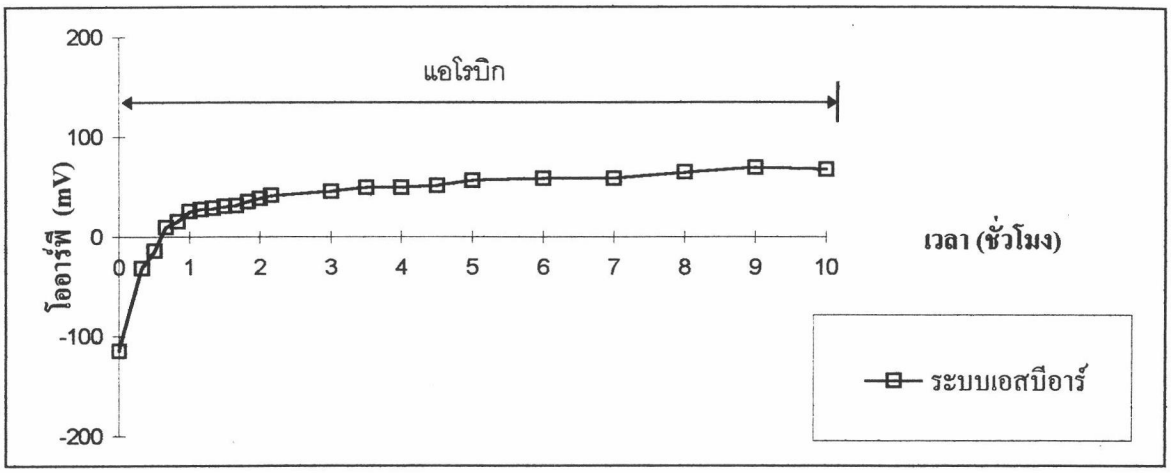
รูปที่ 4.15 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีซัลเฟอร์โดยใช้ระบบ เอสบีอาร์แบบธรรมดา



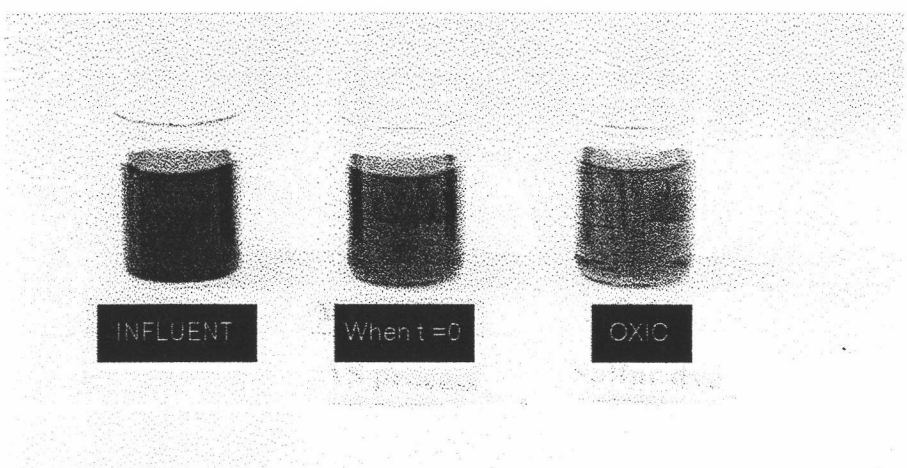
รูปที่ 4.15 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีซัลเฟอร์โดยใช้ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา (ต่อ..)



รูปที่ 4.15 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีซัลเฟอร์โดยใช้ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา



รูปที่ 4.16 โพรไฟล์โออาร์พีของระบบเอสบีอาร์(น้ำเสียมีสีซัลเฟอร์)



ภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบการกำจัดสีซัลเฟอร์ที่ช่วงการทำงานต่างๆกันของระบบเอสบีอาร์

4.2.3 การลดสีโดยใช้กระบวนการเอสบีอาร์แบบแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก-ออกซิก

จากการใช้สีซัลเฟอร์ในการทดลองกับระบบแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก-ออกซิกเอสบีอาร์ (เอทูโอ-เอสบีอาร์) โดยมีขั้นตอนการทำงานเหมือนกับการทดลองที่ใช้น้ำเสียมีสีดิสเพอร์สเช่นกัน ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.18 ซึ่งการหาค่าเฉลี่ยที่เวลา t=0 นั้นคิดจากการดุลมวลเช่นเดียวกับการทดลองชุดที่ 1 ที่ผ่านมาแล้ว จากตาราง พบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียในระบบฯ

อยู่ระหว่าง 24.4-25.3 °C โดยน้ำเสียดังกล่าวเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น 4 ° C ก่อนนำมาใช้ในการทดลอง และมีพีเอชเปลี่ยนแปลงในช่วงก่อนเข้าระบบฯ ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก ดังนี้คือ 7.0, 8.3 และ 8.2 ตามลำดับ และมีปริมาณของสภาพด่างในแต่ละตำแหน่งของระบบฯ เฉลี่ย 527.0, 575.0 และ 491.1 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีค่าโออาร์พีในน้ำเสียสำหรับช่วงการทำงานต่างๆเท่ากับ -297 , -247 และ 160 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ จากรูป 4.19 จะเห็นว่าในช่วงแรกของระบบฯค่าโออาร์พีจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีไนเทรตจากน้ำค้างถังผสมกับน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ หลังจากที่ไนเทรตหมดแล้วค่าโออาร์พีจึงลดลงซึ่งเป็นช่วงแอนแอโรบิก และปรับตัวสูงขึ้นเป็นบวกเมื่อระบบฯเข้าสู่ช่วงออกซิก และมีดีโอในแต่ละช่วงดังนี้คือ 0.1, 0.1 และ 7.4 มก./ล. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์มีปริมาณ MLSS เท่ากับ 377 มก./ล. V_{30} 19 มล./ล. และมีค่า SVI 52 มล./ก. ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์นี้มี MLSS,V_{30} ,SVI ต่ำมากเหมือนกับระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา ซึ่งเหตุผลเกิดจากสารพิษที่มีอยู่ในน้ำเสียดังกล่าวมีปริมาณมาก โดยสังเกตได้จากน้ำเสียชนิดนี้ไม่มีการเจือจางด้วยน้ำทิ้งจากส่วนอื่นๆที่เกิดขึ้นในโรงงานเหมือนน้ำเสียมีสีดิสเพอร์ส

จากการทดลองยังพบอีกว่าระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 59.8 % โดยค่าเฉลี่ยซีโอดีกรองในช่วงน้ำเสียก่อนเข้าระบบ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก มีค่าเท่ากับ 1213, 778.1, 683 และ 488 มก./ล. ตามลำดับ(ดูรูป 4.20) โดยพบว่าซีโอดีส่วนมากถูกกำจัดในช่วงออกซิกคิดเป็น 28.5 % และ12.2 % ถูกกำจัดในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกในที่นี้ไม่ได้รวมซีโอดีที่ลดลงจากการเจือจางระหว่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบกับน้ำทิ้งที่เหลือหลังจากผ่านขั้นตอนระบายน้ำใสส่วนบนออก แต่ถ้ารวมซีโอดีที่ลดลงเนื่องจากการเจือจางน้ำเสียจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในช่วงดังกล่าวสูง 43.7 % และจะเห็นได้อีกว่าปริมาณวีเอฟเอถูกกำจัดลดลง 306.6, 161.2, 127.1 และ 64.3 มก./ล. ในช่วงน้ำเสียก่อนเข้าระบบ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก ตามลำดับ(ดูรูป 4.21)

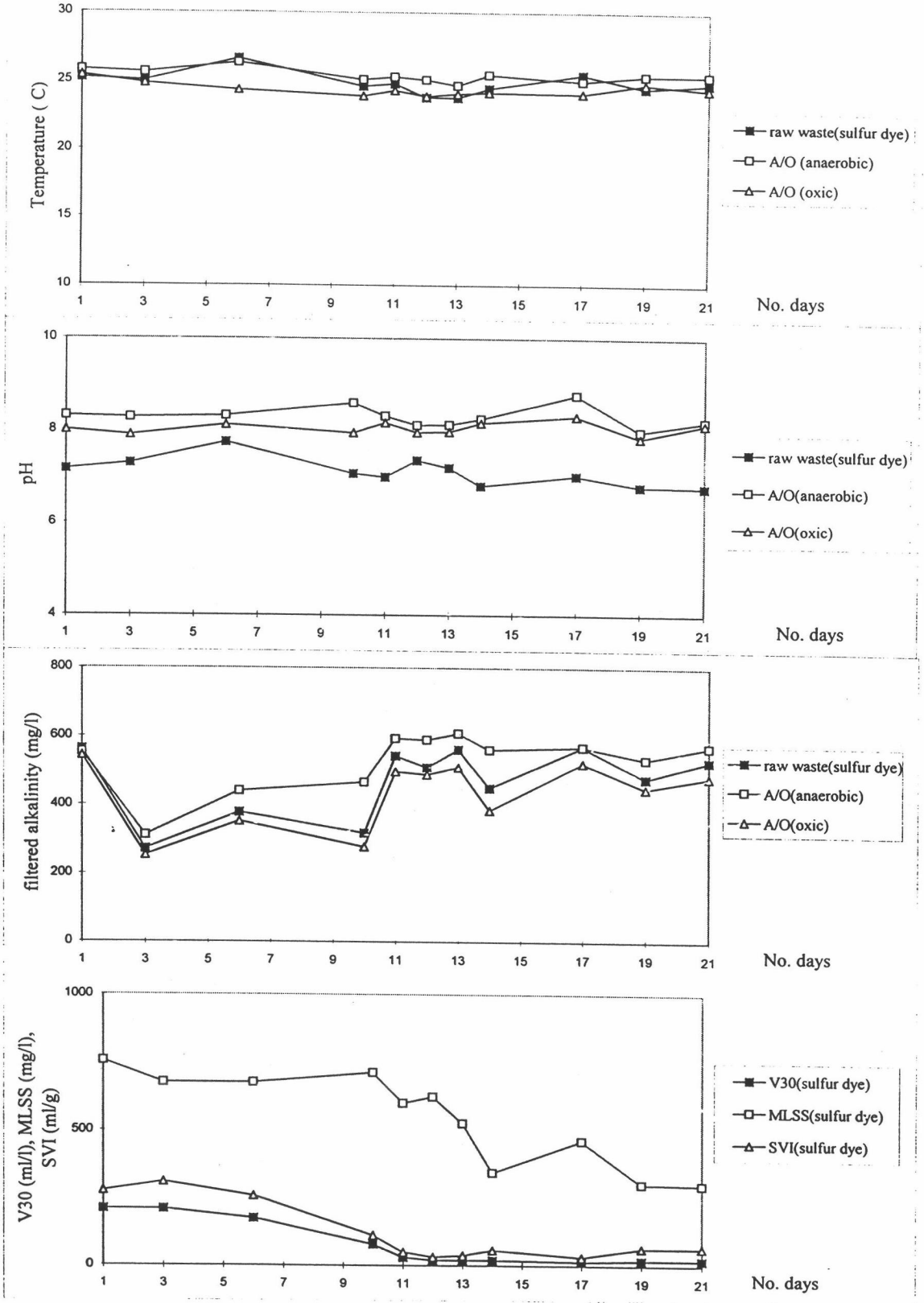
ส่วนค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรองในช่วงน้ำเสียก่อนเข้าระบบ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก +แอนแอโรบิก และช่วงออกซิกมีค่าเท่ากับ 41.2, 17.6, 15.9 และ 1.8 มก./ล.ตามลำดับ(ดูรูป 4.22) ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น 95.3 % โดยส่วนใหญ่ถูกกำจัดในช่วงออกซิก 88.1 % และถูกกำจัดในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก 9.3 % ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปในการทำงานของจุลินทรีย์ สำหรับทีเคเอ็นที่ลดลงนี้จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนไทรต์และไนเทรตในช่วงออกซิก จาก

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ (ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์; สีซัลเฟอร์) (n= 6)*

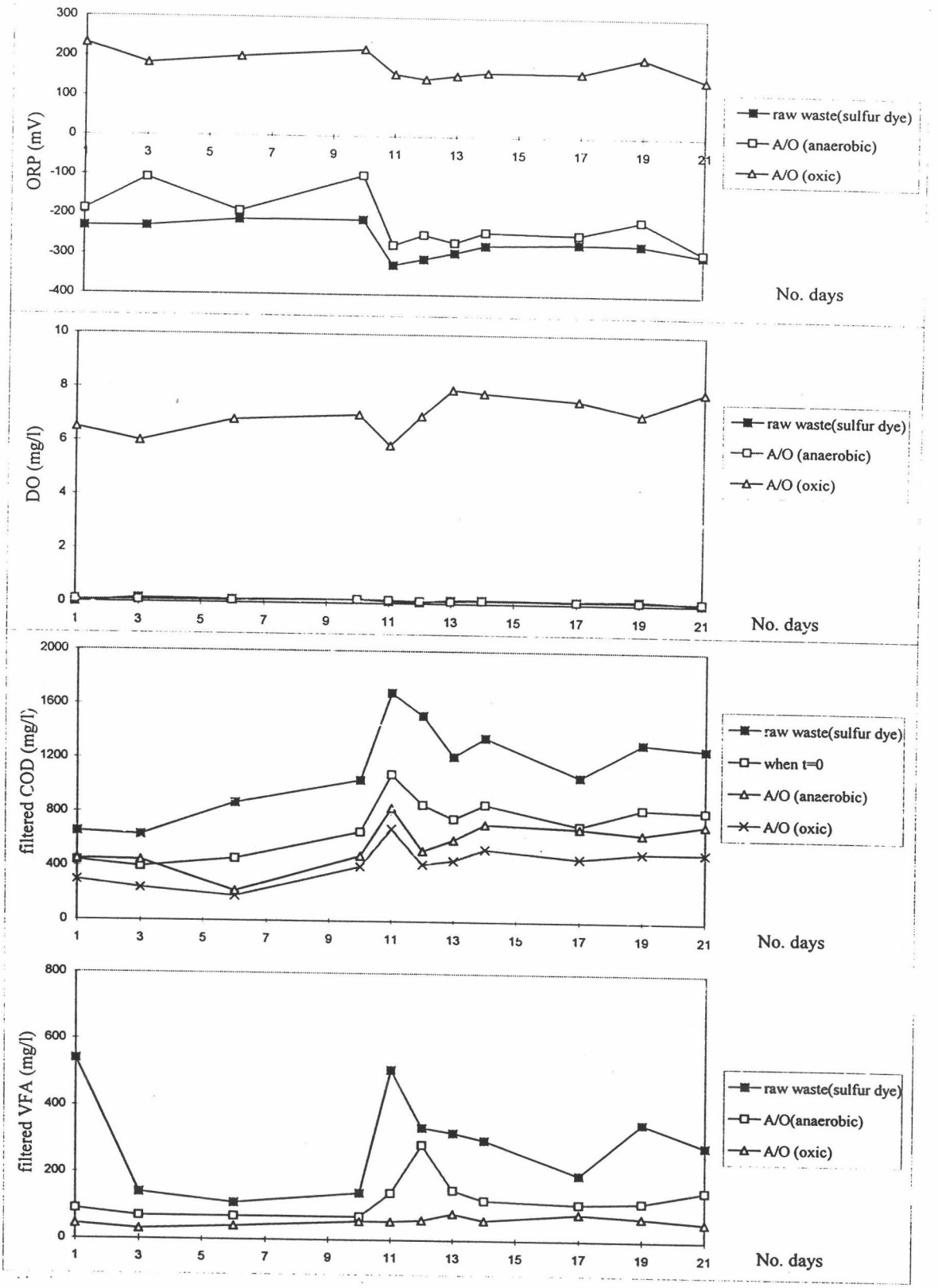
พารามิเตอร์	น้ำเข้าระบบ	เมื่อ t = 0	แอนนอกซิก+แอนแอโรบิก		แอโรบิก		ประสิทธิภาพของระบบฯ(%)
			ค่าเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ(%)	ค่าเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ(%	
อุณหภูมิ	24.6	-	25.3	-	24.4	-	-
พีเอช	7.0	-	8.3	-	8.2	-	-
สภาพด่าง(มก./ล.)	527.0	506.0	575.0	-	491.1	-	-
ดีโอ(มก./ล.)	0.1	-	0.1	-	7.4	-	-
โออาร์พี(มิลลิโวท์)	-297.0	-	-247.0	-	160.0	-	-
ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)	71.0	-	-	-	**35.2	-	-
เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.)	-	-	-	-	377.0	-	-
วี 30 (มล./ล.)	-	-	-	-	19.0	-	-
เอ็สวีไอ (มก./ล.)	-	-	-	-	52.0	-	-
กรดไขมันระเหย(มก./ล.)	306.6	161.2	127.1	21.1	64.3	49.4	79.0
ซีโอดี (มก./ล.)	1213.0	778.1	682.9	12.2	488.0	28.5	59.8
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	41.2	17.6	15.9	9.3	1.8	88.1	95.3
ไนเตรท (มก /ล.)	3.9	4.7	2.1	54.7	5.3	-145.2	-33.6
ฟอสฟอรัสทั้งหมด(มก./ล.)	5.7	-	-	-	-	-	-
ฟอสฟอรัส (กรอง)(มก./ล.)	-	5.3	6.5	-23.3	4.9	23.9	23.9
สี (หน่วย SU)	761.0	-	721.0	5.3	641.0	11.1	15.7
(หน่วย ADMI)	1973.0	-	1887.0	-	1873.0	0.8	5.1

* วัดหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ววิเคราะห์พารามิเตอร์ต่อเนื่องอีก 6 วัน

