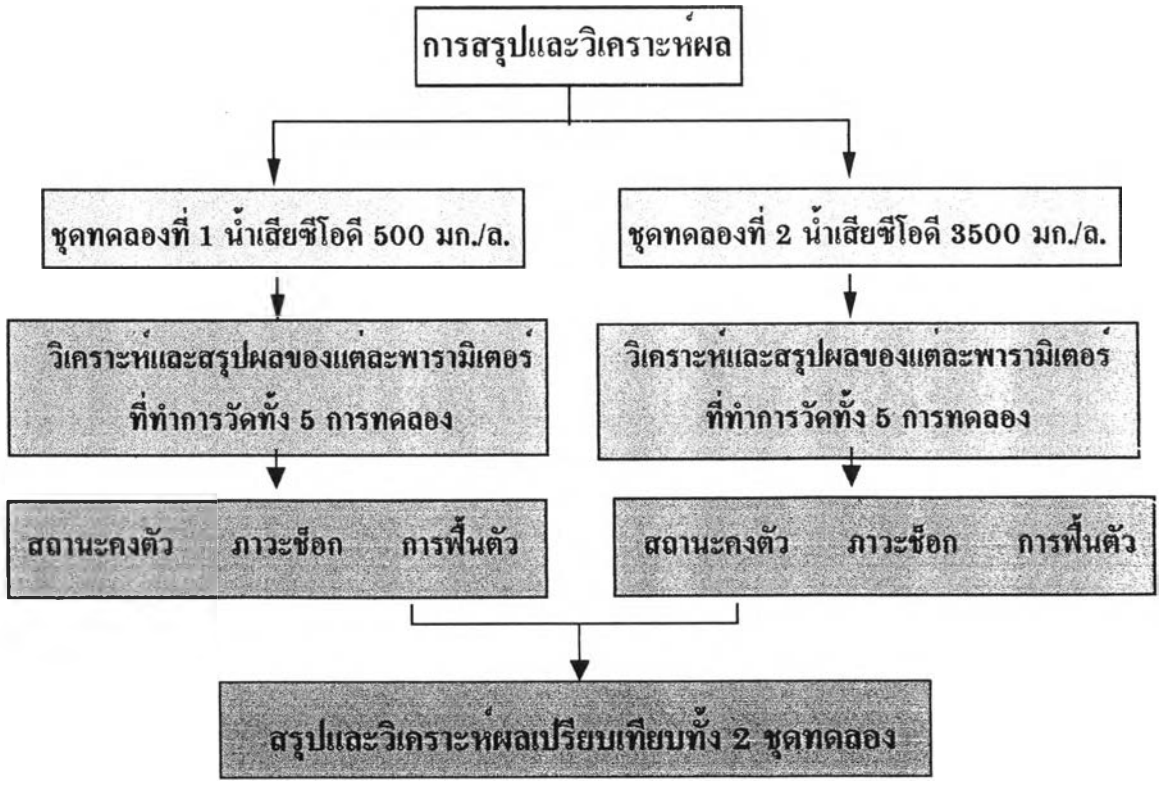
บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

บทนี้เป็นการนำผลวิจัยที่ได้มาสรุปและวิเคราะห์ผล โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุดทดลอง ในแต่ละชุดทดลองได้อธิบายถึงผลการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งสิ้น 15 พารามิเตอร์ ซึ่งแต่ละพารามิเตอร์ได้สรุปและวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 5 ครั้งของแต่ละชุดทดลอง โดยแยกกรณีศึกษาการทำงานของระบบเป็น 3 สภาวะ ได้แก่ สถานะคงตัว ภาวะช็อก และการฟื้นตัว

จากนั้นนำสรุปและการวิเคราะห์ผลของทั้ง 2 ชุดทดลอง มาเปรียบเทียบกัน โดยขั้นตอนต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วนั้นสรุปได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งสรุปและการวิเคราะห์ผลของชุดทดลองทั้ง 2 ชุด มีดังนี้



รูปที่ 4-1 ขั้นตอนการสรุปและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลชุดทดลองที่ 1

ชุดทดลองที่ 1 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 500 มก./ล. ทีเคเอ็น 40 มก./ล. และฟอสฟอรัส 10 มก./ล. ทำการทดลอง 5 ครั้ง โดยแปรค่าความเข้มข้นสังกะสีที่ 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. และในทุกการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวทำการช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. และสังเกตการฟื้นตัวของระบบ ผลการทดลองในการวัดพารามิเตอร์ต่างๆมีดังนี้

4.1.1 อุณหภูมิ

การวัดค่าอุณหภูมิของระบบทำการวัดที่ถังพักน้ำเสีย ถังแอนีอกซิก ถังออกซิก และถังตกตะกอน ซึ่งการเสนอผลในแต่ละการทดลองได้ทำการเฉลี่ยค่าตั้งแต่ช่วงสถานะคงตัวไปจนถึงช่วงการฟื้นตัวของระบบ จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในถังพักน้ำเสีย ถังแอนีอกซิก ถังออกซิก และถังตกตะกอน มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 25.7 ถึง 28.1, 25.8 ถึง 30.3, 25.2 ถึง 29.1 และ 24.3 ถึง 28.7 องศาเซลเซียส ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-1

ลักษณะโดยรวมของทุกการทดลองมีความคล้ายกันคือ เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ถังแอนีอกซิกแล้วมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากมีการถ่ายเทความร้อนจากมอเตอร์ที่ใช้กวนของเหลวผสมภายในถัง จากนั้นอุณหภูมิของระบบลดต่ำลงที่ถังออกซิกแม้ว่าภายในถังนี้จะมีการถ่ายเทความร้อนจากเครื่องกวนเช่นกัน แต่เนื่องจากถังออกซิกมีขนาดใหญ่และมีการเป่าอากาศจึงมีส่วนช่วยให้อุณภูมิลดลง และที่ถังตกตะกอนอุณหภูมิมีค่าลดลงอีกเล็กน้อย

4.1.2 ค่าเอสเอสวี30และค่าเอสวีไอ

4.1.2.1สถานะคงตัว

จากผลการทดลองพบว่าค่าเอสวี30ในถังแอนีอกซิกและถังออกซิกมีค่าโดยเฉลี่ยของแต่ละการทดลองใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 157 ถึง 243 และ 140 ถึง 249 มล./ล. ตามลำดับ และค่าเอสวีไอในถังแอนีอกซิกและถังออกซิกมีค่าโดยเฉลี่ยของแต่ละการทดลองเป็น 63 ถึง

73 มล./ก. และ 67 ถึง 78 มล./ก. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 4-2 และกราฟในรูปที่ 4-2 (ก)และ(ข)

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสังกะสีมากขึ้นค่าเอสวี30 ของระบบจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าเอ็มแอลเอสเอสของระบบพบว่ามีค่าสูงขึ้นแปรตามความเข้มข้นของสังกะสีเช่นกัน เมื่อนำผลการทดลองดังกล่าวมาคำนวณค่าเอสวีไอพบว่าทุกการทดลองมีค่าเอสวีไอใกล้เคียงกัน ***ฉะนั้นการแปรค่าสังกะสีในน้ำเสียจาก 0 ถึง 50 มก./ล. มีผลต่อค่าเอสวีไอน้อยมาก*** ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Neufeld (1976) ที่พบว่าการแปรค่าสังกะสีเข้าสู่ระบบตั้งแต่ 0 ถึง 100 มก./ล. ค่าเอสวีไอของสลัดจ์ในระบบมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-1 ค่าอุณหภูมิของชุดทดลองที่ 1 (องศาเซลเซียส)ที่ตำแหน่งต่างๆของระบบ