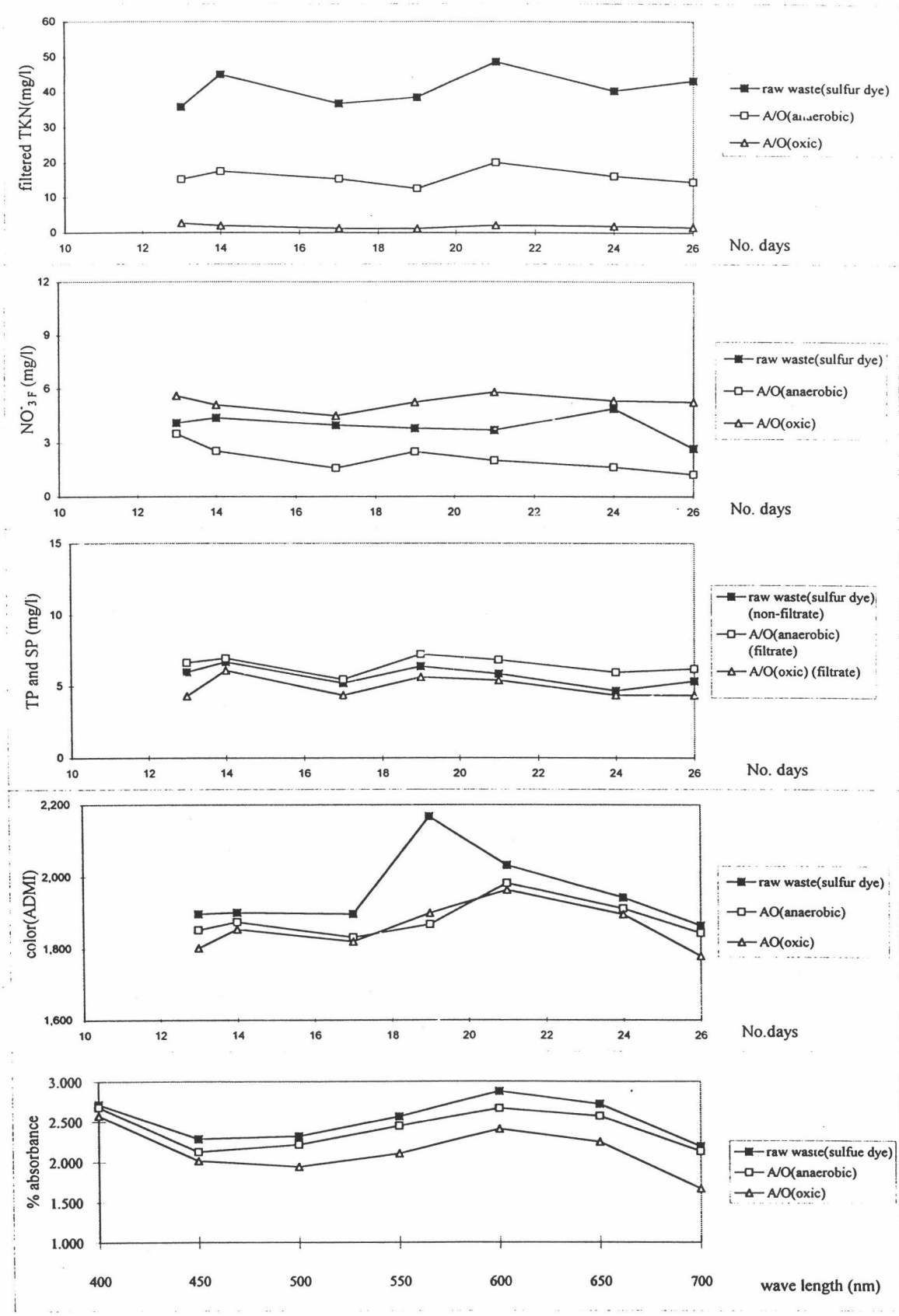
** วัดหลังจากระบายน้ำใสออกจากระบบฯ (effluent)



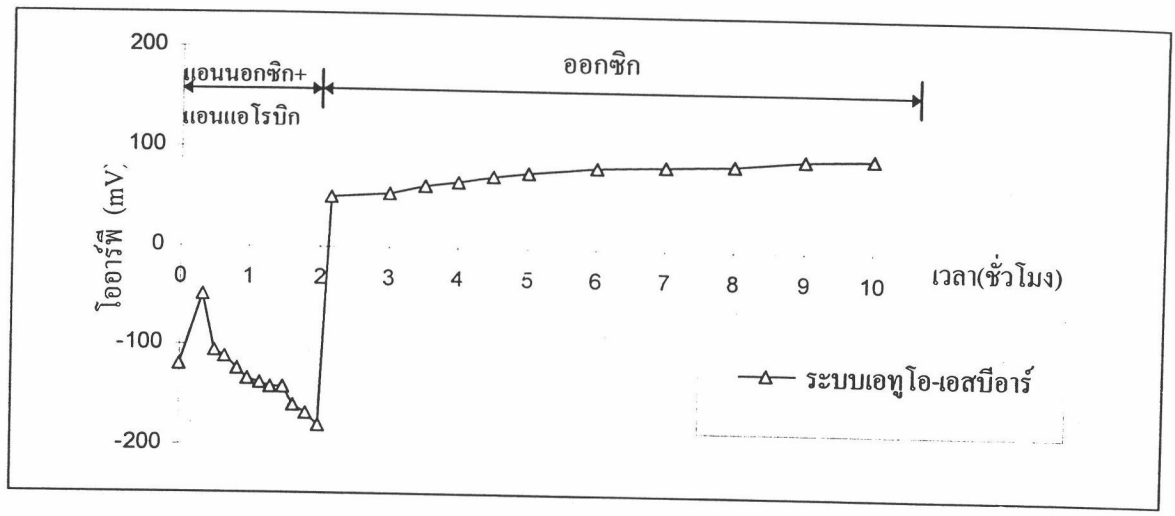
รูปที่ 4.18 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีซัลเฟอร์โดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์



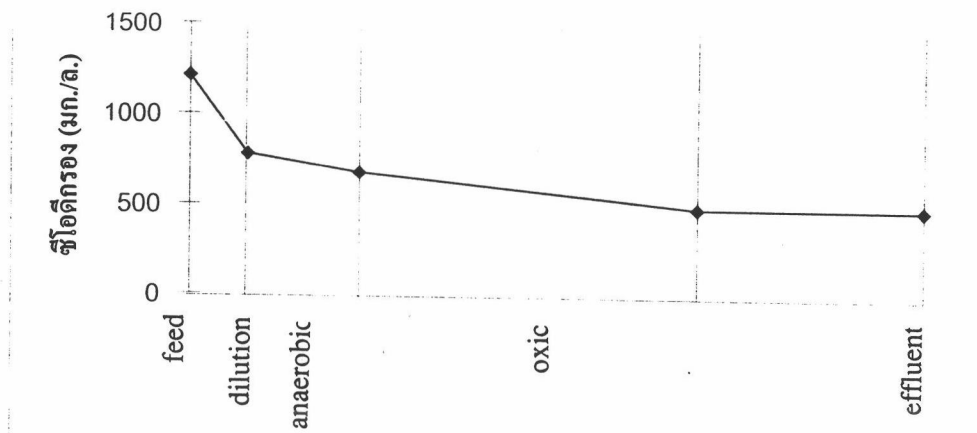
รูปที่ 4.18 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีซัลเฟอร์โดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (ต่อ..)



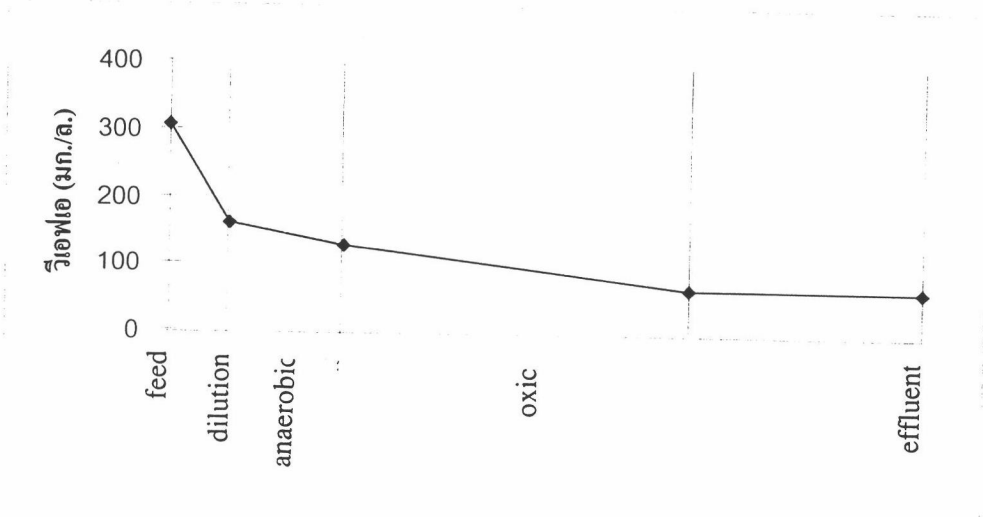
รูปที่ 4.18 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีซัลเฟอร์โดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์



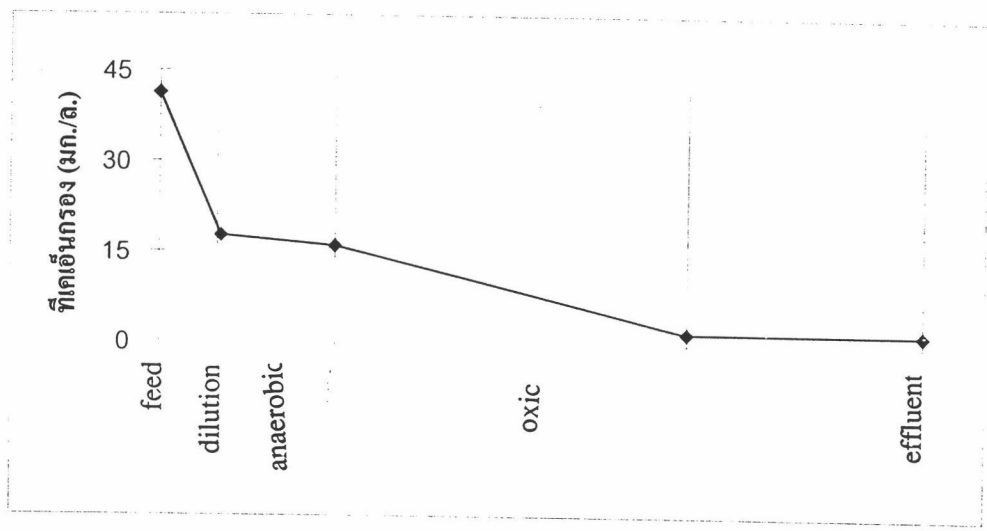
รูปที่ 4.19 โพรไฟล์โออาร์พีของระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีซัลเฟอร์)



รูปที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีซัลเฟอร์)



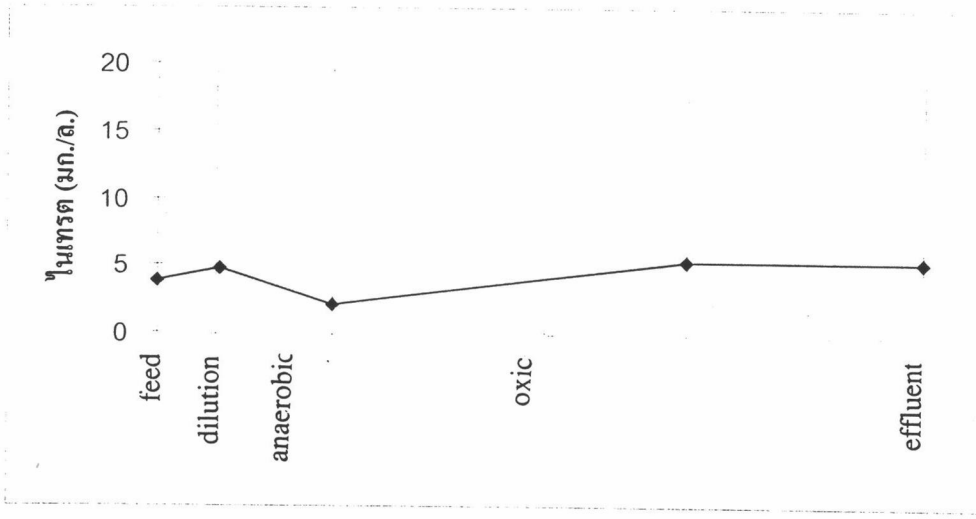
รูปที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยวีเอฟเอที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีซัลเฟอร์)



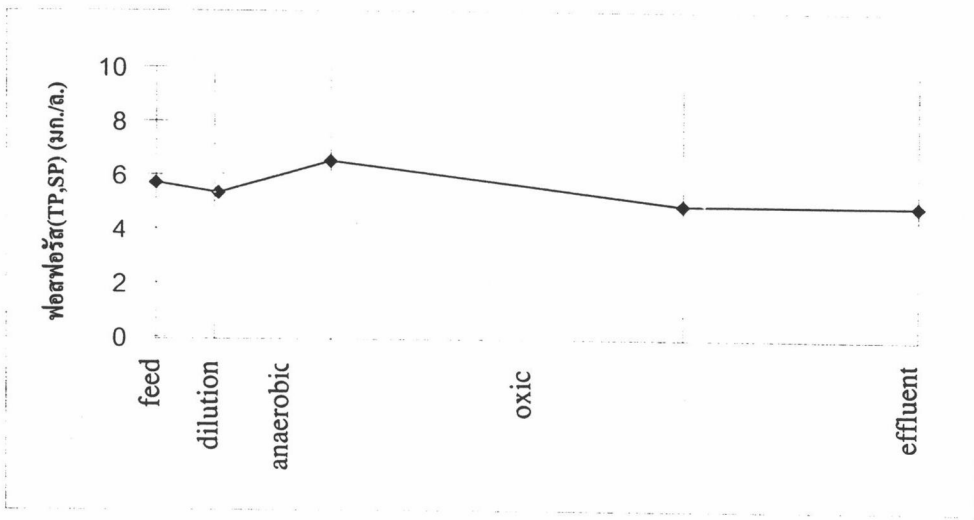
รูปที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรองที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีซัลเฟอร์)

การทดลองที่ได้พบว่าค่าไนเทรตในช่วงน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.9, 4.7, 2.1 และ 5.3 มก./ล. ตามลำดับซึ่งจะเห็นได้ว่าไนเทรตส่วนหนึ่งถูกกำจัดในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก คิดเป็น 54.7 % โดยการเปลี่ยนรูปเป็นกาซไนโตรเจน นอกจากนี้ยังพบว่าระบบฯมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 23.9 % โดยมีปริมาณเฉลี่ย 5.7, 5.3, 6.5 และ 4.9 มก./ล. ในช่วงน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกและช่วงออกซิกตามลำดับ (ดูรูป 4.24) จะเห็นได้ว่าระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงกว่าระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา

อย่างไรก็ตามระบบฯดังกล่าวยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดไม่ดีนักทั้งนี้อาจเกิดจากหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น อุณหภูมิสูงไปหรือจำนวนจุลชีพในระบบฯน้อยไปและอื่นๆ

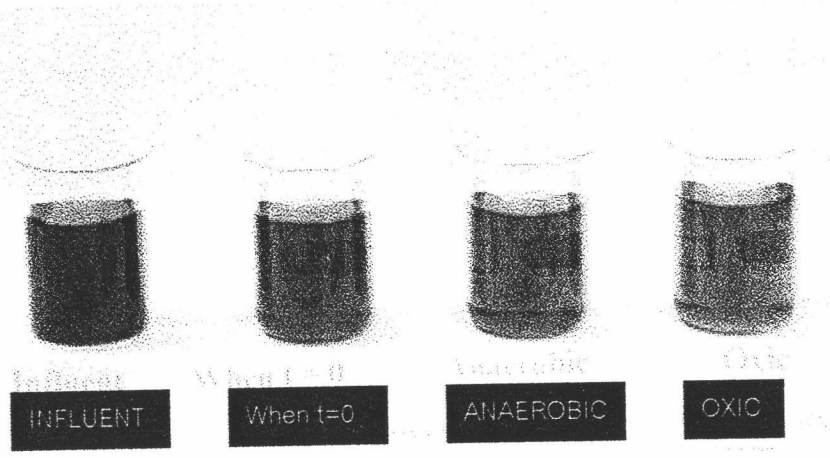


รูปที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยไนเทรตที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีซัลเฟอร์)



รูปที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัส(TP,SP)เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีซัลเฟอร์)

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบฯ คิดเป็น 15.7 และ 5.1 % ในหน่วย SU และ ADMI ตามลำดับโดยค่าสีที่วัดได้ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกและช่วงออกซิก มีค่าเท่ากับ 761, 721 และ 641 ในหน่วย SU และ 1973, 1887 และ 1872 ในหน่วย



ภาพที่ 4.25 การเปรียบเทียบการกำจัดสีซัลเฟอร์ช่วงการทำงานต่างๆกันของระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์

4.3 สีรีแอกทีฟ

4.3.1 ลักษณะน้ำเสีย

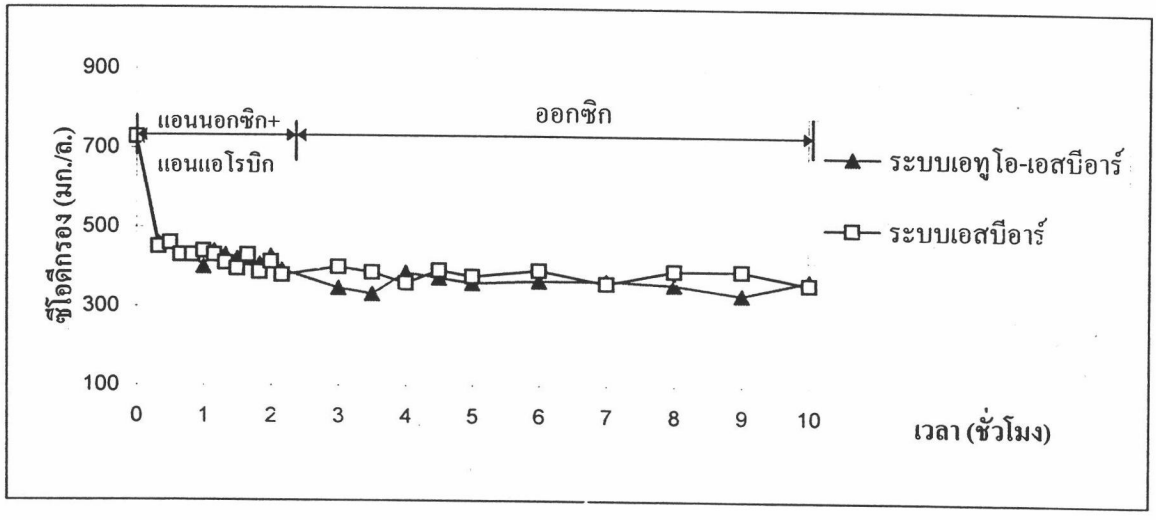
น้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 3 นี้เก็บมาจากกระบวนการฟอกย้อมเหมือนกับการทดลองชุดที่ 2 เพียงแต่เปลี่ยนชนิดของสีจากสีซัลเฟอร์ไปเป็นสีรีแอกทีฟซึ่งมีสีน้ำเงิน ลักษณะของน้ำเสียดังแสดงในตารางที่ 4.7

จากตารางจะเห็นว่าน้ำเสียประเภทสีรีแอกทีฟนี้มีความเข้มของสีสูงแต่ยังไม่เท่ากับสีซัลเฟอร์ อีกทั้งมีค่าบีโอดีต่ำแต่มีค่าซีโอดีสูง(ใกล้เคียงกับน้ำเสียอีก 2 ชนิดที่นำมาใช้ในการทดลอง) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำเสียมีสีรีแอกทีฟนี้มีปริมาณของแข็งแขวนลอย 44 มก./ล. เมื่อสังเกตดูบนกระดาษกรองพบว่ามีสีรีแอกทีฟติดค้างอยู่น้อยมาก แสดงว่าสีชนิดดังกล่าวเป็นสีที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ ทำให้สีผ่านกระดาษกรองได้ดี โดยน้ำเสียชนิดนี้ต้องมีการเติมธาตุอาหารและปรับ พีเอชเหมือนกับการทดลองชุดที่ 1 และ 2 เช่นกัน และรูปที่ 4.26 โพรไฟล์ซีโอดีของระบบฯ กับน้ำเสียมีสีรีแอกทีฟ

ตารางที่ 4.7 ลักษณะน้ำเสียมีสีรีแอกทีฟที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 3

พารามิเตอร์	มก./ล.
บีโอดี	154*
ซีโอดี	940
ของแข็งแขวนลอย	56
พีเอช	7.34
ทีเคเอ็น	40.63
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	7.04
สี (หน่วย SU)	298
(หน่วย ADMI)	1064

* เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์บีโอดี 3 ครั้งส่วนค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์อื่นๆวิเคราะห์ 6 ครั้ง



รูปที่ 4.26 โพรไฟล์ซีโอดีของน้ำเสียมีสีรีแอกทีฟของระบบฯทั้งสอง

4.3.2 การลดสีโดยใช้กระบวนการเอสบีอาร์

จากการใช้น้ำเสียที่มีสีชนิดรีแอกทีฟในการทดลองโดยใช้กระบวนการเอสบีอาร์ โดยมีขั้นตอนการทำงานเหมือนกันกับการทดลองชุดที่ 1 และ 2 ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตาราง 4.8 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ (ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา ; สีรีแอกทีฟ) (n= 6)*

พารามิเตอร์	น้ำเข้าระบบ	เมื่อ t = 0	แอโรบิก	ประสิทธิภาพของระบบฯ(%)
อุณหภูมิ	25.3	-	24.6	-
พีเอช	7.3	-	7.7	-
สภาพด่าง(มก./ล.)	522.4	410.6	336.1	-
ดีโอ(มก./ล.)	0.1	-	7.5	-
โออาร์พี(มิลลิโวท์)	-209.0	-	166.0	-
ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)	55.9	-	**27.6	-
เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.)	-	-	597.0	-
วี 30 (มล./ล.)	-	-	28.0	-
เอ็สวีไอ (มก./ล.)	-	-	47.0	-
กรดไขมันระเหย(มก./ล.)	258.2	132.7	77.7	41.2
ซีโอดี (มก./ล.)	940.0	594.6	364.0	61.2
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	40.6	17.5	2.1	94.8
ไนเตรท (มก./ล.)	3.3	10.6	15.4	-366.6
ฟอสฟอรัสทั้งหมด(มก./ล.)	7.0	-	-	-
ฟอสฟอรัส (กรอง)(มก./ล.)	-	6.5	6.2	12.3
สี (หน่วย SU)	398.0	-	208.0	30.2
(หน่วย ADMI)	1064.0	-	982.0	7.8

* วัดหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ววิเคราะห์พารามิเตอร์ต่อเนื่องอีก 6 วัน

** วัดหลังจากระบายน้ำใสออกจากระบบฯ (effluent)

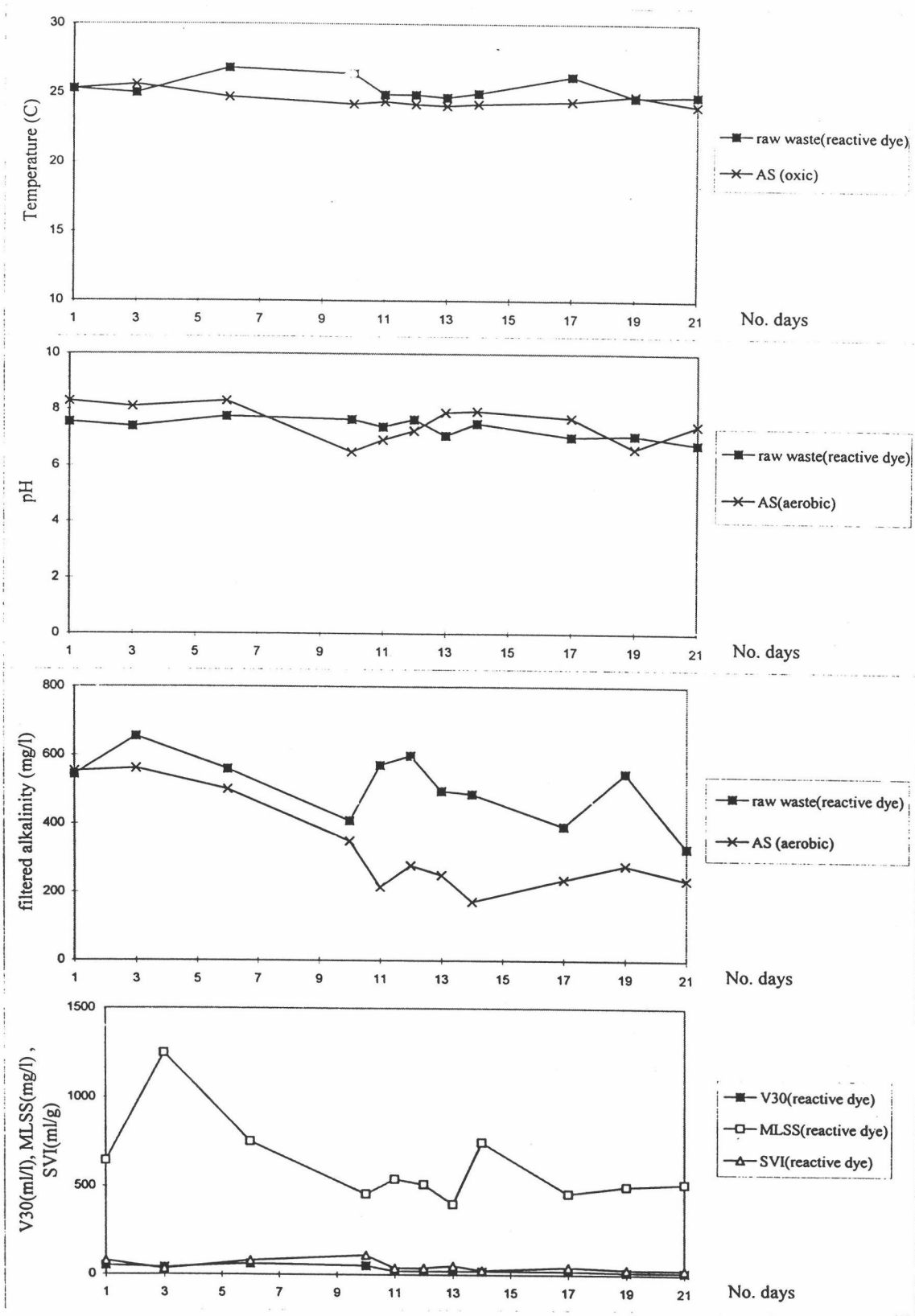
และรูปที่ 4.27 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ น้ำเสียในระบบนี้มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 23.5-24.6 °C เนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น 4 ° Cก่อนนำมาใช้ในการทดลองมีพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 7.3 เป็น 7.7 ซึ่งเกิดจากอะซิเทตถูกใช้ไปโดยแบคทีเรีย และมีสภาพด่างลดลงจาก 522.4 มก./ล.เหลือ 366.1 มก./ล.เนื่องจากถูกใช้สำหรับปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ส่วนค่าโออาร์พีและดีโอในช่วงออกซิก เท่ากับ 166 มิลลิโวลล์และ 7.48 มก./ล. ตามลำดับซึ่งเป็นตัวชี้ว่าระบบอยู่ในสภาพแอโรบิก และจากรูปที่

4.28 จะเห็นว่าโออาร์พีปรับตัวจาก -311 เป็น 50 มิลลิโวลท์ นอกจากนี้ยังพบว่ามีค่า MLSS 597 มก./ล. , V_{30} 28 มล./ล. และมีค่า SVI 47 มล./ก. ทั้งนี้อาจเกิดจากน้ำเสียชนิดนี้มีความเป็นพิษจากสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อม ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีเท่าที่ควร และผลที่ตามมาคือประสิทธิภาพของระบบฯไม่ดีเช่นกัน

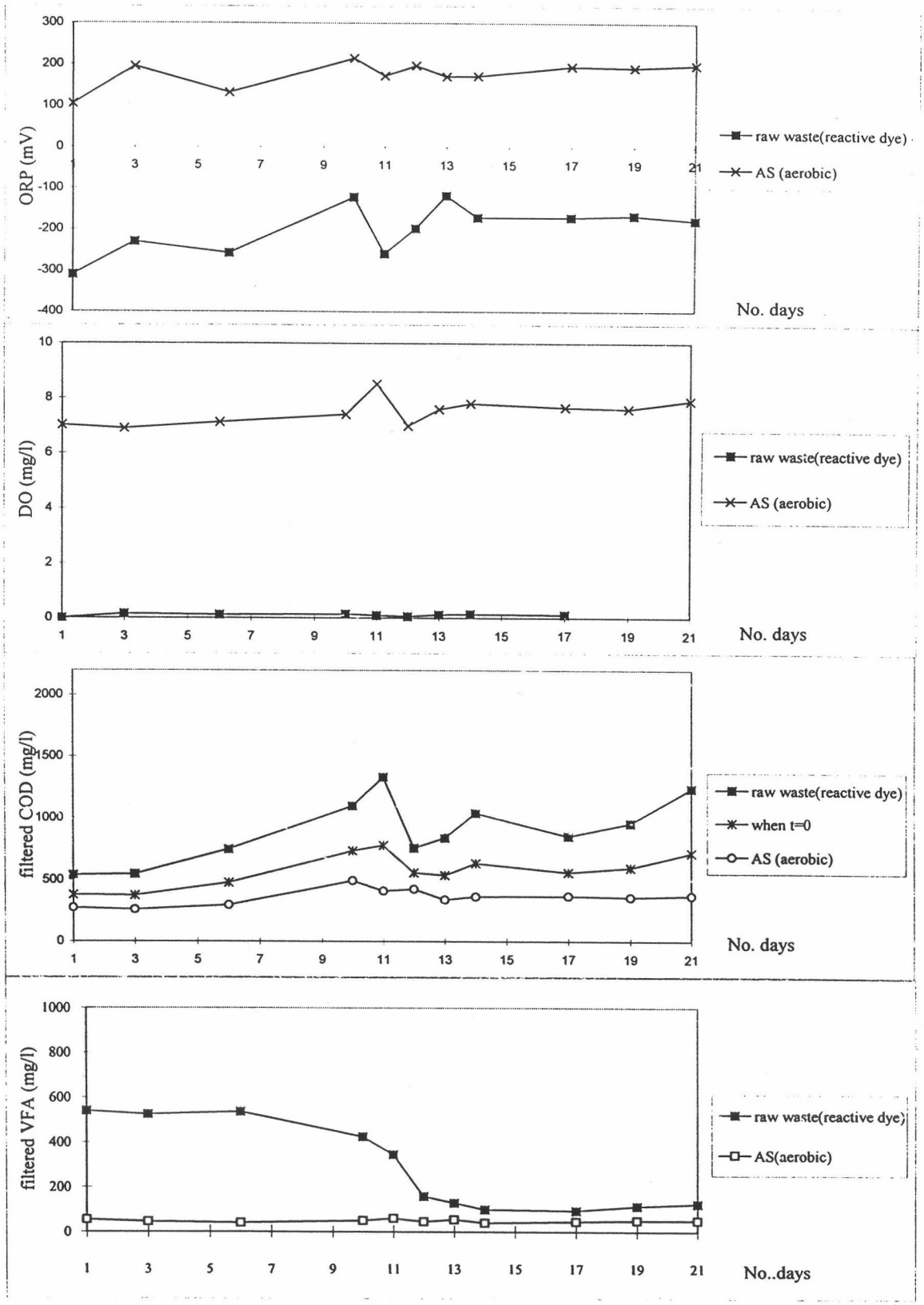
ค่าเฉลี่ยซีโอดีกรองในน้ำเสียก่อนเข้าระบบและในถังออกซิกมีค่าเท่ากับ 940 และ 364 มก./ล. ตามลำดับคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 61.22 % แสดงให้เห็นว่าระบบเอสบีอาร์ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่มีสีรีแอกทีฟปนอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับระบบฯที่มีสีดิสเพอร์สปนอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่าระบบฯมีประสิทธิภาพการกำจัดวีเอฟเอเพียง 41.2 % โดยมีปริมาณ 258.2 และ 77.7 มก./ล.ตามลำดับ

ส่วนค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรองในน้ำเสียก่อนเข้าระบบและในถังออกซิกเท่ากับ 40.6 และ 2.1 มก./ล. ตามลำดับ พบว่าระบบเอสบีอาร์นี้มีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นสูงเท่ากับ 94.8 % โดยทีเคเอ็นจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนไทรต์และไนเทรตตามลำดับ จากตารางที่ 4.8 จะเห็นว่าค่าไนเทรตในน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีค่า 3.3 มก./ล. เพิ่มขึ้นเป็น 15.4 มก./ล.ในถังออกซิก และนอกจากนี้ยังพบว่าระบบเอสบีอาร์นี้มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำคิดเป็น 12.3 % ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดถูกกำจัดจาก 7.0 มก./ล.ลดลงเหลือ 6.2 มก./ล.ในถังออกซิกซึ่งปริมาณที่ลดลงนี้คาดว่าเกิดจากกระบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์จุลชีพ

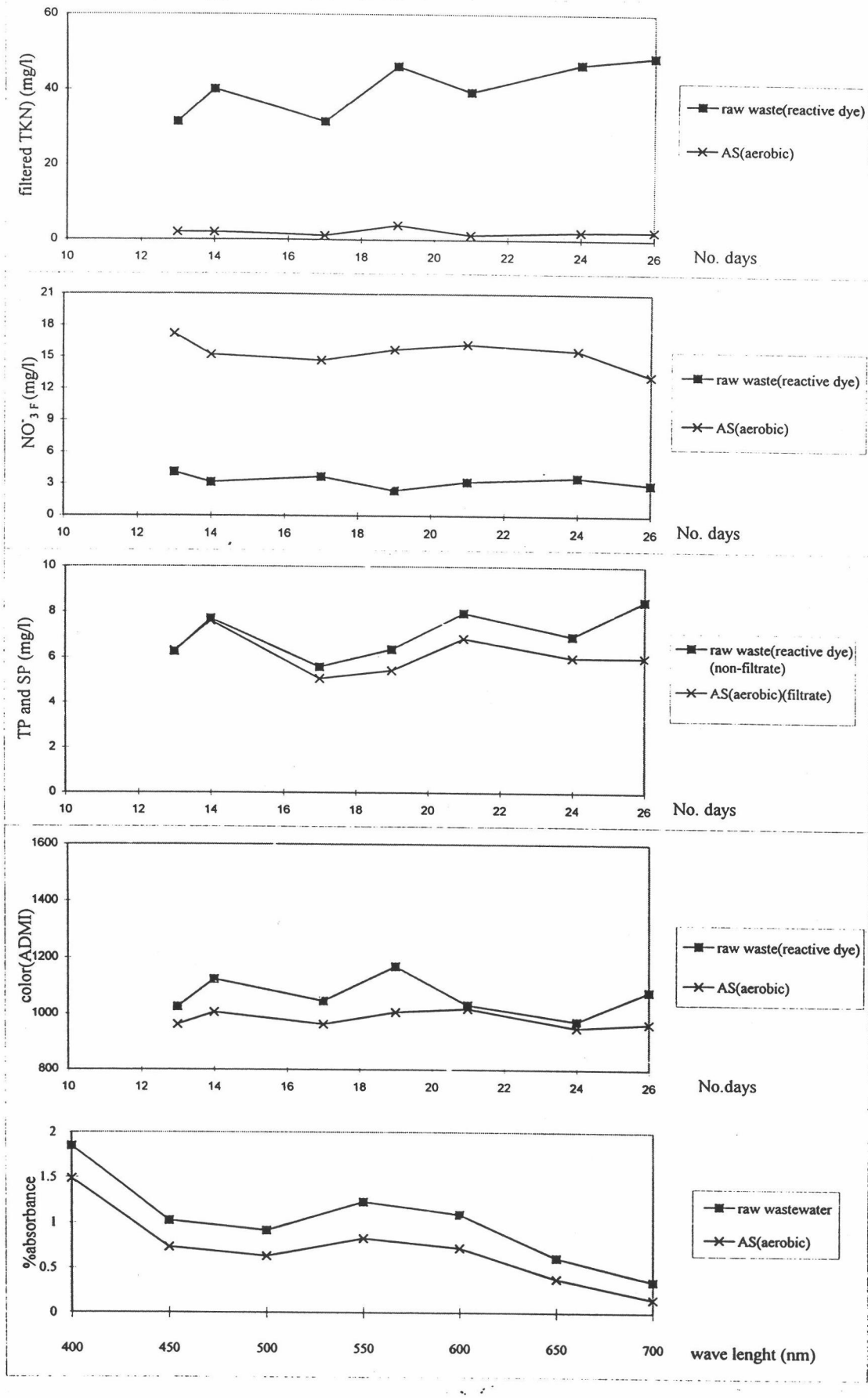
สำหรับการกำจัดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอสบีอาร์พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดสีคิดเป็น 30.2 และ 7.8 % ในหน่วย SU และ ADMI ตามลำดับโดยค่าสีของน้ำเสียก่อนเข้าระบบและในถังออกซิกมีค่าเท่ากับ 298 และ 208 ในหน่วย SU และ 1064 และ 982 ในหน่วย ADMI ตามลำดับ (ดูภาพ 4.29)