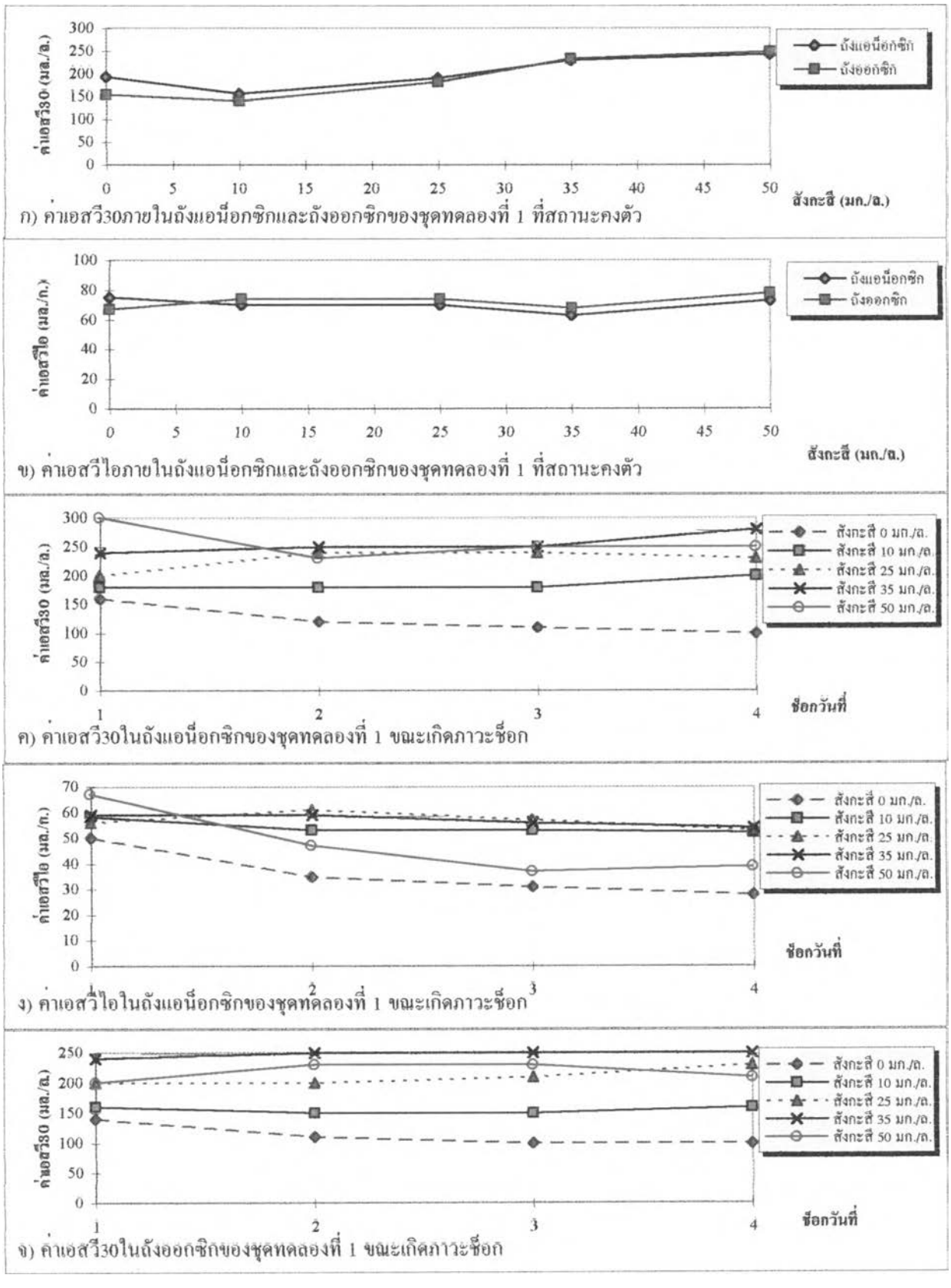
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ถังพักน้ำเสีย		ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก		ถังตกตะกอน	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	26.6	1.10	25.8	1.04	25.2	1.50	24.3	1.84
10	25.7	0.82	27.5	0.62	26.2	0.85	26.4	0.74
25	27.1	0.47	29.0	0.64	27.9	0.60	28.0	0.63
35	28.1	0.96	30.3	1.29	29.1	1.39	28.7	1.30
50	27.5	0.65	29.6	0.65	28.3	0.52	27.9	0.53

หมายเหตุ 1)การทดลองที่สังกะสี 0 มก./ล. ทำการทดลองในห้องปรับอากาศที่เปิดเครื่องเฉพาะเวลา 7.00 น. ถึง 21.00 น. และทำการวัดอุณหภูมิเวลา 8.30 น.

2) จำนวนข้อมูล (n) เท่ากับ 17

4.1.2.2 ภาวะช็อก

ช่วงเกิดภาวะช็อกสลัดจ์ในระบบทั้งในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของชุดควบคุมมีค่าเอสวี30ลดลงโดยในวันที่ 4 ของการช็อกมีค่าลดลงเป็น 100 มล./ล. ส่วนการทดลองที่สังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. ค่าเอสวี30มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยในวันที่ 4 ของการช็อกมีค่าเป็น 160 - 280 มล./ล. ส่วนค่าเอสวีไอนั้นลดลงทุกการทดลองโดยในวันที่ 4 ของการ



ก) ค่าเอสวี30ภายในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว

ข) ค่าเอสวีไอภายในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว

ค) ค่าเอสวี30ในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก

ง) ค่าเอสวีไอในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก

จ) ค่าเอสวี30ในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก

รูปที่ 4-2 ค่าเอสวี30และเอสวีไอภายในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

ช็อกมีค่าอยู่ระหว่าง 28 ถึง 64 มล./ก. ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-3 และกราฟในรูปที่ 4-2 (ค) และ (ฉ)

จากผลการทดลองพบว่าการช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล.มีผลทำให้ค่าเอสวี30ของทุกการทดลองเพิ่มขึ้น ยกเว้นชุดควบคุมเท่านั้นที่ค่าเอสวี30มีค่าลดลง เนื่องมาจากในช่วงสถานะคงตัวของการทดลองที่สังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล.แบกทีเรียในระบบได้ดูดซับสังกะสีไว้ได้จำนวนหนึ่งและทำให้สลัดจ์มีความหนาแน่นมากกว่าสลัดจ์ของชุดควบคุมมาก เมื่อทำการช็อกระบบสลัดจ์ของการทดลองที่สังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล.ไม่สามารถดูดซับสังกะสีเข้าสู่เซลล์ได้มากเหมือนชุดควบคุม ทำให้น้ำหนักเซลล์และความหนาแน่นในขณะจมตัวเพิ่มขึ้นน้อยกว่าชุดควบคุม และเมื่อพิจารณารวมกับค่าเอ็มแอลเอสเอสพบว่าทุกการทดลองมีค่าเอ็มแอลเอสเอสมากขึ้นโดยการทดลองที่สังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล.ค่าเอ็มแอลเอสเอสมีอัตราการเพิ่มมากกว่าค่าเอสวี30 ทำให้ค่าเอสวีไอของการทดลองในส่วนนี้ลดลงด้วย ฉะนั้นการช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล.สามารถช่วยให้สลัดจ์ในระบบจมตัวได้ดีขึ้นซึ่งสังเกตได้จากค่าเอสวีไอลดลงทุกการทดลองโดยเฉพาะชุดควบคุม ซึ่งผลการทดลองของชุดควบคุมนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Neufeld (1976) ที่ทำการทดลองป้อนสังกะสีสู่ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ไม่เคยชินกับสังกะสีมาก่อนที่ความเข้มข้น 0, 30, 100, 300 และ 1000 มก./ล. โดยพบว่าการช็อกระบบตั้งแต่ความเข้มข้น 300 มก./ล.ขึ้นไปทำให้ค่าเอสวีไอของระบบลดลงอย่างชัดเจน

4.1.2.3 การฟื้นตัว

ช่วงเก็บผลการทดลองระยะการฟื้นตัวเป็นเวลา 14 วัน พบว่าค่าเอสวี30 และเอสวีไอยังคงมีค่าใกล้เคียงกับผลในช่วงช็อกของวันที่ 4 ยกเว้นชุดควบคุมที่ค่าเอสวี30 และเอสวีไอกลับมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 8 ของระยะการฟื้นตัวหลังจากที่มีค่าลดลงในช่วงภาวะช็อก ลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟของผลการทดลองรวมทั้งระบบในรูปที่ 4-2 (ช) ถึง (ฎ)

การที่ค่าเอสวี30และเอสวีไอของชุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นนั้นเนื่องจากในช่วงระยะการฟื้นตัวของการทดลองนี้ระบบจะไม่ได้รับสังกะสีอีก ซึ่งคาดว่าทำให้น้ำหนักของจุลินทรีย์ลดลงส่งผลให้ความสามารถในการจมตัวของสลัดจ์ลดลงด้วย