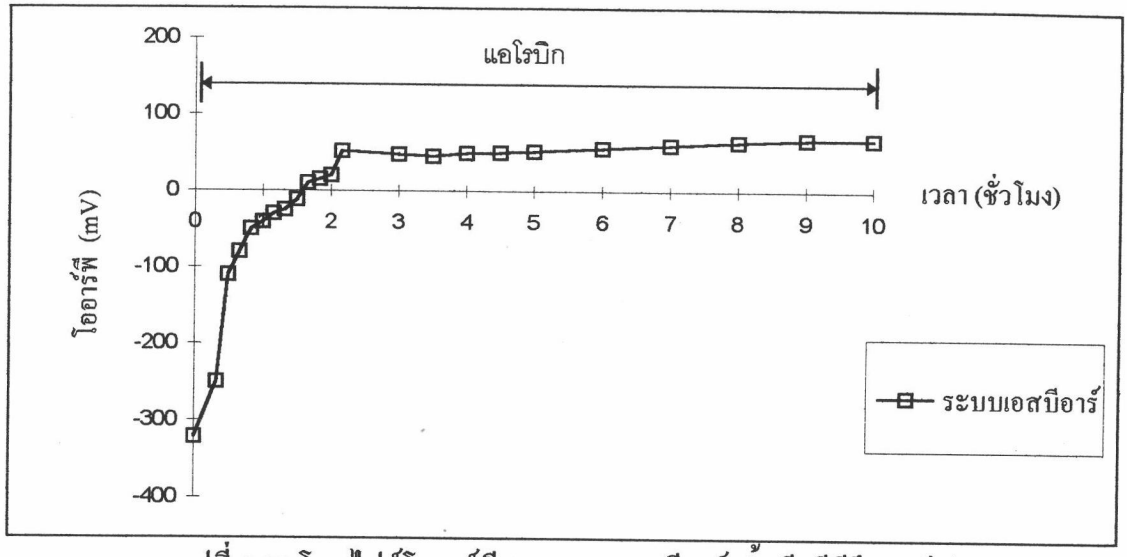
รูปที่ 4.27 **ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา**



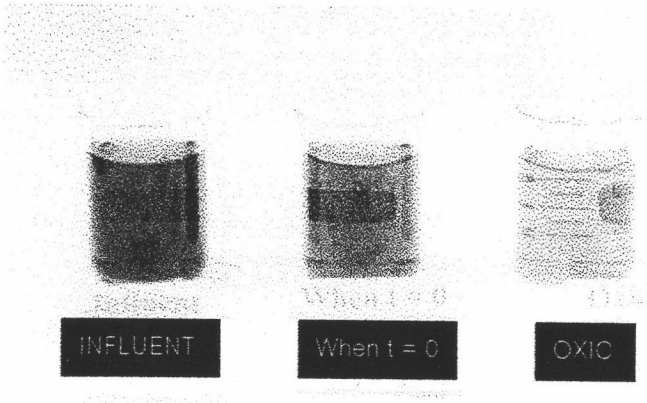
รูปที่ 4.27 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา (ต่อ..)



รูปที่ 4.27 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา



รูปที่ 4.28 โพรไฟล์โออาร์พีของระบบเอสบีอาร์(น้ำเสียมีสีรีแอกทีฟ)



ภาพที่ 4.29 การเปรียบเทียบการกำจัดสีรีแอกทีฟช่วงการทำงานต่างๆกันของระบบเอสบีอาร์

3.3 การลดสีโดยใช้กระบวนการเอสบีอาร์แบบแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิก

จากการใช้สีรีแอกทีฟในการทดลองกับระบบแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก-ออกซิกเอสบีอาร์ (เอทูโอ-เอสบีอาร์) โดยมีขั้นตอนการทำงานเหมือนกับการทดลองชุดที่ 1 และ 2 เช่นกัน ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.30 ซึ่งค่าเฉลี่ยที่เวลา t=0 นั้นคิดจากการดุลมวลของระบบฯเช่นเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 และ 2 จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียในระบบฯ

อยู่ระหว่าง 25-25.8 °C เนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น 4 ° C ก่อนนำมาทดลอง และมีพีเอชเปลี่ยนแปลงจาก 7.3, 8.4 และ 8.1 ในช่วงน้ำเสียก่อนเข้าระบบ ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก ซึ่งสอดคล้องกับสภาพด่างโดยมีปริมาณ 522.4, 435.3 และ 341.9 มก./ล. ตามลำดับซึ่งแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันดี ส่วนค่าโออาร์พีในช่วงการทำงานต่างๆของระบบฯ มีค่าเท่ากับ -209 , -133 และ 164 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ และรูปที่ 4.31 เป็นการทำโพรไฟล์โออาร์พีของระบบฯ ซึ่งพบว่ามีลักษณะการทำงานเหมือนกันกับชุดการทดลองที่ 1 และ 2 และมีดีโอในแต่ละช่วงดังนี้คือ 0.09, 0.1 และ 7.0 มก./ล. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าระบบฯ มีปริมาณ MLSS เท่ากับ 657 มก./ล. V_{30} 37 มล./ล. และมีค่า SVI 57 มล./ก. ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์นี้มี MLSS,V_{30} ,SVI ต่ำมากเหมือนกับระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา ซึ่งเหตุผลเกิดจากสารพิษที่มีอยู่ในน้ำเสียดังกล่าวมีปริมาณมาก โดยสังเกตได้จากน้ำเสียชนิดนี้ไม่มีการเจือจางด้วยน้ำทิ้งจากส่วนอื่นๆที่เกิดขึ้นในโรงงาน เช่นเดียวกับสีซัลเฟอร์ที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 2

จากการทดลองยังพบอีกว่าระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 60.6 % โดยค่าเฉลี่ยซีโอดีกรองในช่วงน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก มีค่าเท่ากับ 940, 598, 470 และ 370 มก./ล. ตามลำดับ (ดูรูปที่ 4.32) และปริมาณวีเอฟเอถูกกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับการทดลองชุดที่ 1 และ 2 ของระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ โดยวีเอฟเอในแต่ละช่วงการทำงานของระบบฯมีดังนี้คือ 258.2, 132.1, 77.7 และ 48.1 มก./ล.ตามลำดับ (ดูรูปที่ 4.33)

ส่วนค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรองของน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิกมีค่าเท่ากับ 40.6, 17.5, 17.0 และ 2.1 มก./ล.ตามลำดับ(ดูรูปที่ 4.34) คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น 94.8 % โดยส่วนใหญ่ถูกกำจัดในช่วงออกซิก 87.6 % และถูกกำจัดในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก 2.9 % ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปในการทำงานของจุลินทรีย์ สำหรับทีเคเอ็นที่ลดลงนี้จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนไทรต์และไนเทรตในช่วงออกซิก จากการทดลองที่ได้พบว่าค่าไนเทรตในน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิกมีค่าเท่ากับ 3.3, 4.0, 1.5 และ 4.5 มก./ล. ตามลำดับ(ดูรูปที่ 4.35) ซึ่งจะเห็นได้ว่าไนเทรตส่วนหนึ่งถูกกำจัดในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกคิดเป็น 62.2 % โดยการเปลี่ยนรูปเป็นกาซไนโตรเจน นอกจากนี้ยังพบว่าระบบฯมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 25.7 % โดยมีปริมาณ 7.04, 5.9, 7.38 และ 5.23 มก./ล. ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกและช่วงออกซิกตามลำดับ (ดูรูปที่ 4.36)

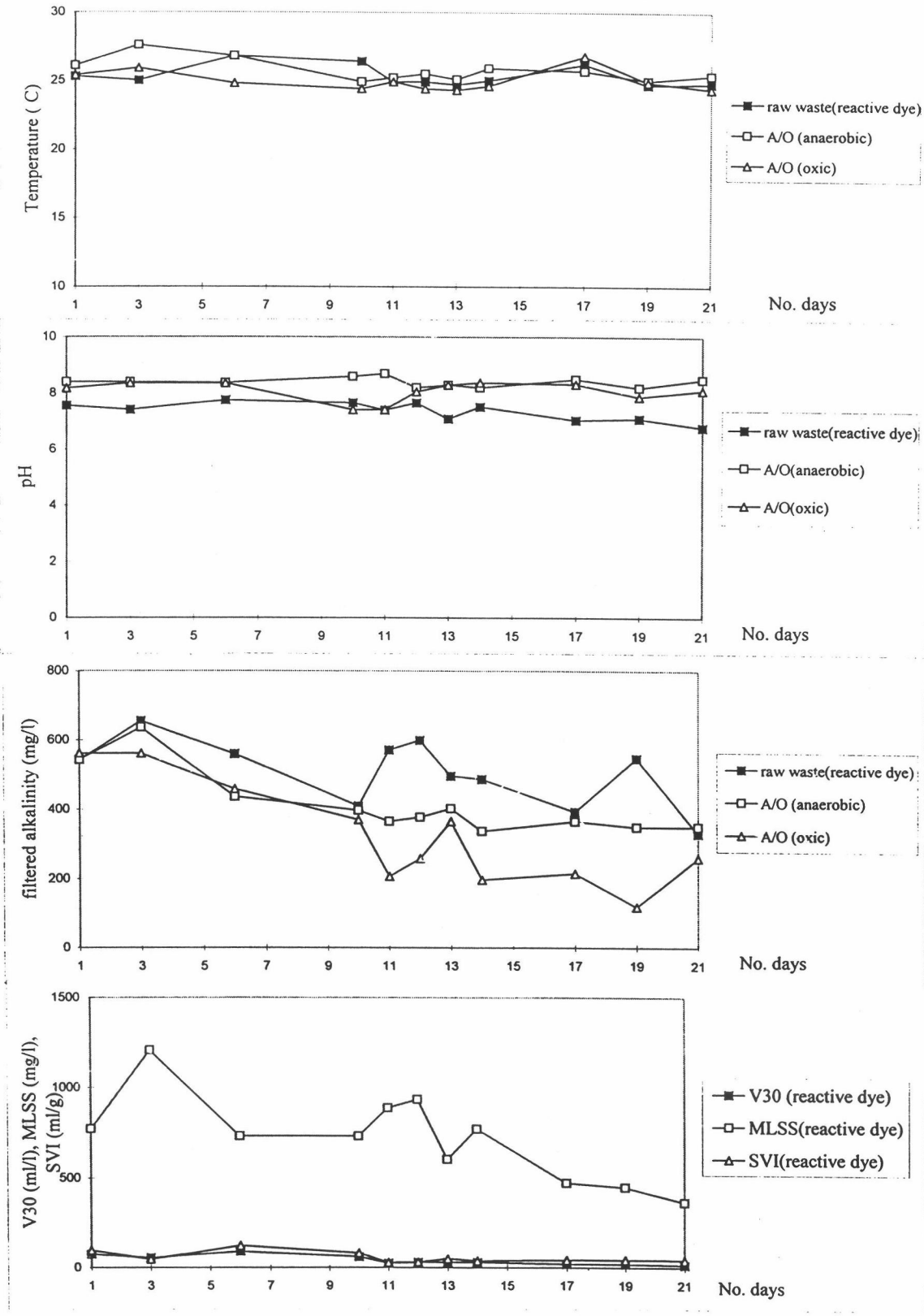
สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบฯ คิดเป็น 31.2 และ 8.0 % ในหน่วย SU และ ADMI ตามลำดับโดยค่าสีที่วัดได้ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯ ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกและช่วงออกซิก มีค่าเท่ากับ 298, 209 และ 205 ในหน่วย SU และ 1064, 1005 และ 979 ในหน่วย ADMI ตามลำดับ (ดูภาพ 4.37) อย่างไรก็ตามจากการสังเกตด้วยตาพบว่าระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์กำจัดสีได้ไม่มากนัก

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ (ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ ; สีรีแอกทีฟ) (n= 6)*

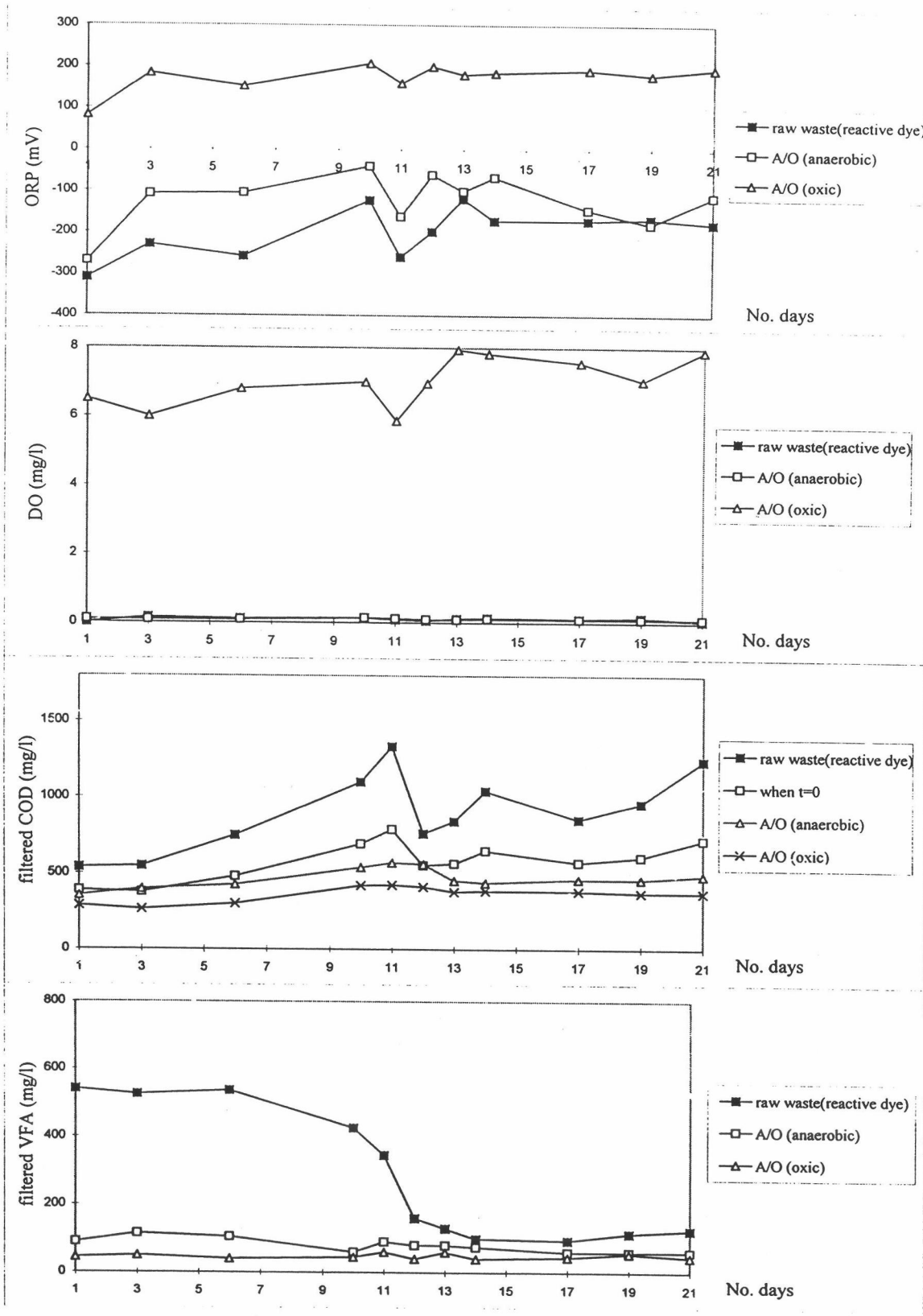
พารามิเตอร์	น้ำเข้าระบบ	เมื่อ t = 0	แอนนอกซิก+แอนแอโรบิก		แอโรบิก		ประสิทธิภาพของระบบฯ(%)
			ค่าเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ(%)	ค่าเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ(%)	
อุณหภูมิ	25.3	-	25.8	-	25.0	-	-
พีเอช	7.3	-	8.4	-	8.1	-	-
สภาพด่าง(มก./ล.)	522.4	414.1	435.3	-	341.9	-	-
ดีโอ(มก./ล.)	0.1	-	0.1	-	7.0	-	-
โออาร์พี(มิลลิโวท์)	-209.0	-	-133.0	-	164.0	-	-
ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)	55.9	-	-	-	** 29.27	-	-
เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.)	-	-	-	-	657.0	-	-
วี 30 (มล./ล.)	-	-	-	-	37.0	-	-
เอ็สวีไอ (มก./ล.)	-	-	-	-	57.0	-	-
กรดไขมันระเหย(มก./ล.)	258.2	132.1	77.7	41.2	48.1	38.1	81.4
ซีโอดี (มก./ล.)	940.0	598.0	470.0	21.5	370.0	21.2	60.6
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	40.6	18.1	17.5	3.2	2.1	88.1	94.9
ไนเตรท (มก./ล.)	3.3	4.0	1.5	62.2	4.5	-196.0	-36.0
ฟอสฟอรัสทั้งหมด(มก./ล.)	7.0	-	-	-	-	-	-
ฟอสฟอรัส (กรอง)(มก./ล.)	-	-	7.4	-24.0	5.2	29.1	25.7
สี (หน่วย SU)	298.0	-	209.0	-	205.0	-	31.2
(หน่วย ADMI)	1064.0	-	1005.0	-	979.0	-	8.0

* วัดหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ววิเคราะห์พารามิเตอร์ต่อเนื่องอีก 6 วัน

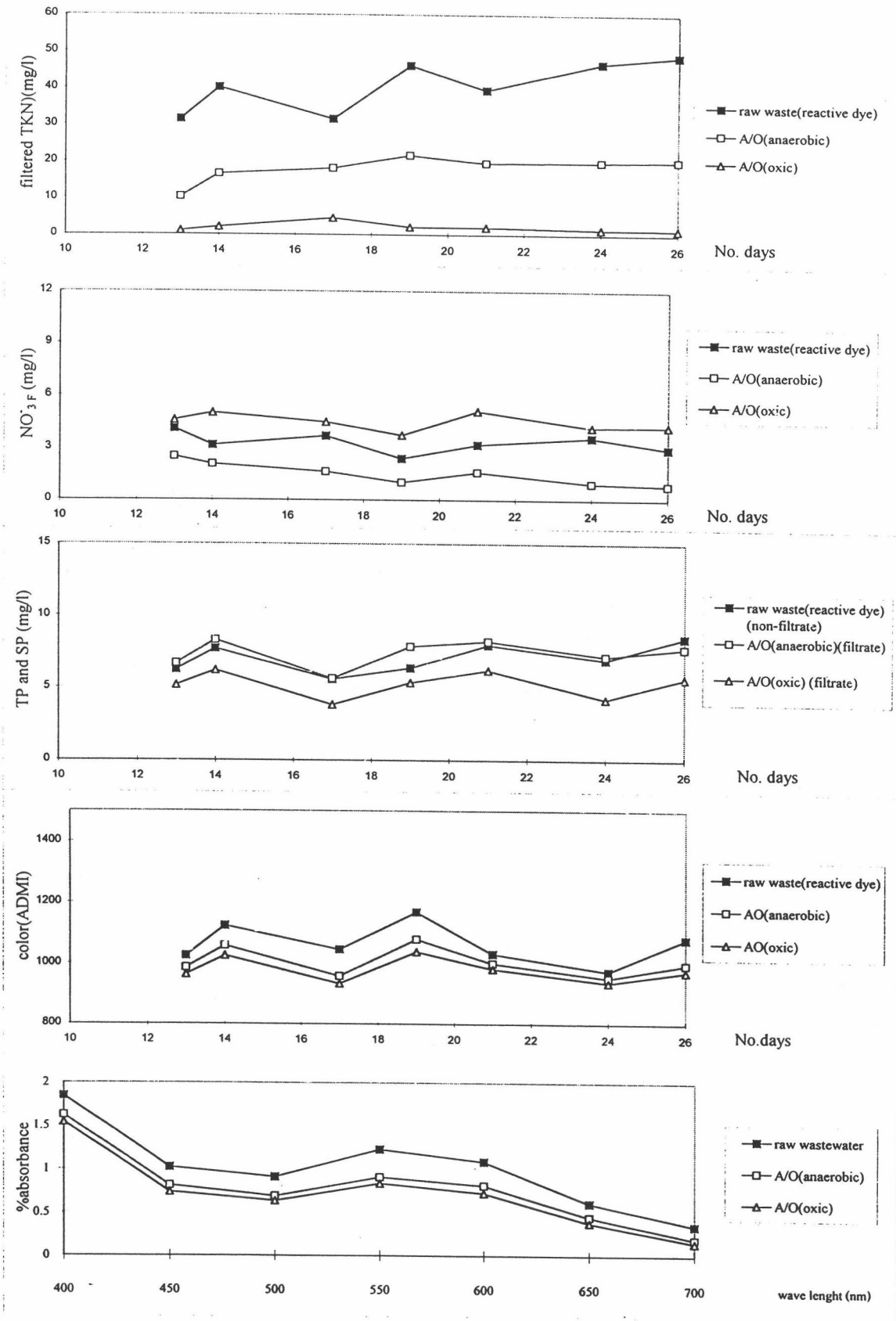
** วัดหลังจากระบายน้ำใสออกจากระบบฯ (effluent)



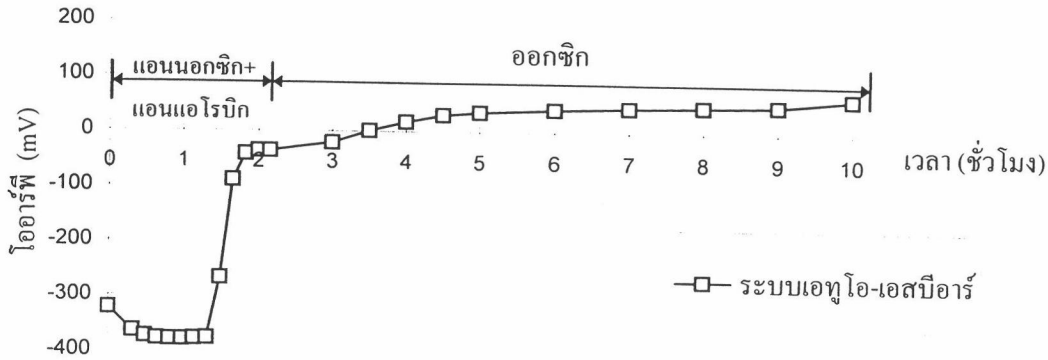
รูปที่ 4.30 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์



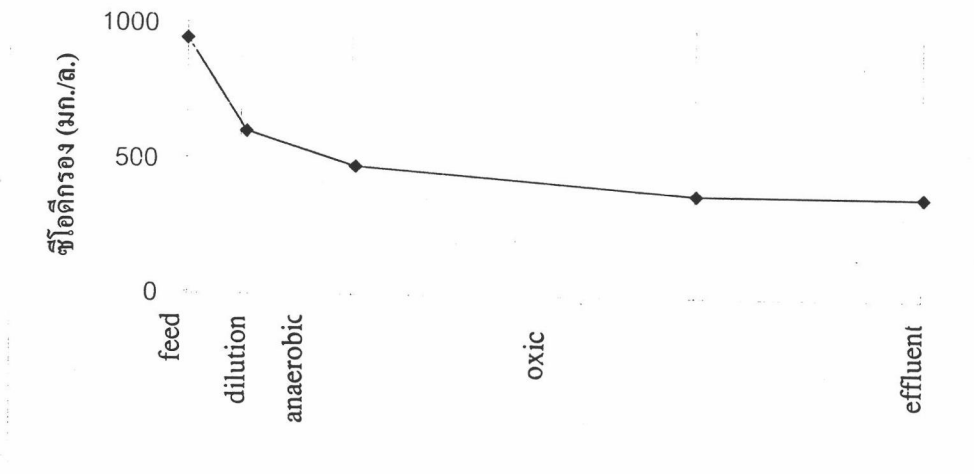
รูปที่ 4.30 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (ต่อ..)



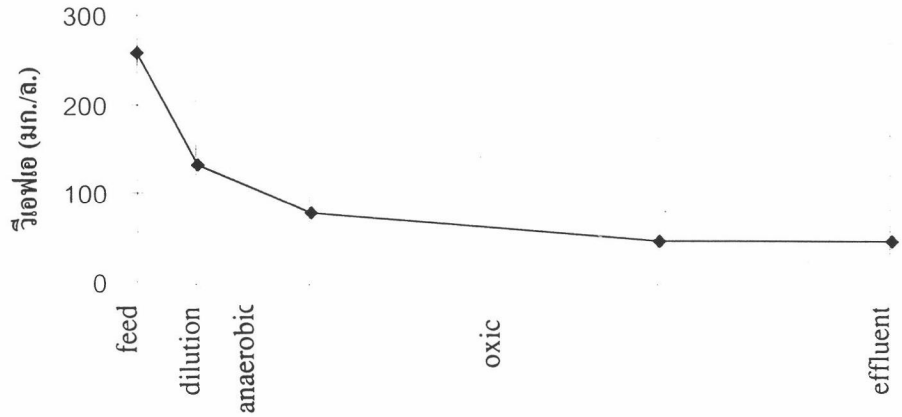
รูปที่ 4.30 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์



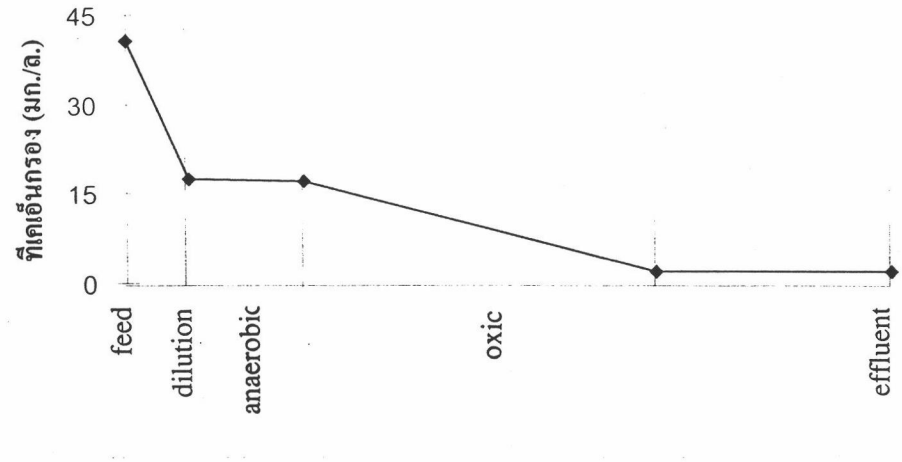
รูปที่ 4.31 โพรไฟล์โออาร์พีของระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ)



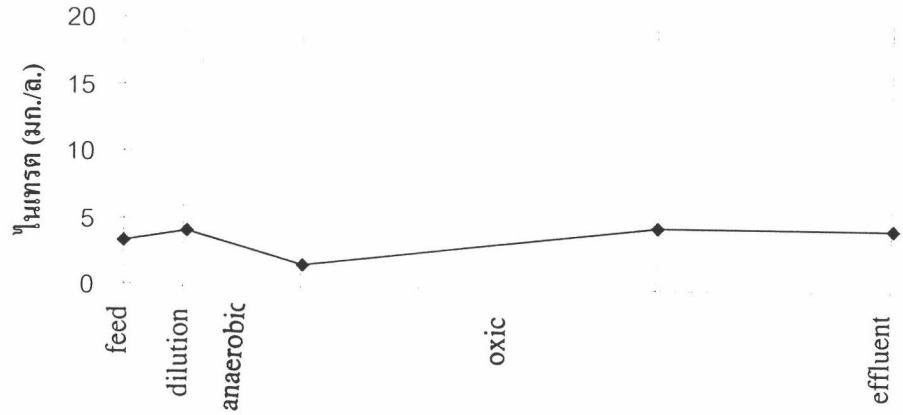
รูปที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยซีโอดีกรองที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ)



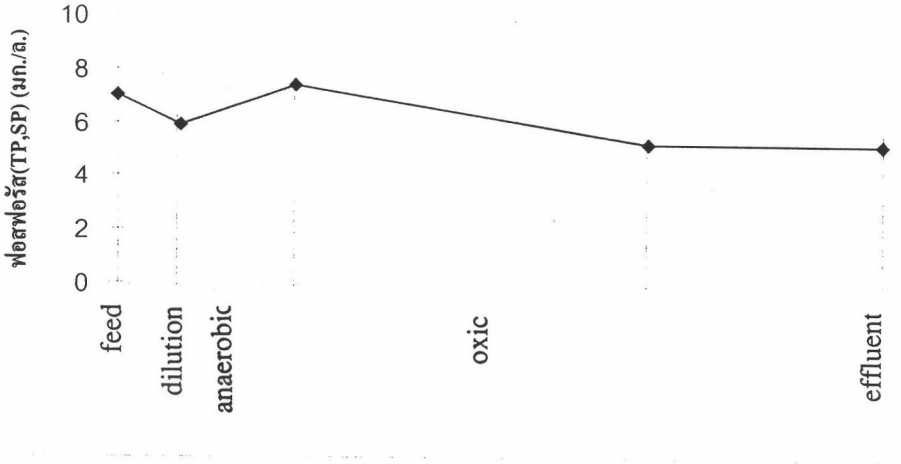
รูปที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยวีเอฟเอที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ)



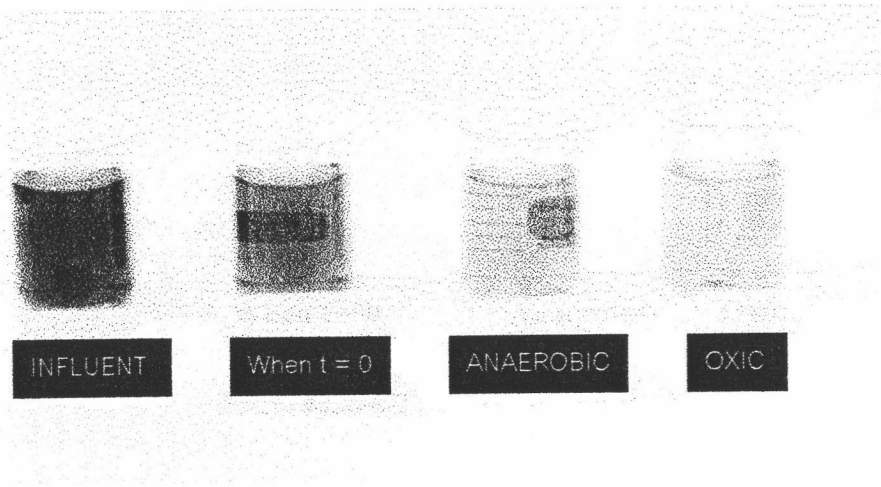
รูปที่ 4.34 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรองที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ)



รูปที่ 4.35 ค่าเฉลี่ยไนเทรตที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ)



รูปที่ 4.36 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัส(TP,SP)ที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ)



ภาพที่ 4.37 การเปรียบเทียบการกำจัดสีรีแอกทีฟช่วงการทำงานต่างๆกันของระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์

4.4 สีรีแอกทีฟที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนเสริม

สำหรับการทดลองชุดที่ 4 นี้แตกต่างจาก 3 ชุดการทดลองที่ผ่านมา โดยก่อนที่จะเริ่มทำการทดลองชุดที่ 4 นี้ จากการทดลองที่ผ่านมาทำให้สรุปเบื้องต้นได้ว่าระบบเอทูโอ-.เอสบีอาร์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีกว่าระบบเอสบีอาร์แบบธรรมดา และเพื่อต้องการที่จะทราบถึงช่วงเวลาการทำงานในขั้นตอนแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกที่เหมาะสมในการกำจัดสีรีแอกทีฟ โดยเก็บน้ำเสียมาจากกระบวนการฟอกย้อมเหมือนกับการทดลองชุดที่ 3 และได้มีการเติมแหล่งคาร์บอนเสริม ในที่นี้ได้ใช้กรดอะซิติกและน้ำตาลในปริมาณ 150 และ 350 มก./ล.ตามลำดับ โดยกำหนดให้ระบบฯมีขั้นตอนการทำงานในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกต่างกันส่วนช่วงออกซิก และการทำงานช่วงอื่นๆเท่ากัน คือ 20+2+2 และ 8+2+2 ชั่วโมง(1 และ 2 วัฏจักรต่อวันตามลำดับ) เพื่อต้องการที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสี สำหรับลักษณะต่างๆของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 4 นี้แสดงในตารางที่ 4.10

ตาราง 4.10 ลักษณะของน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนเสริม

พารามิเตอร์	มก./ล.
บีโอดี	550*
ซีโอดี	1492
ของแข็งแขวนลอย	53.18
พีเอช	6.89
ทีเคเอ็น	47.74
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	15.37
สี (หน่วย SU)	145.5
(หน่วย ADMI)	862.5

* เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์บีโอดี 3 ครั้งส่วนค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์อื่นๆวิเคราะห์ 6 ครั้ง

จากตารางข้างบนพบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีค่าบีโอดีเฉลี่ย 550 มก./ล. และซีโอดี 1492 มก./ล. โดยคิดเป็นอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีประมาณ 2.7 ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำเสียจากการทดลองชุดที่ 1 (สีดิสเพอร์ส) นอกจากนี้ปริมาณของแข็งแขวนลอย 53.18 มก./ล. ทีเคเอ็น 47.74 มก./ล. ฟอสฟอรัสทั้งหมด 15.37 มก./ล. และค่าสี 145.5 และ 862.5 ในหน่วย SU และ ADMI ตามลำดับ จากการสังเกตดูด้วยตาจะเห็นว่าน้ำเสียก่อนที่จะเข้าสู่ระบบฯมีความเข้มของสีน้ำเงินสูง และสีดังกล่าวเมื่อถูกกรองผ่านกระดาษกรองจะมีสีติดค้างบนกระดาษกรองน้อยกว่าสีดิสเพอร์สและซัลเฟอร์ แต่มีค่าของแข็งแขวนลอยใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเกิดจากน้ำเสียที่เก็บมาจากโรงงานฟอกย้อมมีสิ่งที่เกิดจากการลอกแป้งและคราบไขมันหลุดออกมาในรางเก็บน้ำเสีย ถึงแม้ว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯได้ผ่านการกรองด้วยตะแกรงตาข่ายชนิดถี่มาแล้วก็ตาม นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบฯมีค่าทีเคเอ็นสูงมากคิดเป็นอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น 31.2 : 1

4.4.2 การกำจัดสีที่มีช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิก 8+2 ชั่วโมง

ในการทดลองนี้ใช้น้ำเสียชนิดรีแอกทีฟที่มีการเติมสารอาหาร(น้ำตาลและกรดอะซิติก) ในที่นี้จะเรียกว่าน้ำเสียที่มีช่วงการทำงานแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกและออกซิก 8+2 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.38 จากตารางดังกล่าวได้แสดงพารามิเตอร์

ต่างๆของน้ำเสียในช่วงก่อนเข้าระบบ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก ตามลำดับ โดยช่วง t=0 นั้นคิดจากการดุลมวลของระบบฯเหมือนกันกับการทดลองชุดที่ 1 ถึง 3 จากตารางอธิบายได้ดังนี้คือ ช่วงอุณหภูมิของน้ำเสียในระหว่างทำการทดลองคือ 25.2-26.1 °C ซึ่งอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงมากนักและเนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวเก็บไว้ในตู้เย็น 4 °C ก่อนที่จะนำมาทดลอง ส่วนค่าพีเอชพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในช่วงก่อนเข้าระบบ ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก 6.9, 7.6 และ 8.4 ตามลำดับ การที่พีเอชเพิ่มขึ้นในช่วงออกซิกนั้นเกิดจากอะซิเทตถูกใช้ไปโดยแบคทีเรีย และมีสภาพด่าง 782.8, 865.8, 946.7 และ 921.2 มก./ล. ของน้ำเสียในช่วงก่อนเข้าระบบ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าโออาร์พีและดีโอซึ่งเป็นตัวที่สามารถบอกได้ว่าระบบฯอยู่ในสภาวะการทำงานแบบใด ในที่นี้พบว่าระบบฯนี้มีค่าโออาร์พี -366.2, -442 และ -43.3 มิลลิโวลท์ และดีโอ 0.15, .06 และ 6.4 มก./ล. ในช่วงก่อนเข้าระบบ ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก ตามลำดับ โดยจะพบว่าในช่วงออกซิกมีค่าโออาร์พีติดลบอยู่แม้ว่าจะมีค่าดีโอสูงก็ตาม ทั้งนี้เกิดจากมีการทำงานในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกนาน(8 ชั่วโมง) แต่มีช่วงออกซิกเพียง 2 ชั่วโมงทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในระบบฯเปลี่ยนไม่ทัน สำหรับระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ที่ใช้ในการทดลองนี้พบว่ามีค่า MLSS, V_{30} และ SVI เฉลี่ย 1030 มก./ล., 62 มล./ล. และ 60 มล./ก. ตามลำดับ