4.1.3 ค่าของแข็งแขวนลอยและเอ็มแอลเอสเอส

4.1.3.1 สถานะคงตัว

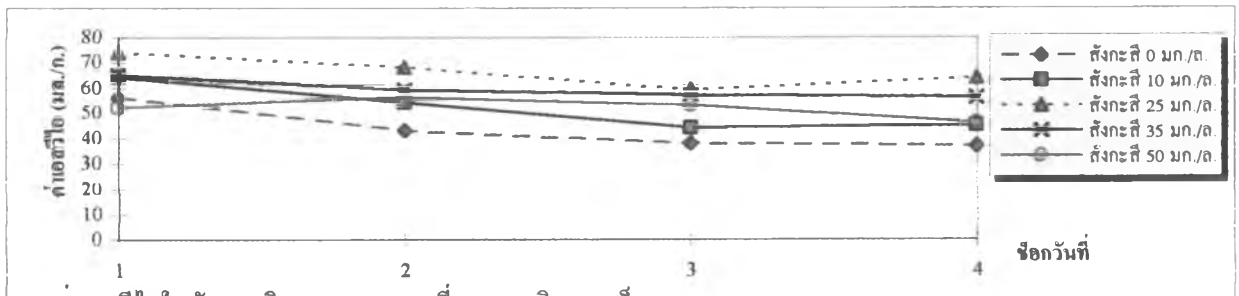
ตารางที่ 4-2 ค่าเอสวี30และเอสวีไอโดยเฉลี่ยของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	เอสวี30				เอสวีไอ			
	ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก		ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	193	20	154	6	75	7.6	67	2.0
10	157	5	140	0	70	2.8	74	3.5
25	191	11	183	5	70	2.8	74	3.5
35	230	18	234	11	63	7.2	68	3.6
50	243	13	249	4	73	3.9	78	4.0

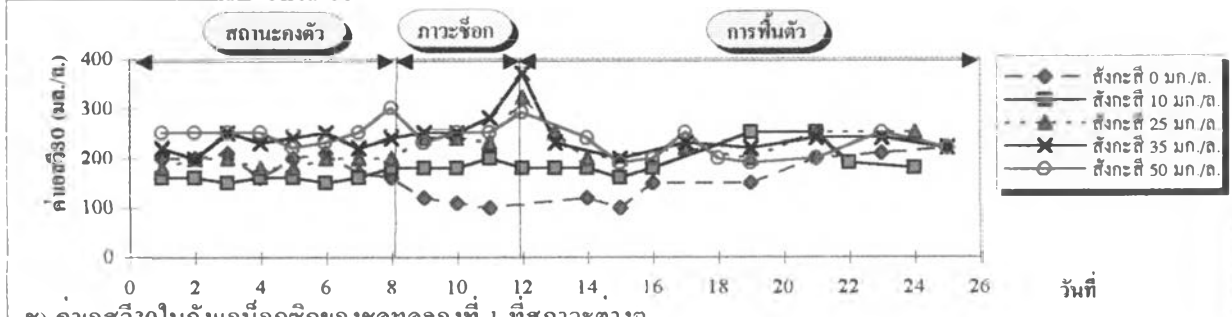
หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n) เท่ากับ 7

ตารางที่ 4-3 ค่าเอสวี30และเอสวีไอของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

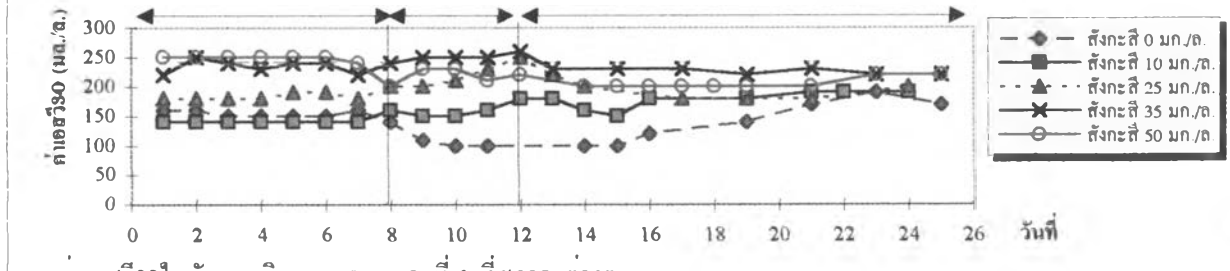
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่งระบบ	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่							
		ค่าเอสวี30 (มล./ล.)				ค่าเอสวีไอ (มล./ก.)			
		1	2	3	4	1	2	3	4
0	ถังแอน็อกซิก	160	120	110	100	50	35	31	28
(ชุดควบคุม)	ถังออกซิก	140	110	100	100	56	43	38	37
10	ถังแอน็อกซิก	180	180	180	200	58	53	53	52
	ถังออกซิก	160	150	150	160	64	54	44	45
25	ถังแอน็อกซิก	200	240	240	230	56	61	57	53
	ถังออกซิก	200	200	210	230	74	68	59	64
35	ถังแอน็อกซิก	240	250	250	280	59	59	56	54
	ถังออกซิก	240	250	250	250	65	59	57	56
50	ถังแอน็อกซิก	300	230	250	250	67	47	37	39
	ถังออกซิก	200	230	230	210	52	56	53	46



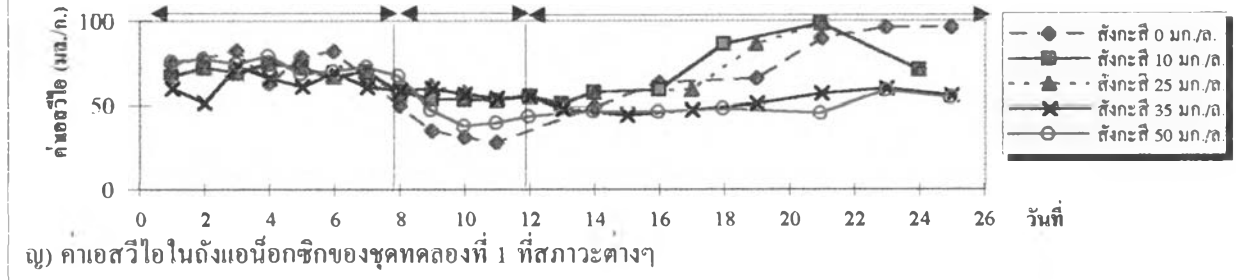
ฉ) ค่าเอสวีไอในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



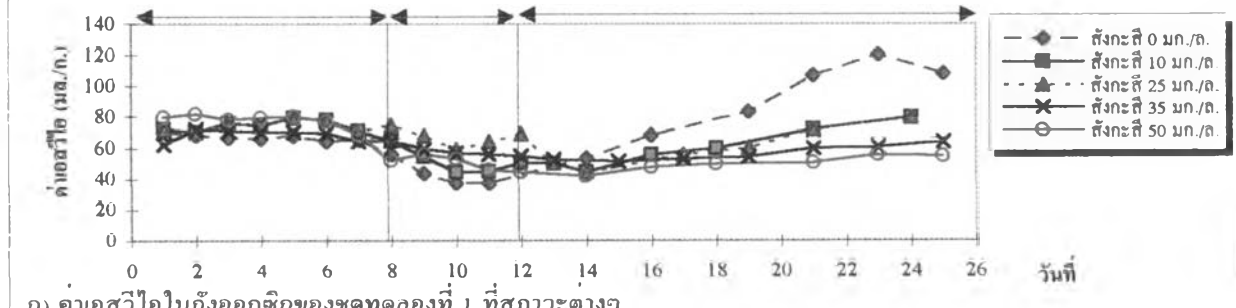
ช) ค่าเอสวี30ในถังแอนื่อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



ซ) ค่าเอสวี30ในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



ฌ) ค่าเอสวีไอในถังแอนื่อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



ญ) ค่าเอสวีไอในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-2 (ต่อ) ค่าเอสวี30และเอสวีไอภายในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