นอกจากนี้ระบบฯมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 55.4 % พบว่าค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ตำแหน่งทั้งสี่มีค่าเฉลี่ย 1492, 982.1, 875.9 และ 664.9 มก./ล. ตามลำดับ(ดูรูปที่ 4.39) โดยพบว่า 41.3 % เป็นซีโอดีที่ถูกกำจัดในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกซึ่งรวมซีโอดีที่เกิดจากการเจือจางของน้ำเสียเข้าระบบฯ แต่ถ้าไม่รวมซีโอดีที่เกิดจากการเจือจางด้วยแล้วช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกจะกำจัดซีโอดีได้เพียง 12.0 % และ 24.1 % เป็นซีโอดีที่ลดลงในช่วงออกซิก นอกจากนี้ระบบฯมีประสิทธิภาพการกำจัดวีเอฟเอสูง 86.8 % โดยมีปริมาณเฉลี่ย 501, 240, 122 และ 66 มก./ล.ตามลำดับ(ดูรูปที่ 4.40)

ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบฯคิดเป็น 58.2 % โดยมีค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรอง 47.7, 31.1, 28 และ 20 มก./ล.ที่ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำทั้งสี่ตามลำดับ(ดูรูปที่ 4.41) จากผลการทดลองนี้สามารถตั้งข้อสังเกตได้อย่างหนึ่งคือ การที่ระบบฯกำจัดซีโอดีและทีเคเอ็นได้น้อยเกิดจากการทำงานของระบบฯในช่วงออกซิกน้อยไปทำให้จุลินทรีย์ยังใช้สารอาหารไม่หมด แต่อย่างไรก็ตามการที่ใช้ระบบฯที่มีช่วงการทำงาน 8+2 ชั่วโมงนี้สามารถกำจัดไนเทรตและฟอสฟอรัสได้ดีกว่าที่ 2+8 ชั่วโมง ซึ่งไนเทรตที่ตำแหน่งทั้งสี่คิดเป็น 1.9, 2.1, 1.4 และ 2.3 มก./ล. ตามลำดับ(ดู

รูปที่4.42) และมีปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ย 15.4, 12.3, 16.7 และ 10.2 มก./ล. ตามลำดับ(ดูรูปที่ 4.43) แต่อย่างไรก็ตามระบบฯที่ใช้ในการทดลองนี้ยังไม่สามารถกำจัดไนเตรทและฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ

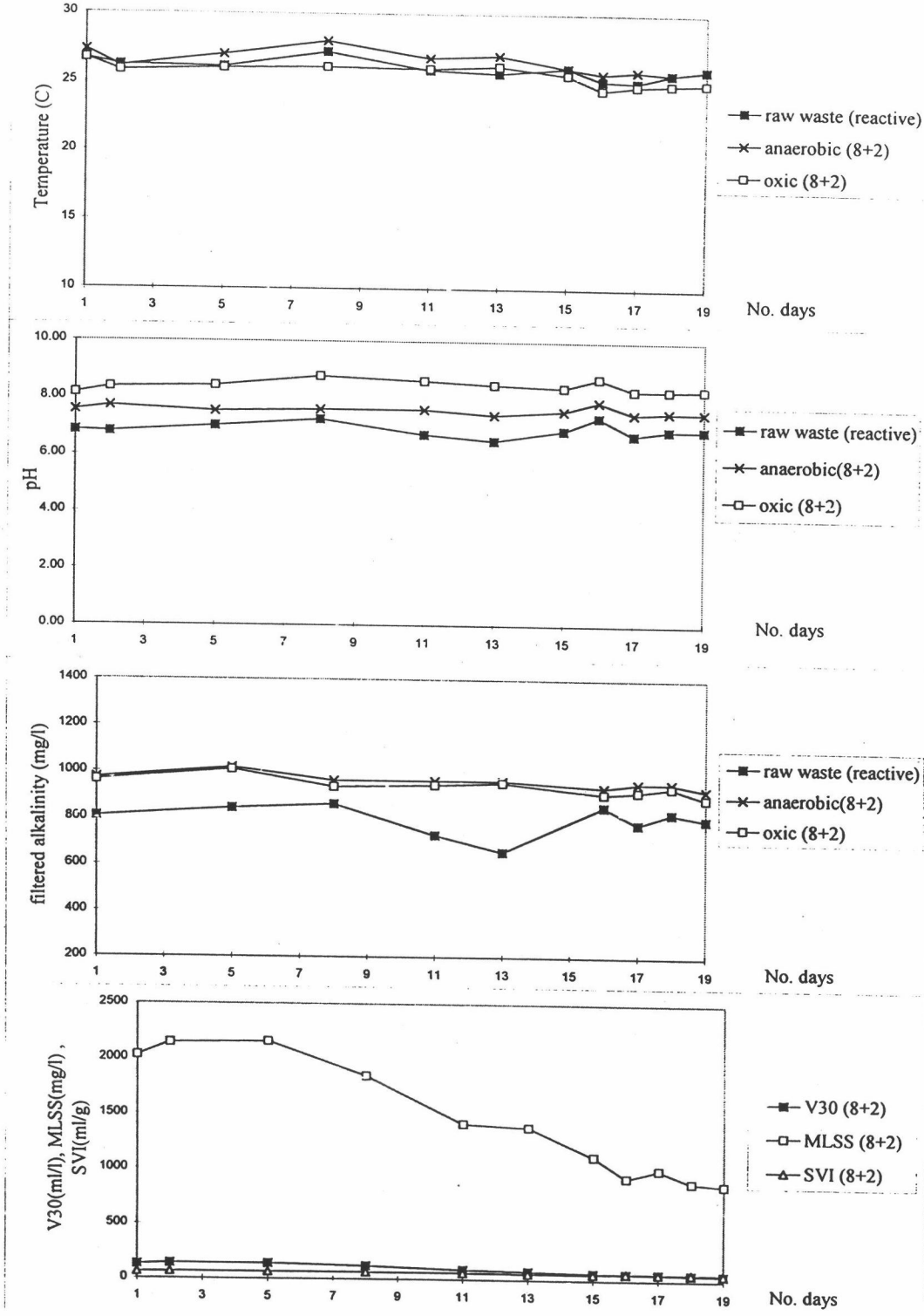
ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ (ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ ; สีรีแอกทีฟ; 8+2)(n=6)*

พารามิเตอร์	น้ำเข้าระบบ	เมื่อ t = 0	แอนนอกซิก+แอนแอโรบิก		แอโรบิก		ประสิทธิภาพของระบบฯ(%)
			ค่าเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ(%)	ค่าเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ(%)	
อุณหภูมิ	25.6	-	26.1	-	25.2	-	-
พีเอช	6.9	-	7.6	-	8.4	-	-
สภาพด่าง(มก./ล.)	782.8	865.8	946.9	-	921.2	-	-
ดีโอ(มก./ล.)	0.2	-	0.1	-	6.4	-	-
โออาร์พี(มิลลิโวท์)	-366.2	-	-442.0	-	-43.3	-	-
ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)	53.2	-	-	-	**45.7	-	-
เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.)	-	-	-	-	1030.8	-	-
วี 30 (มล./ล.)	-	-	-	-	61.7	-	-
เอ็สวีไอ (มก./ล.)	-	-	-	-	60.0	-	-
กรดไขมันระเหย(มก./ล.)	501.0	240.0	122.0	49.2	66.0	45.9	86.8
ซีโอดี (มก./ล.)	1492.0	982.1	875.9	12.0	664.9	24.1	55.4
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	47.7	31.1	28.0	10.1	20.0	28.6	58.2
ไนเตรท (มก./ล.)	1.9	2.1	1.4	32.9	2.3	-59.3	-19.2
ฟอสฟอรัสทั้งหมด(มก./ล.)	15.4	-	-	-	-	-	-
ฟอสฟอรัส (กรอง)(มก./ล.)	-	12.3	16.7	-36.2	10.2	38.9	33.5
สี (หน่วย SU)	145.5	-	133.2	8.5	103.0	22.7	29.4
(หน่วย ADMI)	862.5	-	750.1	13.0	720.7	3.9	16.4

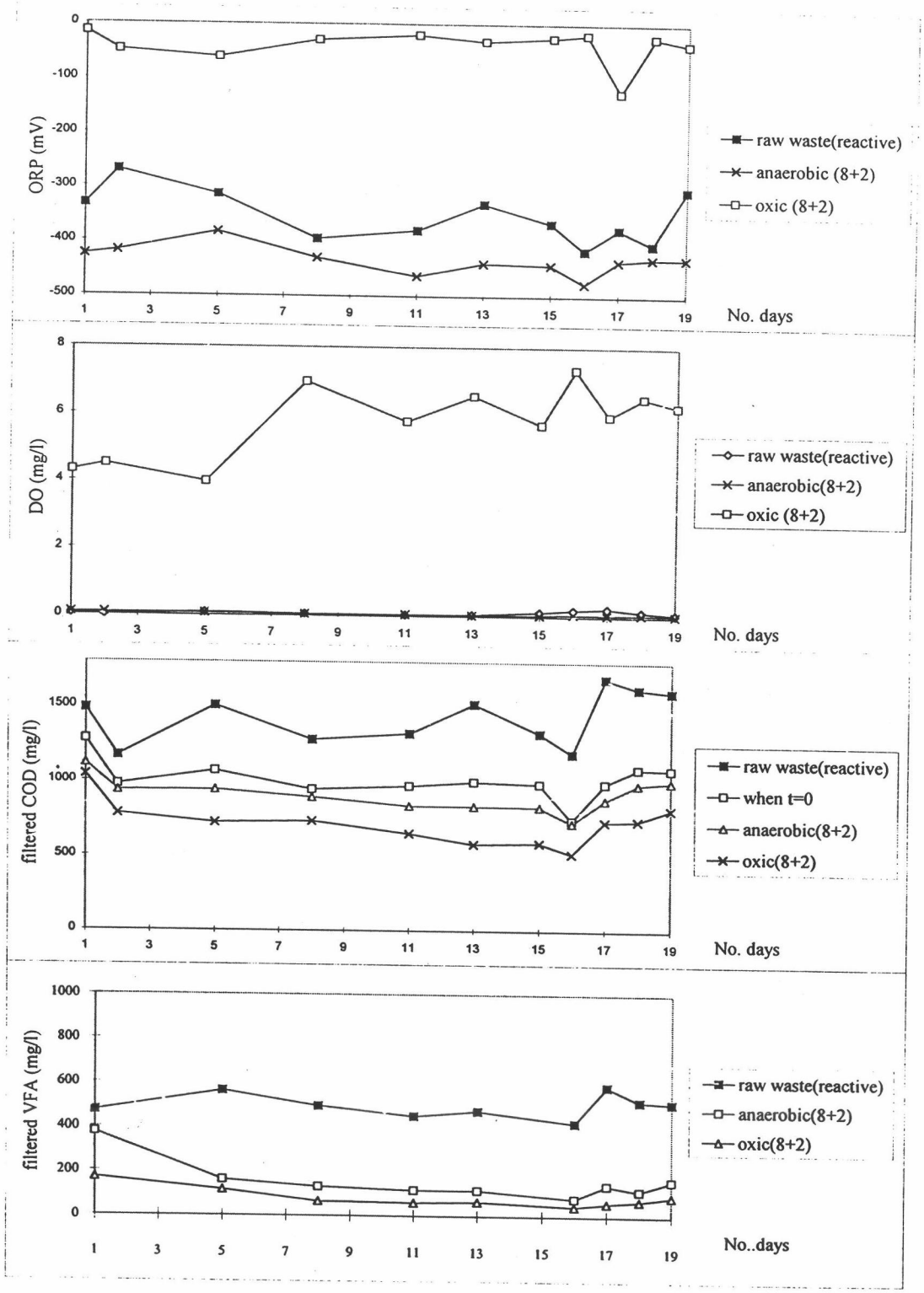
* วัดหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ววิเคราะห์พารามิเตอร์ต่อเนื่องอีก 6 วัน

** วัดหลังจากระบายน้ำใสออกจากระบบฯ (effluent)

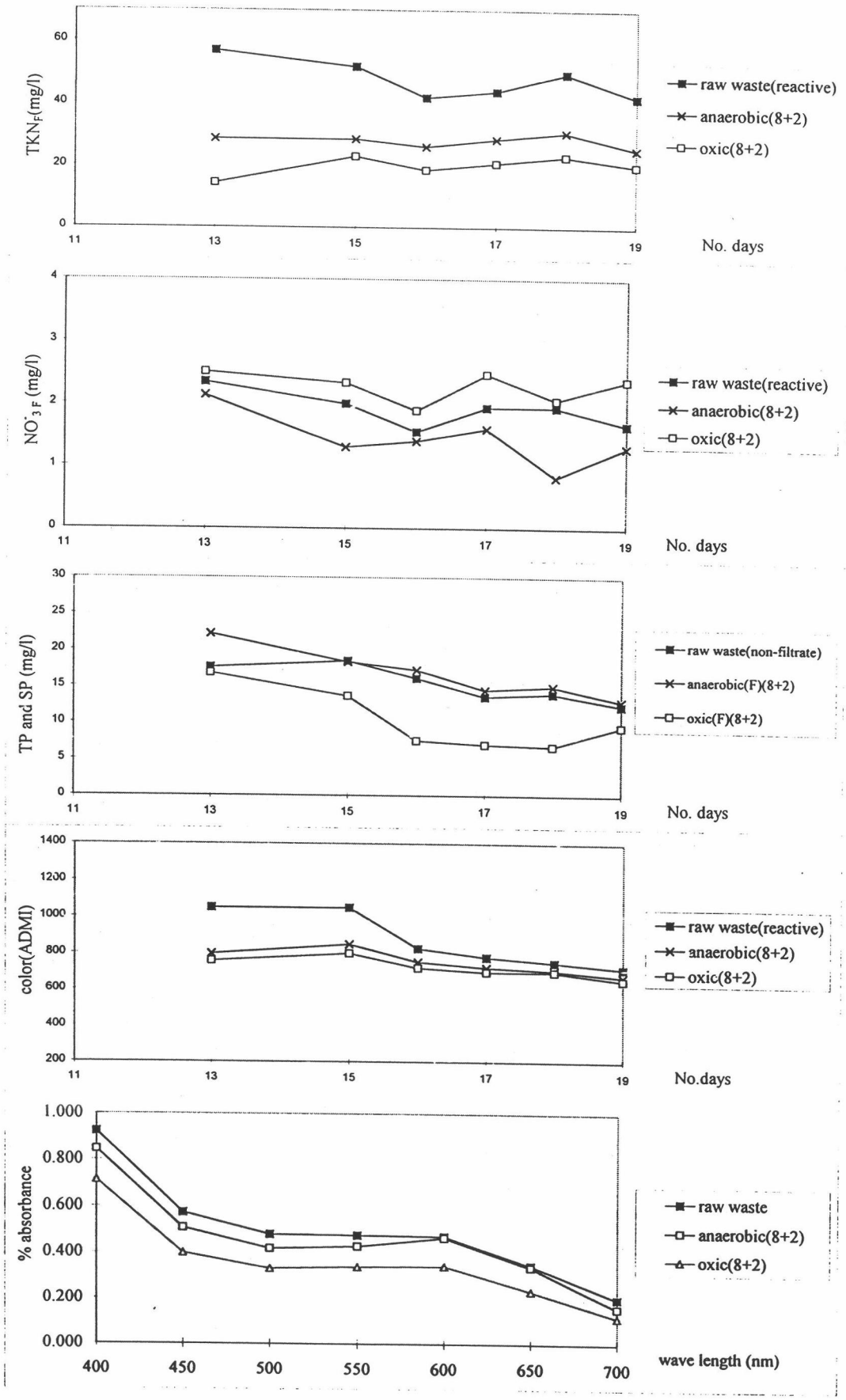
สำหรับค่าสีที่วัดออกมาที่ตำแหน่งต่างๆมีค่าเฉลี่ย 145.5, 133.2 และ 103 ในหน่วย SU และ 862.5, 750.1 และ 720.7 ในหน่วย ADMI ตามลำดับ โดยคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสีเฉลี่ย 29.2 และ 16.4 % ในหน่วย SU และ ADMI ตามลำดับ (ดูภาพ 4.44)



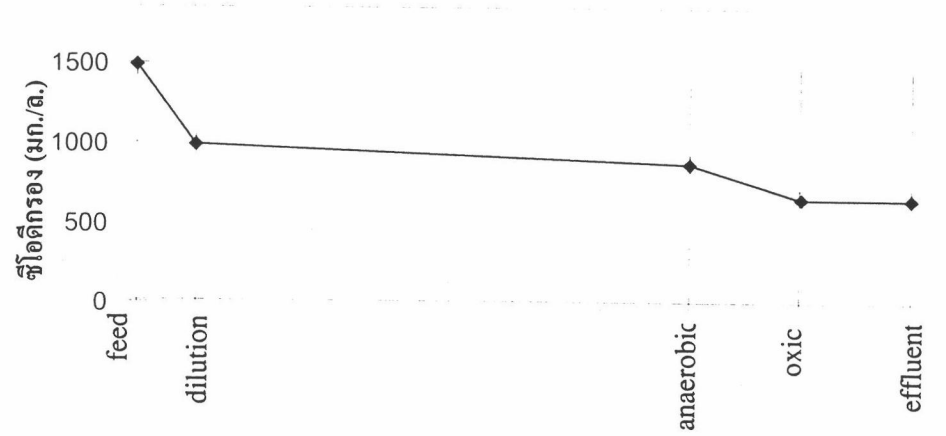
รูปที่ 4.38 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (8+ 2 ชั่วโมง)



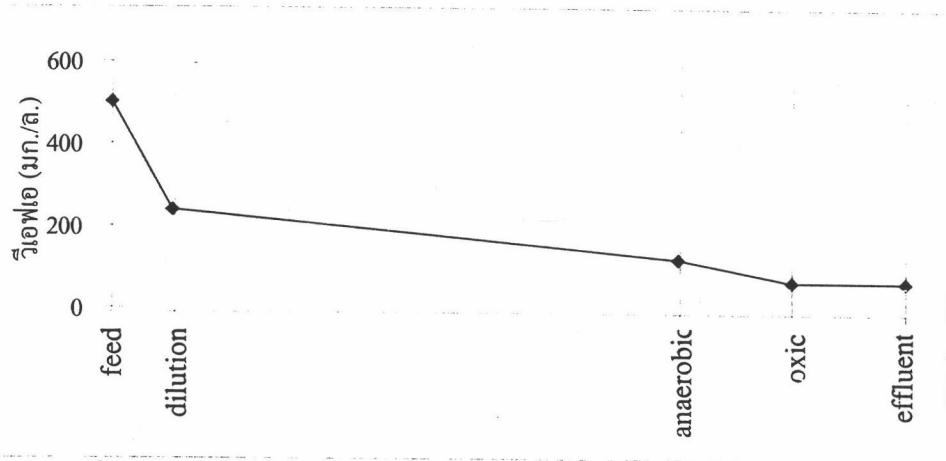
รูปที่ 4.38 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (8 + 2 ชั่วโมง) ต่อ..