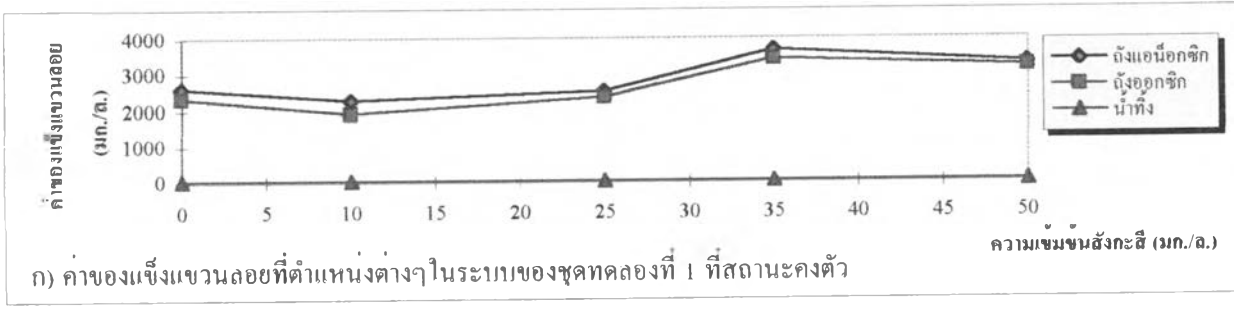
การวัดค่าของแข็งแขวนลอยของชุดทดลองนี้ทำการวัดเฉพาะในน้ำทิ้งเท่านั้น เนื่องจากได้ทดลองวัดค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียสังเคราะห์แล้วพบว่ามีค่าน้อยมาก ส่วนการวัดค่าเอ็มแอลเอสเอสกระทำการวัดที่ถังแอน็อกซิกและถังออกซิก โดยมีผลการทดลองเป็นดังนี้ การทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล.ค่าเอ็มแอลเอสเอสของถังแอน็อกซิกและถังออกซิกมีค่าโดยเฉลี่ยเป็น 2582, 2254, 2515, 3679 และ 3311 มก./ล. ตามลำดับ และ 2309, 1894, 2350, 3423 และ 3210 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งมีค่าโดยเฉลี่ยเป็น 24, 14, 11, 10 และ 27 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-4 และกราฟในรูปที่ 4-3(ก)

จากผลการทดลองค่าเอ็มแอลเอสเอสในระบบของการทดลองที่ สังกะสี 0 ถึง 25 มก./ล.มีความแตกต่างกันไม่มากนัก ในขณะที่การทดลองที่สังกะสี 35 และ 50 มก./ล. ค่าเอ็มแอลเอสเอสมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งนั้นมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมสังกะสีเข้าสู่ระบบถึงความเข้มข้น 35 มก./ล. แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสังกะสีถึง 50 มก./ล. พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งมีค่าเพิ่มขึ้น ***แสดงว่าที่ความเข้มข้นสังกะสีประมาณไม่เกิน 35 มก./ล. มีส่วนช่วยให้สลัดจ์จับตัวเป็นฟล็อกได้ดียิ่งขึ้น*** และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าเอสวีไอของการทดลองสังกะสี 50 มก./ล.พบว่าค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Neufeld (1976) ที่พบว่าความเข้มข้นของสังกะสีที่น้อยกว่า 40 มก./ล. ไม่มีผลต่อการลดการสร้างฟล็อก

ตารางที่ 4-4 ค่าของแข็งแขวนลอยและเอ็มแอลเอสเอสโดยเฉลี่ย(มก./ล.)ของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ค่าเอ็มแอลเอสเอส				ค่าของแข็งแขวนลอย	
	ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก		น้ำทิ้ง	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	2582	51	2309	81	24	3.1
10	2254	81	1894	88	14	2.6
25	2515	48	2350	27	11	3.8
35	3679	198	3423	79	10	3.2
50	3311	96	3210	131	27	5.9

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n) เท่ากับ 7



ก) ค่าของแข็งแขวนลอยที่ตำแหน่งต่างๆในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว

รูปที่ 4-3 ค่าของแข็งแขวนลอยภายในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

4.1.3.2 ภาวะช็อก

เมื่อระบบเกิดภาวะช็อกพบว่าค่าเอ็มแอลเอสเอสจากถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของทุกการทดลองเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่ามากขึ้นแปรตามระยะเวลาที่ทำการช็อกระบบ โดยการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ค่าเอ็มแอลเอสเอสของถังแอน็อกซิกมีช่วงการเพิ่มค่าเป็น 3213 ถึง 3593, 3120 ถึง 3835, 3566 ถึง 4353, 4100 ถึง 5193 และ 4480 ถึง 6373 มก./ล. ตามลำดับ และในถังออกซิกมีช่วงการเพิ่มค่าเป็น 2493 ถึง 2680, 2485 ถึง 3550, 2693 ถึง 3606, 3693 ถึง 4453 และ 3860 ถึง 4613 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของทุกการทดลองก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกันโดยมีช่วงการเพิ่มค่าเป็น 32 ถึง 164, 24 ถึง 124, 32 ถึง 68, 36 ถึง 48 และ 68 ถึง 88 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-5 และกราฟในรูปที่ 4-3(ข) ถึง (ง)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการช็อกระบบมีผลในการเพิ่มค่าของทั้งของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งและเอ็มแอลเอสเอสในระบบ เนื่องจากการช็อกระบบเป็นการเพิ่มปริมาณของสังกะสีให้เข้าสู่ระบบจำนวนมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าค่าเอ็มแอลเอสเอสที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการที่จุลินทรีย์มีการดูดซับสังกะสีเข้าสู่เซลล์ได้มากขึ้นและสามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอเนตได้ตะกอนของสังกะสีคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นยังสังเกตได้ว่าสีของสลัดจ์ในระบบมีการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีขาวนวลซึ่งน่าจะเกิดจากแบกทีเรียบางส่วนถูกยับยั้งการทำงานหรือตายไป ส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งนั้นเป็นผลจากการที่มีจุลินทรีย์บางส่วนไม่จับตัวกันเป็นฟล็อกโดยลอยอยู่อย่างกระจัดกระจายในน้ำใสส่วนบน ซึ่งสรุปได้ว่า***การช็อกระบบมีผลในการลดการสร้างฟล็อกของจุลินทรีย์ในระบบโดยเฉพาะชุดควบคุมซึ่งจุลินทรีย์ไม่เคยชินกับสังกะสีมาก่อน แต่เมื่อจุลินทรีย์เคยชินกับสังกะสีที่มากขึ้นการลดการสร้างฟล็อกในระบบลดน้อยลง และที่การทดลองความเข้มข้นสังกะสี 50 มก./ล.***

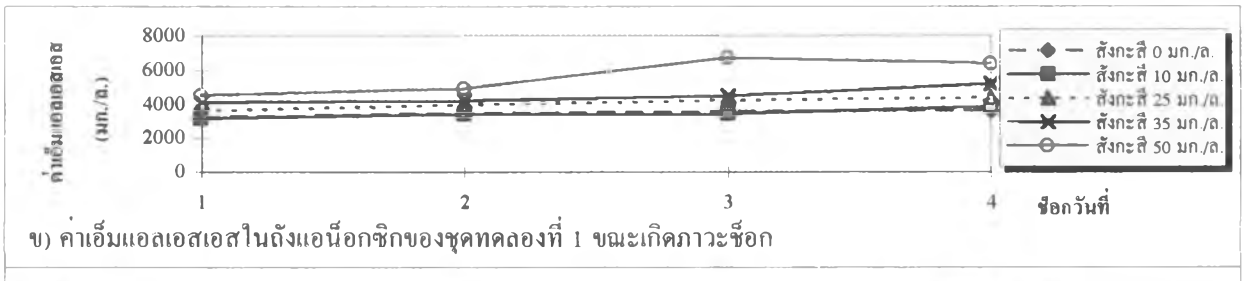
การลดการสร้างฟล็อกในระบบจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ซึ่งผลของสังกะสีที่มีต่อการลดการสร้างฟล็อกนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Neufeld (1976) ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.3

4.1.3.3 การฟื้นตัว

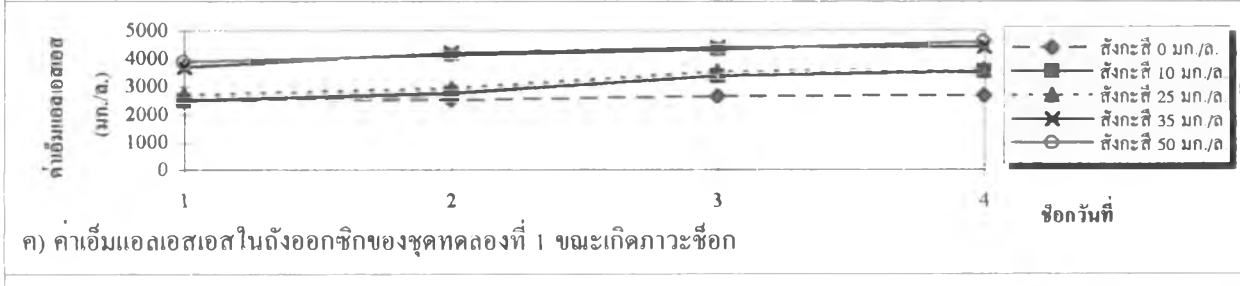
เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะฟื้นตัวค่าเอ็มแอลเอสเอสของถังแอน็อกซิกและถังออกซิก รวมทั้งค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง มีค่าลดลงหลังจากที่ได้เพิ่มขึ้นมาก่อนหน้านี้ในช่วงช็อกระบบ โดยการทดลองชุดควบคุมพบว่าค่าเอ็มแอลเอสเอสของถังออกซิกมีค่าลดลงกว่าในช่วงสถานะคงตัว ส่วนการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. พบว่าใน ***ช่วงการฟื้นตัว 14 วันนั้นค่าเอ็มแอลเอสเอสของทั้งระบบมีค่าสูงกว่าในช่วงสถานะคงตัว ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งนั้นมีการฟื้นตัวโดยมีค่าลดลงหลังจากที่เพิ่มมากขึ้นในขณะช็อกเช่นกัน ซึ่งใช้เวลาประมาณ 8 ถึง 13 วัน จึงมีค่าใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัว*** ระยะเวลาการฟื้นตัวของแต่ละการทดลอง แสดงในตารางที่ 4-6 และลักษณะการฟื้นตัวแสดงในกราฟของผลการทดลองรวมในรูปที่ 4-3 (จ) ถึง (ช)

ตารางที่ 4-5 ค่าของแข็งแขวนลอยและเอ็มแอลเอสเอสของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

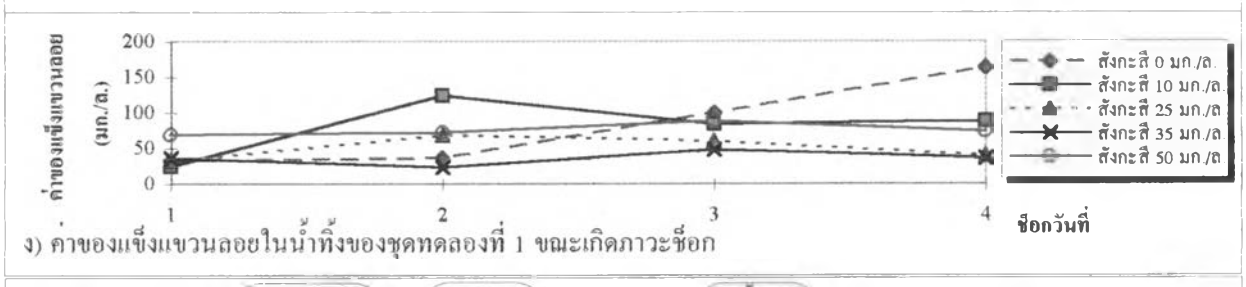
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่									
	ค่าเอ็มแอลเอสเอส					ค่าของแข็งแขวนลอย				
	ตำแหน่งระบบ	1	2	3	4	ตำแหน่งระบบ	1	2	3	4
0	ถังแอน็อกซิก	3213	3446	3566	3593	น้ำเสีย	-	-	-	-
(ชุดควบคุม)	ถังออกซิก	2493	2533	2660	2680	น้ำทิ้ง	32	36	100	164
10	ถังแอน็อกซิก	3120	380	3395	3835	น้ำเสีย	-	-	-	-
	ถังออกซิก	2485	2765	3385	3550	น้ำทิ้ง	24	124	84	88
25	ถังแอน็อกซิก	3566	3935	4193	4353	น้ำเสีย	-	-	-	-
	ถังออกซิก	2693	2946	3553	3606	น้ำทิ้ง	32	68	60	40
35	ถังแอน็อกซิก	4100	4206	4466	5193	น้ำเสีย	-	-	-	-
	ถังออกซิก	3693	4206	4406	4453	น้ำทิ้ง	36	24	48	36
50	ถังแอน็อกซิก	4480	4906	6713	6373	น้ำเสีย	-	-	-	-
	ถังออกซิก	3860	4113	4333	4613	น้ำทิ้ง	68	72	88	74



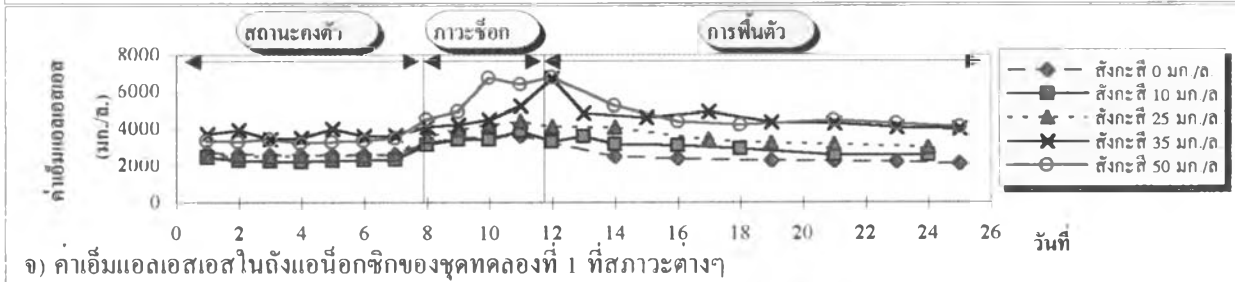
ข) ค่าเอ็มแอลเอสเอสในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



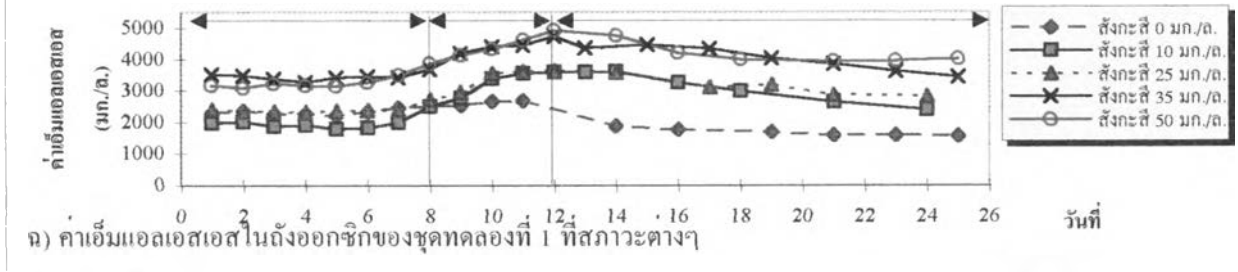
ค) ค่าเอ็มแอลเอสเอสในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



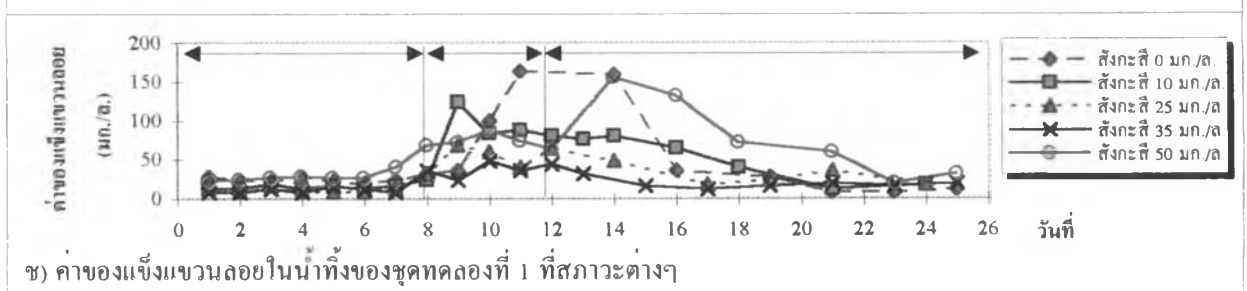
ง) ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



จ) ค่าเอ็มแอลเอสเอสในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



ฉ) ค่าเอ็มแอลเอสเอสในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



ช) ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-3 (ต่อ) ค่าของแข็งแขวนลอยภายในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