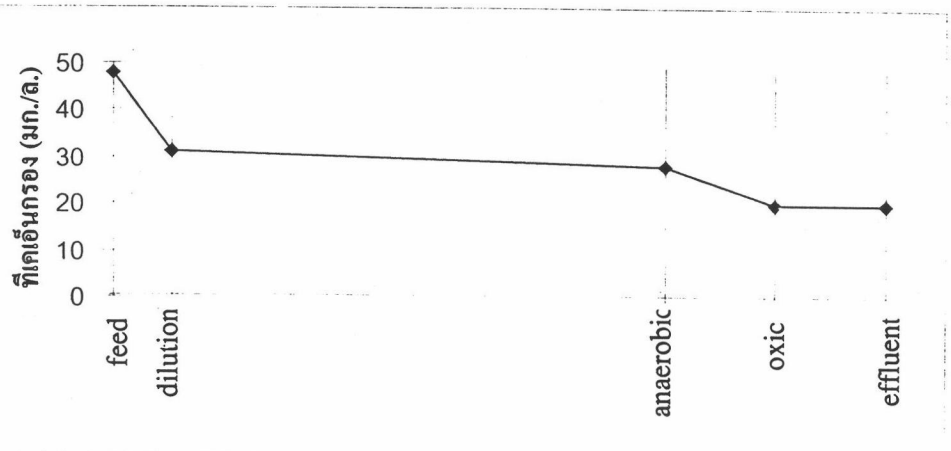
รูปที่ 4.38 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอทูโอ–เอสบีอาร์ (8 + 2 ชั่วโมง)



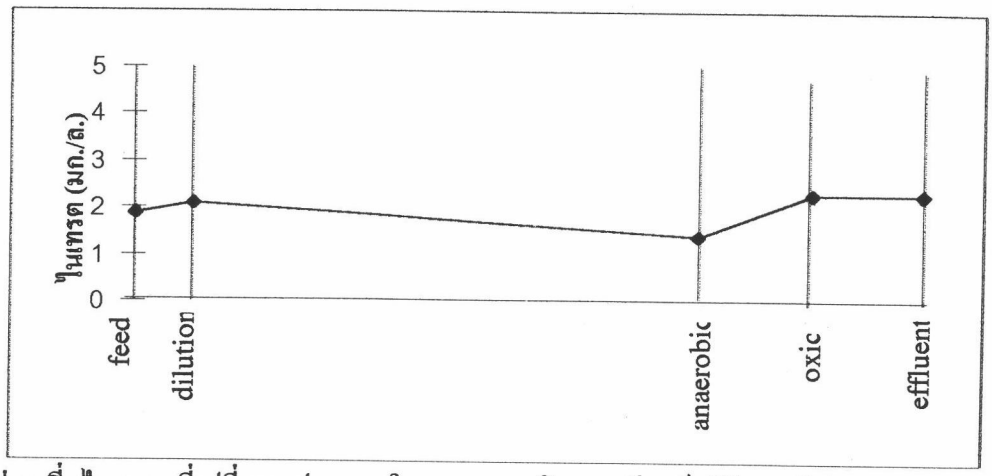
รูปที่ 4.39 ค่าเฉลี่ยซีโอดีกรองที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ; (8+2))



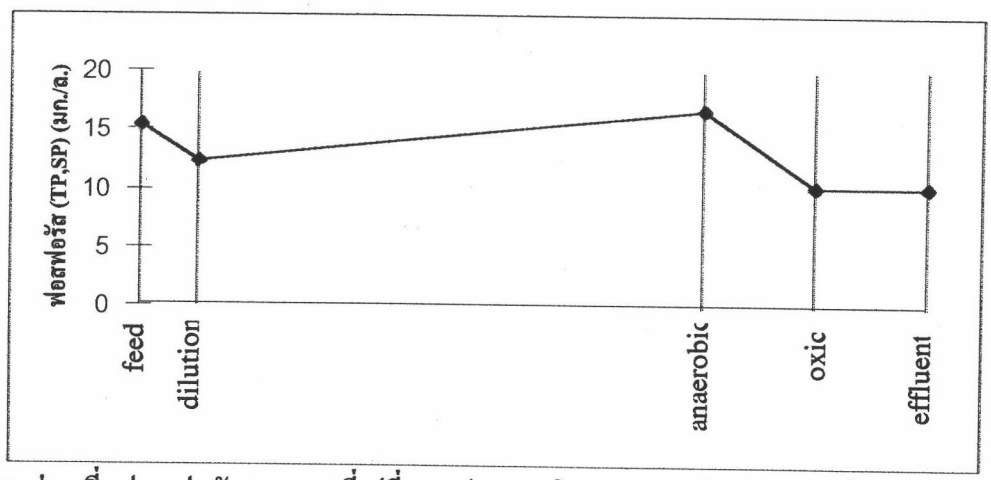
รูปที่ 4.40 ค่าเฉลี่ยวีเอฟเอที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ; (8+2))



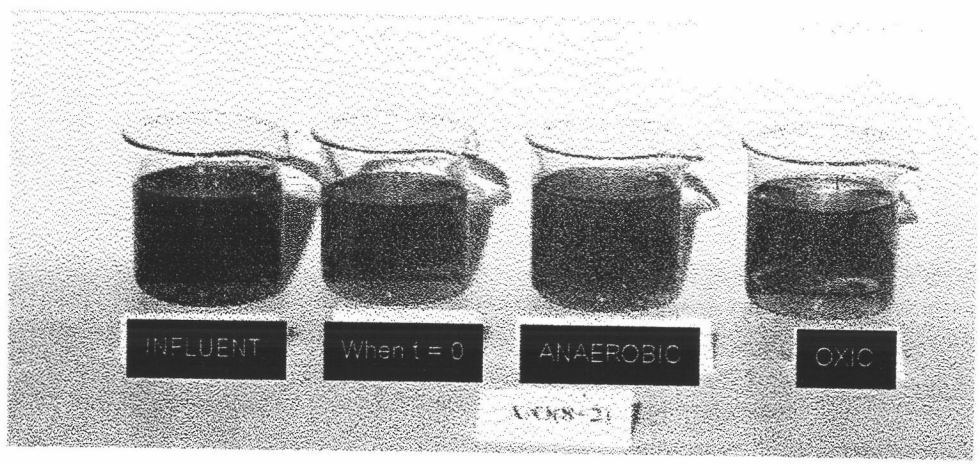
รูปที่ 4.41 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรองที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ; (8+2))



รูปที่ 4.42 ค่าเฉลี่ยไนเทรตที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ; (8+2))



รูปที่ 4.43 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัส(TP,SP)ที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ; (8+2))



ภาพที่ 4.44 การเปรียบเทียบการกำจัดสีรีแอกทีฟช่วงการทำงานต่างๆกันของระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (8+2)

4.4.3 การกำจัดสีที่มีช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิก 20+2 ชั่วโมง

ในการทดลองกำจัดสีจากน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟที่มีการเติมสารอาหาร (น้ำตาลและกรดอะซิติก) ในที่นี้จะเรียกว่าน้ำเสียที่มีช่วงการทำงาน 20+2 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.45 จากตารางดังกล่าวได้แสดงพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียในช่วงก่อนเข้าระบบ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก ตามลำดับ รายละเอียดมีดังต่อไปนี้ ช่วงอุณหภูมิของน้ำเสียในระหว่างทำการทดลองคือ 24-26 °C ซึ่งอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงมากนักทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น 4 ° C ก่อนนำมาทดลอง ส่วนค่าพีเอชพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในช่วงก่อนเข้าระบบ ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก 6.89, 7.7 และ 8.7 ตามลำดับ ซึ่งพีเอชที่เพิ่มขึ้นในช่วงออกซิกเกิดจากอะซิเทตถูกใช้ไปเช่นเดียวกัน และมีสภาพด่าง 782.8, 889, 976.2 และ 959.7 มก./ล. ของน้ำเสียในช่วงก่อนเข้าระบบ, เมื่อเวลา t=0, ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าโออาร์พีและดีโอซึ่งเป็นตัวที่สามารถบอกได้ว่าระบบฯอยู่ในสภาวะการทำงานแบบใด ในที่นี้พบว่าระบบฯนี้มีค่าโออาร์พี -366.2, -455 และ -8.2 มิลลิโวลท์ และดีโอ 0.15, .06 และ 7.63 มก./ล. ในช่วงก่อนเข้าระบบ ช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิก และช่วงออกซิก ตามลำดับ โดยจะพบว่าในช่วงออกซิกมีค่าโออาร์พีติดลบอยู่แม้ว่าจะมีค่าดีโอสูงก็ตาม ทั้งนี้เกิดจากมีการทำงานในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกนานมาก (20 ชั่วโมง) แต่มีช่วงออกซิกเพียง 2 ชั่วโมงทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในระบบฯเปลี่ยนไม่ทัน สำหรับระบบเอทูโอ_เอสบีอาร์ที่ใช้ในการทดลองนี้พบว่ามีค่า MLSS, V_{30} และ SVI เฉลี่ย 1101 มก./ล., 66 มล./ล. และ 60 มล./ก. ตามลำดับ ซึ่งจากการสังเกตลักษณะฟล็อกที่เกิดขึ้นในระบบฯ จะมีทั้งขนาดใหญ่และเล็กปนกัน โดยเม็ดฟล็อกที่มีขนาดเล็กจะจมอยู่ชั้นบนของถังปฏิกิริยา

นอกจากนี้ระบบฯมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 61.2 % พบว่าค่าเฉลี่ยซีโอดีในน้ำเสียที่ตำแหน่งทั้งสี่เท่ากับ 1492, 941.6, 754.2 และ 579.3 มก./ล. ตามลำดับ (ดูรูป 4.46)โดยพบว่า 49.5 % เป็นซีโอดีที่ลดลงในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกซึ่งรวมซีโอดีที่ลดลงจากการเจือจางของน้ำเสียด้วย แต่ถ้าคิดเฉพาะซีโอดีที่ถูกกำจัดในช่วงแอนนอกซิก+แอนแอโรบิกอย่างเดียวซีโอดีจะถูกกำจัดลดลงเพียง 20.1 % และ 23.2 % เท่านั้นที่ถูกกำจัดในช่วงออกซิก การที่ซีโอดีถูกกำจัดในช่วงอกซิกได้น้อยนั้นเนื่องจากเวลาทำงานในช่วงดังกล่าวน้อยไป(เพียง 2 ชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งในการทดลองชุดนี้ไม่ได้เน้นการกำจัดซีโอดีแต่เน้นการกำจัดสีอย่างเดียว) นอกจากนี้ยังพบว่าระบบฯ

มีประสิทธิภาพการกำจัดวีเอฟเอสูงถึง 90.2 % โดยมีปริมาณวีเอฟเอที่ตำแหน่งทั้งสี่ดังนี้คือ 501.0, 229.8, 113 และ 49 มก./ล.ตามลำดับ(ดูรูปที่ 4.47)

ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบฯคิดเป็น 52.02 % โดยมีค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรอง 47.7, 32.8, 30.1 และ 22.9 มก./ล. ตามลำดับ(ดูรูปที่ 4.48) จากผลการทดลองนี้สามารถตั้งข้อสังเกตได้อย่างหนึ่งคือ การที่ระบบฯกำจัดซีโอดีและทีเคเอ็นได้น้อยเกิดจากการทำงานของระบบฯในช่วงออกซิกน้อยไปทำให้จุลินทรีย์ยังใช้สารอาหารไม่หมด แต่อย่างไรก็ตามการที่ใช้ระบบฯที่มีช่วงการทำงาน 20+2 ชั่วโมงนี้สามารถกำจัดไนเทรตและฟอสฟอรัสได้ดีกว่าที่ 2+8 และ 8+2 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยไนเทรตที่ตำแหน่งทั้งสี่เท่ากับ 1.9, 2.1, 1.0 และ 2.3 มก./ล.ตามลำดับ(ดูรูปที่ 4.49) และมีปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ย 15.4, 11.5, 18.7 และ 8.9 มก./ล. ตามลำดับ(ดูรูปที่ 4.50) ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส 41.9 % แต่อย่างไรก็ตามระบบฯที่ใช้ในการทดลองนี้ยังไม่สามารถกำจัดไนเทรตและฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ

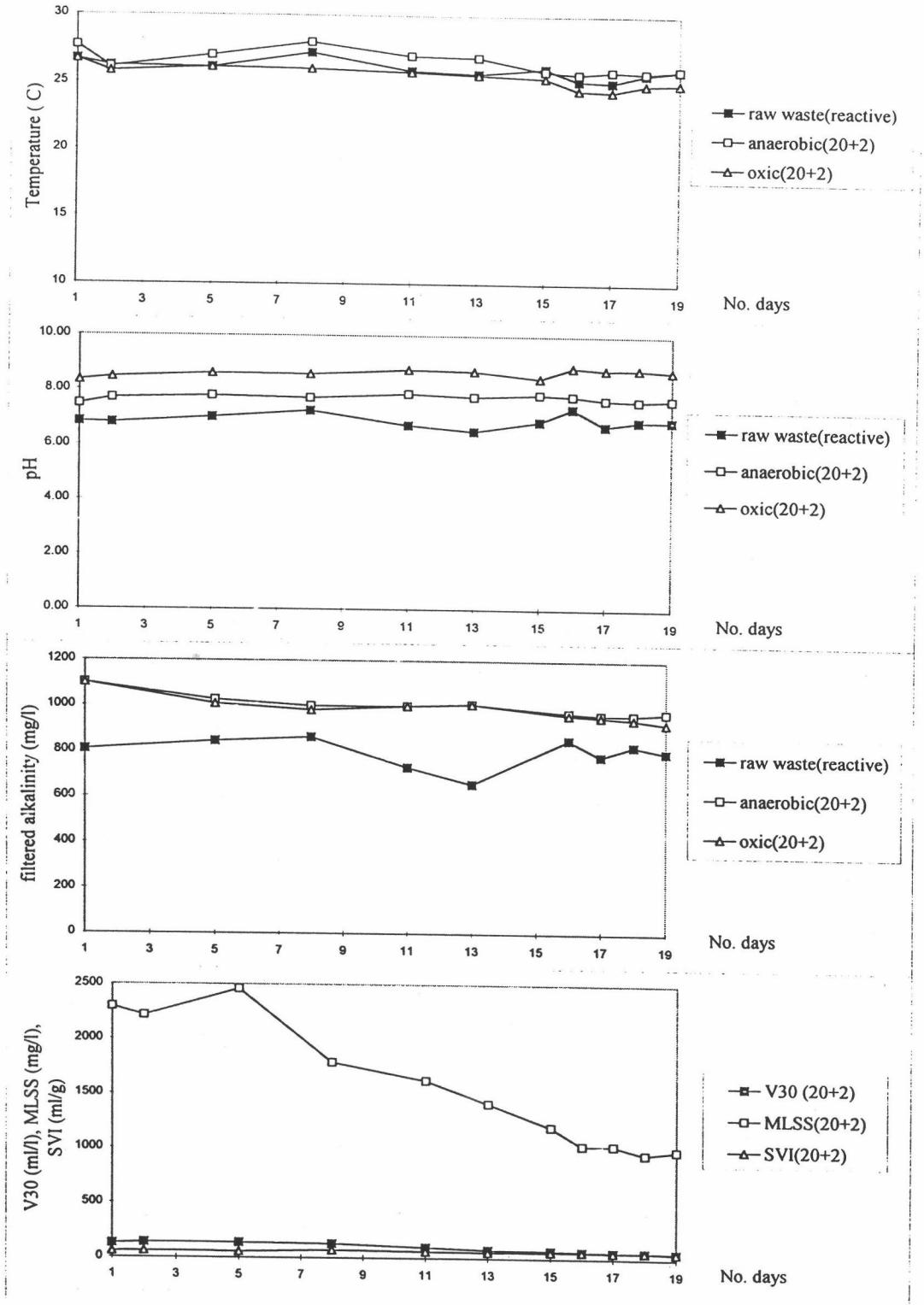
สำหรับค่าสีที่วัดออกมาที่ตำแหน่งต่างๆมีค่าเฉลี่ย 145.5, 117 และ83.3 ในหน่วย SU และ 862.5, 750.6 และ 699 ในหน่วย ADMI ตามลำดับ โดยคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสีเฉลี่ย 42.8 และ 19 % ในหน่วย SU และ ADMI ตามลำดับ (ดูภาพ 4.51)

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ (ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ ; สีรีแอกทีฟ; 20+2)(n=6)*