ตารางที่ 4-6 ระยะเวลาการฟื้นตัวเมื่อใช้ค่าของแข็งแขวนลอยและเอ็มแอลเอสเอสของชุดการทดลองที่ 1 เป็นเกณฑ์ (วัน)

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ค่าเอ็มแอลเอสเอส		ค่าของแข็งแขวนลอย
	ถังแอน็อกซิก	ถังออกซิก	น้ำทิ้ง
0 (ชุดควบคุม)	3	3	8
10	14	14	10
25	14	14	13
35	14	14	8
50	14	14	12

4.1.4 ค่าโออาร์พี

4.1.4.1 สถานะคงตัว

ค่าโออาร์พีโดยเฉลี่ยในถังพักน้ำเสีย ถังออกซิก และน้ำทิ้งของทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 30 ถึง 47, 74 ถึง 94 และ 80 ถึง 97 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ส่วนในถังแอน็อกซิกโออาร์พีมีค่าแตกต่างกันในแต่ละการทดลอง โดยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้น ซึ่งที่ความเข้มข้นสังกะสี 0 (ชุดควบคุม), 10, 25 ถึง 35 และ 50 มก./ล. มีค่าโออาร์พีเป็น -226, -135, -183 ถึง -190 และ-117 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-7 และกราฟในรูปที่ 4-4 (ก)

จากผลการทดลองค่าโออาร์พีจะแตกต่างกันเฉพาะในถังแอน็อกซิก โดยมีแนวโน้มที่จะมากขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยของ Lie และ Welander (1994) พบว่าถ้าอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันลดลงค่าโออาร์พีจะเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าโออาร์พีที่วัดได้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสลัดจ์ด้วย จากงานวิจัยดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ได้ว่าอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังแอน็อกซิกมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของค่าโออาร์พียังอาจเกิดจากการเติมอากาศที่ไม่เท่ากันในแต่ละการทดลองด้วย เนื่องจากเครื่องเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถคุมอัตราการเติมอากาศที่แม่นยำได้

ตารางที่ 4-7 ค่าโออาร์พี(มิลลิโวลท์)โดยเฉลี่ยของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี	น้ำเสีย		ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก		น้ำทิ้ง	
(มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	42	17.7	-226	27.7	74	13.1	80	13.7
10	47	6.2	-139	23.4	89	19.3	93	9.8
25	40	10.8	-183	9.9	89	11.2	87	20.6
35	30	8.4	-190	15.4	94	17.5	87	13.0
50	36	6.1	-117	20.9	89	11.3	97	8.8

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n) เท่ากับ 7

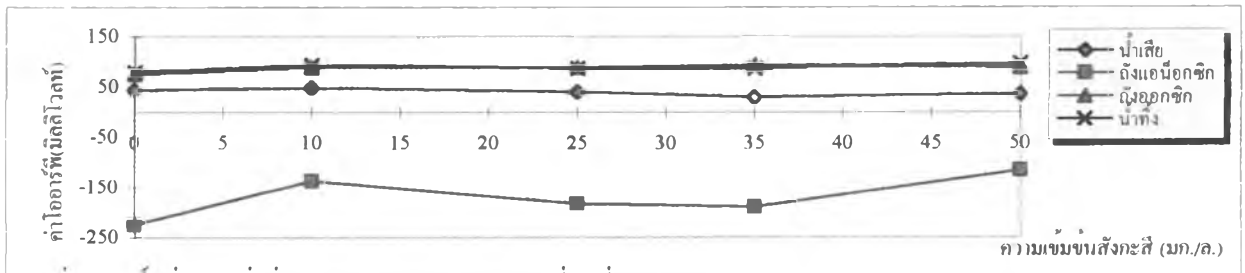
4.1.4.2 ภาวะช็อก

ในขณะเกิดภาวะช็อกค่าโออาร์พีของถังแอน็อกซิกมีค่าเพิ่มขึ้นทุกการทดลอง ส่วนค่าโออาร์พีของถังออกซิกนั้นการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน จากผลการทดลองค่าโออาร์พีในถังแอน็อกซิกของการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสี 0 มก./ล.(ชุดควบคุม)เพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 49 ถึง 88 มิลลิโวลท์ ส่วนที่ความเข้มข้นสังกะสี 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีค่าโออาร์พีเพิ่มขึ้นเป็น -70 ถึง 28, -56 ถึง 28, -35 ถึง -13 และ -10 ถึง 6 มิลลิโวลท์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-8 และกราฟในรูปที่ 4-4(ข) และ (ค)

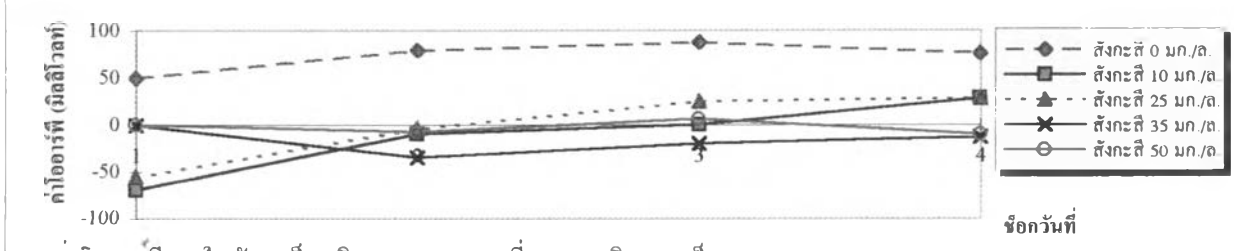
เมื่อเกิดภาวะช็อกค่าโออาร์พีในถังแอน็อกซิกมีค่ามากขึ้นต่างจากสถานะคงตัวอย่างชัดเจน ***ซึ่งจากการที่ค่าโออาร์พีภายในถังแอน็อกซิกมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงว่าดีไนตริฟิเคชันภายในถังแอน็อกซิกลดลง โดยชุดควบคุมมีอัตราการลดลงของดีไนตริฟิเคชันจำเพาะมากที่สุด*** แสดงถึงการช็อกระบบมีผลต่อแบกทีเรียพวกดีไนตริฟายเออร์ที่ไม่เคยชินกับสังกะสีมาก่อนมากกว่าพวกที่เคยชินแล้ว อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าการช็อกระบบมีผลต่อดีไนตริฟายเออร์ทันทีทุกการทดลอง ซึ่งสังเกตได้จากค่าโออาร์พีในถังแอน็อกซิกมีค่ามากขึ้นในวันแรกที่ทำการช็อกระบบ

4.1.4.3 การฟื้นตัว

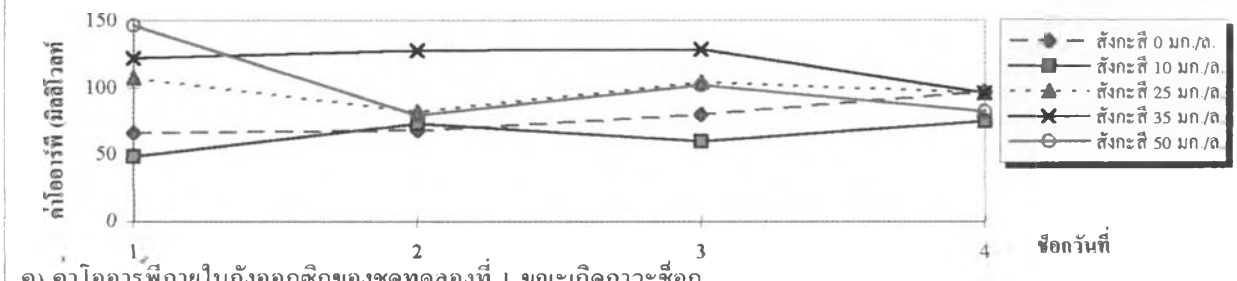
การฟื้นตัวของระบบสังเกตจากค่าโออาร์พีของถังแอน็อกซิกเป็นหลัก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีมีความชัดเจน โดยค่าโออาร์พีจะลดลงจนกระทั่งมีค่าใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัวซึ่งจากผลการทดลองพบว่าทุกการทดลองสามารถฟื้นตัวได้ใกล้เคียงกันอยู่ใน