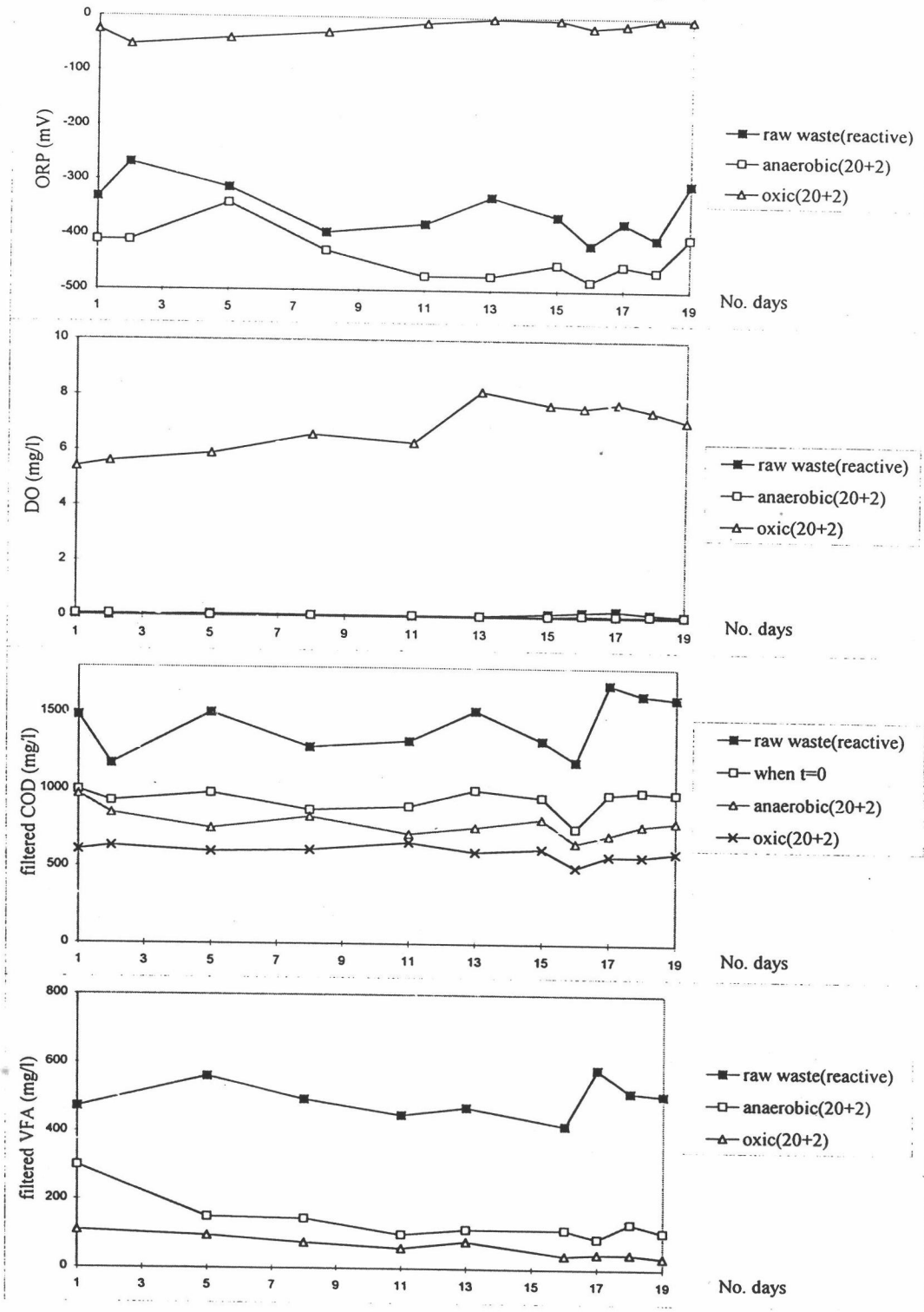
พารามิเตอร์	น้ำเข้าระบบ	เมื่อ t = 0	แอนนอกซิก+แอนแอโรบิก		แอโรบิก		ประสิทธิภาพของระบบฯ(%)
			ค่าเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ(%)	ค่าเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ(%)	
อุณหภูมิ	25.6	-	26.0	-	25.0	-	-
พีเอช	6.9	-	7.7	-	8.7	-	-
สภาพด่าง(มก./ล.)	782.8	889.0	976.2	-	959.7	-	-
ดีโอ(มก./ล.)	0.2	-	0.1	-	7.6	-	-
โออาร์พี(มิลลิโวท์)	-366.2	-	-455.0	-	-8.2	-	-
ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)	53.2	-	-	-	**49.03	-	-
เอ็มแอลเอสเอส(มก./ล.)	-	-	-	-	1101.2	-	-
วี 30 (มล./ล.)	-	-	-	-	65.8	-	-
เอ็สวีไอ (มก./ล.)	-	-	-	-	59.9	-	-
กรดไขมันระเหย(มก./ล.)	501.0	229.8	113.0	50.8	49.0	56.6	90.2
ซีโอดี (มก./ล.)	1492.0	945.6	754.2	20.1	579.3	23.2	61.2
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	47.7	32.8	30.1	8.3	22.9	23.9	52.0
ไนเตรท (มก./ล.)	1.9	2.1	1.0	52.1	2.3	-123.7	-19.8
ฟอสฟอรัสทั้งหมด(มก./ล.)	15.4	-	-	-	-	-	-
ฟอสฟอรัส (กรอง)(มก./ล.)	-	11.5	18.7	-62.2	8.9	52.1	41.9
สี (หน่วย·SU)	145.5	-	117.0	19.6	83.3	28.9	42.8
(หน่วย ADMI)	862.5	-	750.6	13.0	699.0	6.9	19.0

* วัดหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ววิเคราะห์พารามิเตอร์ต่อเนื่องอีก 6 วัน

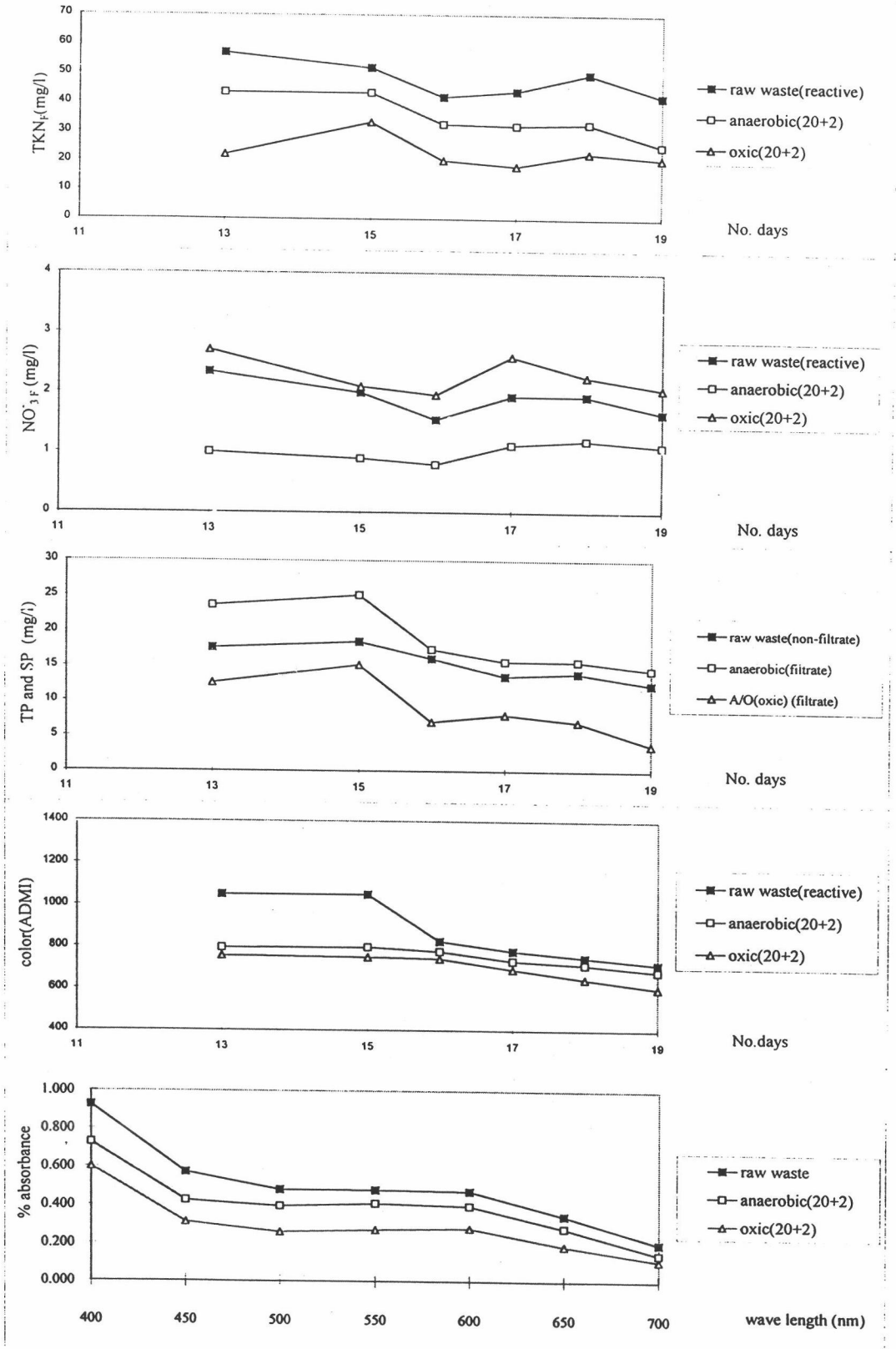
* *วัดหลังจากระบายน้ำใสออกจากระบบฯ (effluent)



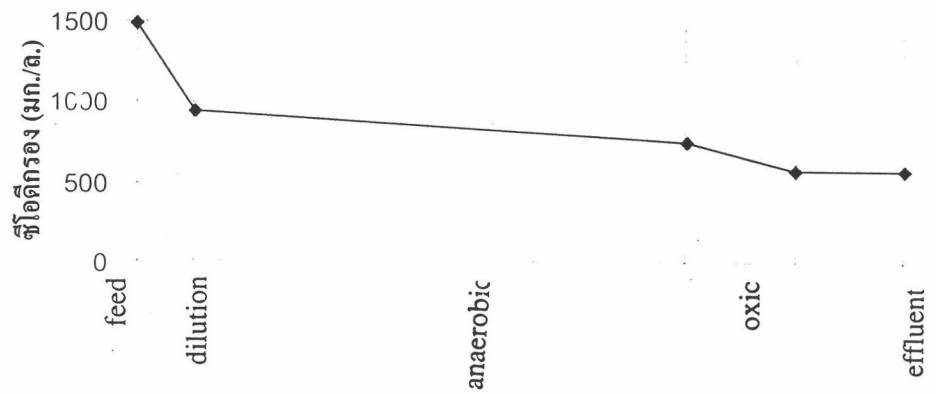
รูปที่ 4.45 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (20 + 2 ชั่วโมง)



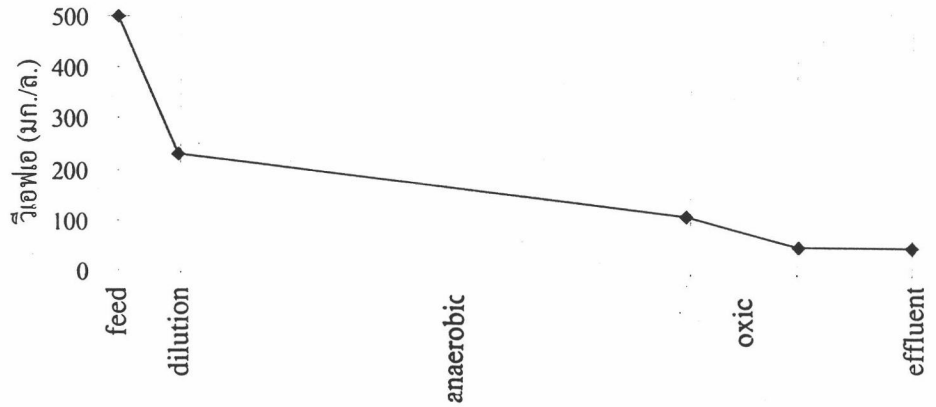
รูปที่ 4.45 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (20 + 2 ชั่วโมง) ต่อ..



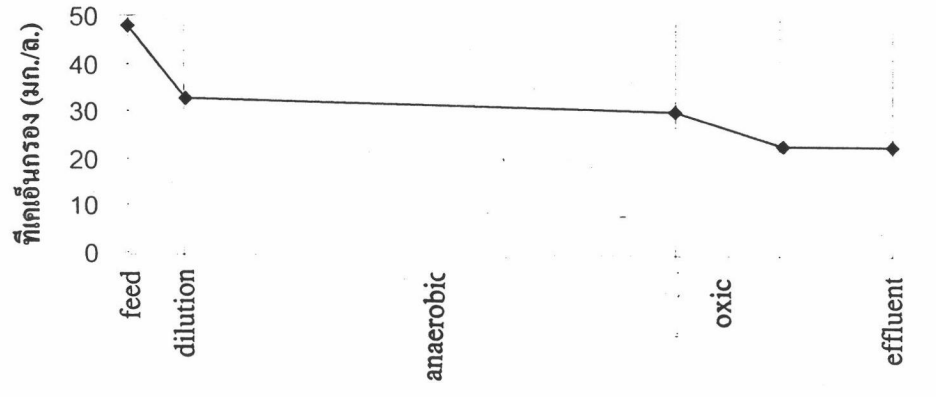
รูปที่ 4.45 ผลการทดลองกับน้ำเสียชนิดสีรีแอกทีฟโดยใช้ระบบเอทูโอ–เอสบีอาร์ (20 + 2 ชั่วโมง)



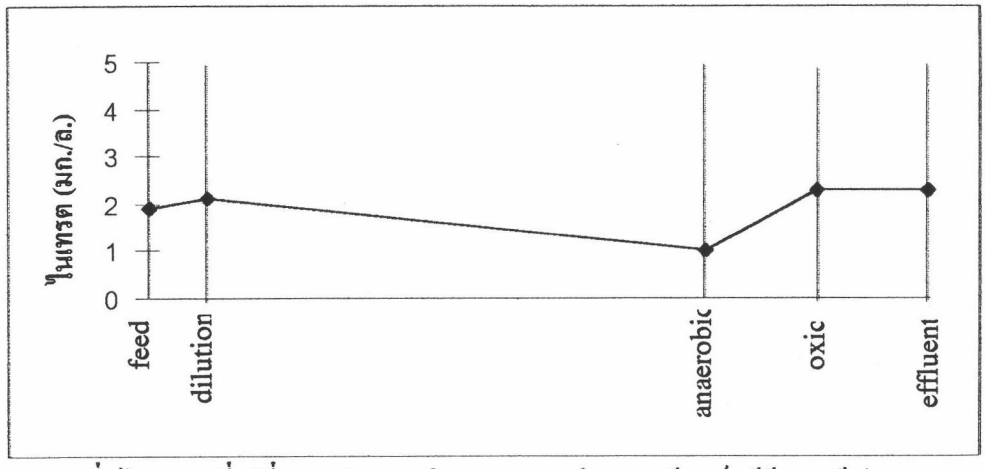
รูปที่ 4.46 ค่าเฉลี่ยซีโอดีที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ; (20+2))



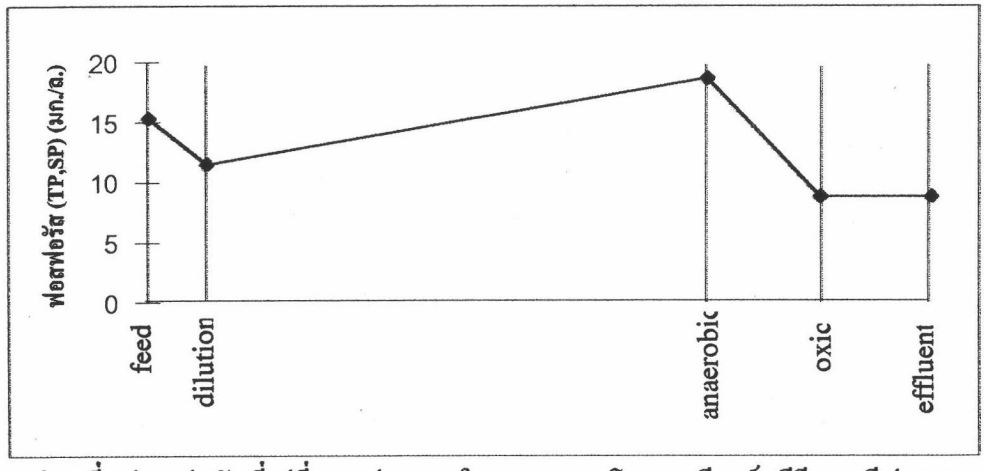
รูปที่ 4.47 ค่าเฉลี่ยวีเอฟเอที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ; (20+2))



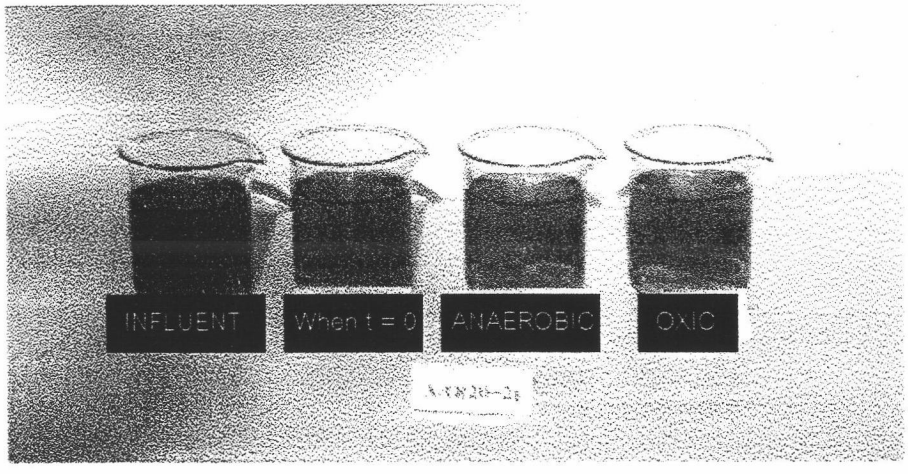
รูปที่ 4.48 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นกรองที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ; (20+2))



รูปที่ 4.49 ค่าเฉลี่ยไนเทรตที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ; (20+2))



รูปที่ 4.50 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (สีรีแอกทีฟ; (20+2))



ภาพที่ 4.51 การเปรียบเทียบการกำจัดสีรีแอกทีฟช่วงการทำงานต่างๆกันของระบบเอทูโอ-เอสบีอาร์ (20+2)