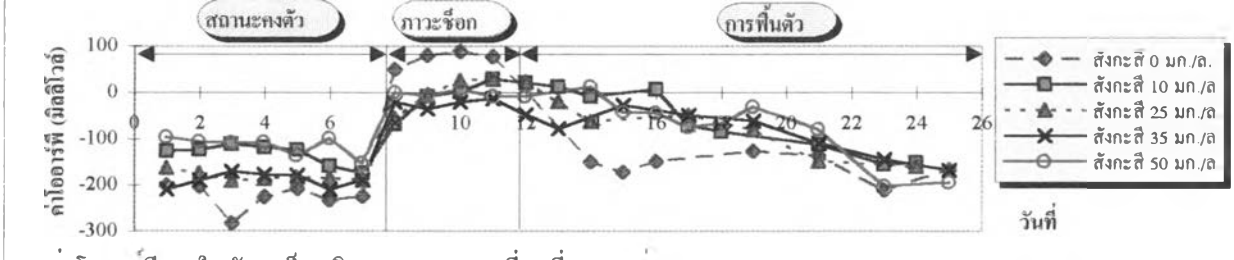
ก) ค่าโออาร์พีที่ตำแหน่งต่างๆในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว



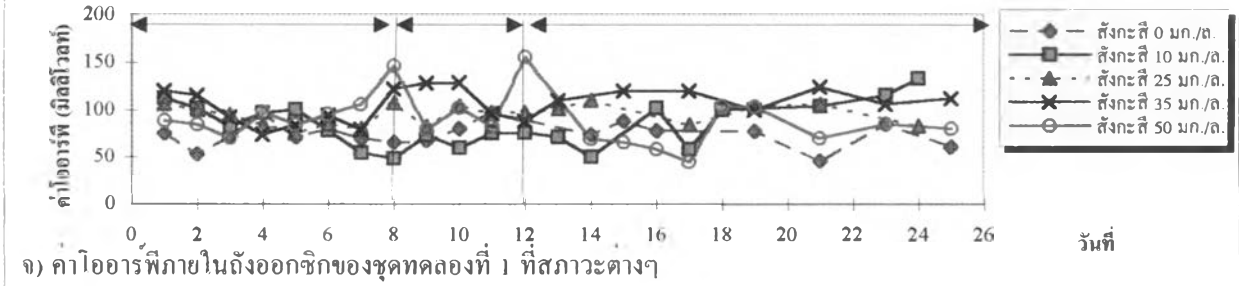
ข) ค่าโออาร์พีภายในถังแอนื่อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



ค) ค่าโออาร์พีภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



ง) ค่าโออาร์พีภายในถังแอนื่อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



จ) ค่าโออาร์พีภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-4 ค่าโออาร์พีที่ตำแหน่งต่างๆในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

ช่วง 10 ถึง 13 วัน ระยะเวลาการฟื้นตัวของแต่ละการทดลอง แสดงในตารางที่ 4-9 และลักษณะการฟื้นตัวแสดงในกราฟของผลการทดลองรวมในรูปที่ 4-4 (ง) ถึง (จ)

ตารางที่ 4-8 ค่าโออาร์พี (มิลลิโวลท์) ของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่ง	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	น้ำเสีย	38	48	34	28
	ถังแอน็อกซิก	49	79	88	76
	ถังออกซิก	66	68	80	97
	น้ำทิ้ง	60	67	76	92
10	น้ำเสีย	47	27	38	46
	ถังแอน็อกซิก	-70	-10	0	28
	ถังออกซิก	48	73	60	75
	น้ำทิ้ง	56	70	66	77
25	น้ำเสีย	29	6	37	8
	ถังแอน็อกซิก	-56	-5	25	28
	ถังออกซิก	107	82	104	96
	น้ำทิ้ง	103	70	98	102
35	น้ำเสีย	22	23	31	35
	ถังแอน็อกซิก	-21	-35	-20	-13
	ถังออกซิก	122	128	129	96
	น้ำทิ้ง	120	126	128	100
50	น้ำเสีย	22	38	41	43
	ถังแอน็อกซิก	-1	-8	6	-10
	ถังออกซิก	146	79	102	82
	น้ำทิ้ง	145	78	106	112

ตารางที่ 4-9 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)เมื่อใช้ค่าโออาร์พีของชุดทดลองที่ 1 ที่ถังแอน็อกซิก เป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	0 (ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	12	10	13	12	12

4.1.5 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

4.1.5.1 สถานะคงตัว

ในการทดลองวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำในถังพักน้ำเสีย ถังแอน็อกซิก ถังออกซิกและน้ำทิ้งมีค่าโดยเฉลี่ยของแต่ละการทดลองเป็น 0.22 ถึง 0.43, 0.03 ถึง 0.06, 2.79 ถึง 3.45 และ 1.71 ถึง 2.91 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 4-10 และกราฟในรูปที่ 4-5 (ก)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ออกซิเจนละลายน้ำในถังแอน็อกซิกมีค่าใกล้เคียงกันและน้อยกว่า 0.2 มก./ล.ทุกการทดลอง ออกซิเจนอิสระจึงไม่มีผลยับยั้งต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันภายในถังแอน็อกซิก (Randall, 1992) ส่วนออกซิเจนละลายน้ำของถังออกซิกนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะภายในถังของทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ถ้าพิจารณาผลการทดลองจากพารามิเตอร์นี้จะพบว่าการแปรค่าสังกะสีถึง 50 มก./ล. ไม่มีผลต่อแบกทีเรียพวกเฮเทอโรโทรฟ ไนตริฟายเออร์ และดีไนตริฟายเออร์ในระบบ

4.1.5.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกค่าออกซิเจนละลายน้ำของถังแอน็อกซิกมีค่าใกล้เคียงกับสถานะคงตัวโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 - 0.09 มก./ล. ยกเว้นกรณีชุดควบคุมเมื่อช็อกระบบเป็นวันที่ 1และ2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ถังนี้มีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจนโดยมีค่าเป็น 3.70 และ 5.10 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนภายในถังออกซิกค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่ามากกว่าขณะอยู่ในสถานะคงตัวทุกการทดลอง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-11 และกราฟในรูปที่ 4-5 (ข) (ค)และ (จ)

เมื่อเกิดภาวะช็อกค่าออกซิเจนละลายน้ำของชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด โดยมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกมากที่สุด แสดงว่าถ้าแบกทีเรียพวกไนตริฟายอิงแบกทีเรียของระบบไม่เคยชินต่อสังกะสีมาก่อนเมื่อระบบถูกช็อกอย่างทันทีมีผล

ตารางที่ 4-10 ค่าออกซิเจนละลายน้ำโดยเฉลี่ย(มก./ล.)ของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว

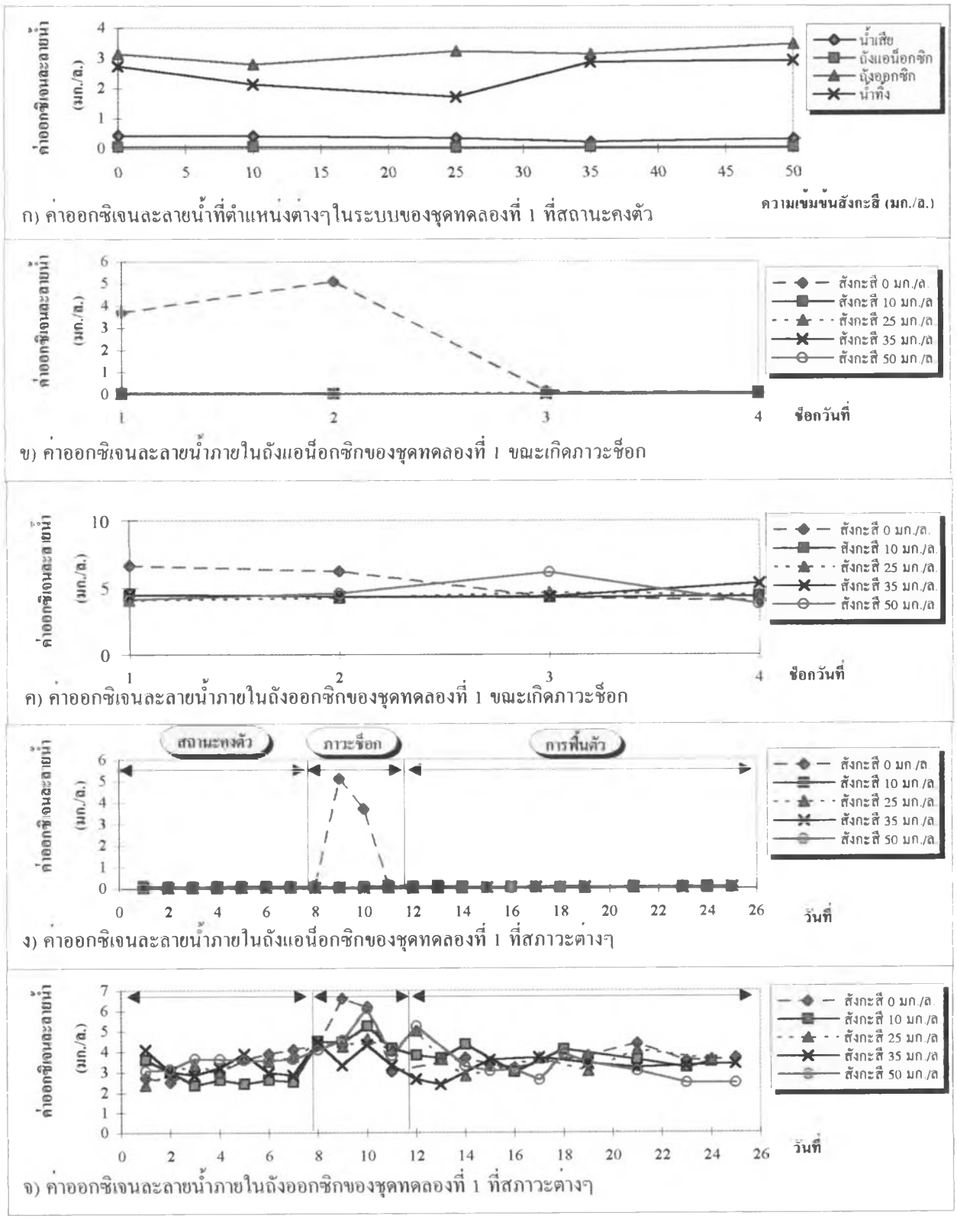
ความเข้มข้นสังกะสี	น้ำเสีย		ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก		น้ำทิ้ง	
(มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	0.43	0.25	0.05	0.02	3.13	0.49	2.74	0.30
10	0.41	0.13	0.06	0.02	2.79	0.41	2.13	0.39
25	0.34	0.14	0.03	0.01	3.23	0.50	1.71	0.80
35	0.22	0.09	0.05	0.02	3.12	0.37	2.87	0.46
50	0.31	0.11	0.04	0.00	3.45	0.26	2.91	0.38

หมายเหตุ จำนวนขอมูล(n) เท่ากับ 7

ต่อการใช้ออกซิเจนอย่างมาก ขณะเดียวกันในการช็อกเป็นวันที่ 3 ระบบสามารถปรับตัวได้โดยค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าลดลงใกล้เคียงกับการทดลองที่สังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. ส่วนค่าออกซิเจนละลายน้ำในถังออกซิกมีค่ามากขึ้นเนื่องจากระบบมีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะน้อยลง ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อ 4.1.6 และเมื่อพิจารณารวมกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองพบว่าชุดควบคุมมีประสิทธิภาพการกำจัดลดลงอย่างมากที่ภาวะช็อก และถึงแม้ว่าในวันที่ 3 ของการช็อกระบบค่าออกซิเจนละลายน้ำในระบบจะลดลงแต่ค่าซีโอดีกรองในระบบยังคงเพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากแบกทีเรียพวกดีไนตริฟายอิงซึ่งเป็นพวกที่กำจัดสารอินทรียคาร์บอนส่วนใหญ่ในระบบยังไม่สามารถฟื้นตัวในวันที่ 3 ของการช็อกระบบ จึงทำให้ค่าซีโอดีกรองยังคงมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่การทดลองที่สังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล.ประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกับสถานะคงตัวมาก แต่ถ้าพิจารณาเฉพาะซีโอดีกรองของถังแอน็อกซิกพบว่ามีค่ามากกว่าช่วงสถานะทุกการทดลอง ซึ่งเป็นผลจากดีไนตริฟายเออร์ของระบบถูกยับยั้งการทำงานแต่น้อยกว่าชุดควบคุม ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะพารามิเตอร์นี้พบว่าการทดลองที่สังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. ระบบยังคงทำงานได้

4.1.5.3 การฟื้นตัว

เมื่อปล่อยระบบให้กลับสู่ระยะการฟื้นตัว พบว่ามีการลดลงของค่าออกซิเจนละลายน้ำภายในถังออกซิกของทุกการทดลองหลังจากที่มีค่าเพิ่มขึ้นมาก่อนหน้านี้ในช่วง



ก) ค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ตำแหน่งต่างๆในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว

ข) ค่าออกซิเจนละลายน้ำภายในถังแอนีอกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก

ค) ค่าออกซิเจนละลายน้ำภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก

ง) ค่าออกซิเจนละลายน้ำภายในถังแอนีอกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

จ) ค่าออกซิเจนละลายน้ำภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-5 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

การช็อกระบบ ซึ่งเมื่อนำค่าออกซิเจนละลายน้ำที่วัดได้ตลอดช่วง 14 วันของการฟื้นตัวมาเปรียบเทียบกับช่วงสถานะคงตัว พบว่าในช่วงการฟื้นตัวค่าออกซิเจนละลายน้ำของถังออกซิกมีค่ามากกว่าขณะที่อยู่ในสถานะคงตัว ยกเว้นกรณีชุดควบคุมเท่านั้น ผลการทดลองแสดงดังกราฟในรูปที่ 4-5 (ง) และ (จ)

ตารางที่ 4-11 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ(มก./ล.) ของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่ง	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	น้ำเสีย	0.28	0.50	0.37	0.20
	ถังแอน็อกซิก	3.70	5.10	0.16	0.06
	ถังออกซิก	6.60	6.20	4.30	4.01
	น้ำทิ้ง	3.30	4.20	3.30	2.86
10	น้ำเสีย	0.38	0.12	0.25	0.31
	ถังแอน็อกซิก	0.02	0.03	0.04	0.09
	ถังออกซิก	4.49	4.35	4.25	4.36
	น้ำทิ้ง	2.64	3.04	3.38	2.21
25	น้ำเสีย	0.20	0.08	0.28	0.16
	ถังแอน็อกซิก	0.08	0.04	0.07	0.04
	ถังออกซิก	4.06	4.24	4.62	4.44
	น้ำทิ้ง	0.76	2.28	1.43	2.43
35	น้ำเสีย	0.12	0.18	0.22	0.17
	ถังแอน็อกซิก	0.04	0.04	0.03	0.05
	ถังออกซิก	4.47	4.34	4.35	5.32
	น้ำทิ้ง	3.49	2.77	3.15	3.29
50	น้ำเสีย	0.12	0.34	0.40	0.38
	ถังแอน็อกซิก	0.06	0.03	0.04	0.04
	ถังออกซิก	4.09	4.55	6.13	3.80
	น้ำทิ้ง	2.53	4.22	5.21	3.23

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ได้ว่าในช่วงระยะการฟื้นตัว 14 วัน การทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. ระบบมีการใช้ออกซิเจนลดลงกว่าช่วงสถานะคงตัวทำให้ภายในถังออกซิกมีค่าออกซิเจนละลายน้ำมากขึ้น เมื่อพิจารณาผลการทดลองร่วมกับการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะพบว่าอัตราดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าช่วงสถานะคงตัวยกเว้นชุดควบคุมดังที่จะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป! แสดงถึงการทดลองที่สังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. ระบบไม่สามารถฟื้นตัวได้สมบูรณ์ภายใน 14 วันเมื่อใช้พารามิเตอร์นี้เป็นเกณฑ์

4.1.6 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ

4.1.6.1 สถานะคงตัว

จากการหาอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่สถานะคงตัวของการทดลองสังกะสีที่ 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเป็น 8.28, 10.44, 7.56, 7.92 และ 8.28 มก.ออกซิเจน/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-12 และกราฟในรูปที่ 4-6

ผลการทดลองที่ได้พบว่าการทดลองสังกะสี 10 มก./ล. ระบบมีอัตราการใช้ออกซิเจนมากกว่าทุกการทดลอง และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าออกซิเจนละลายน้ำของถังออกซิกพบว่ามีค่าค่าออกซิเจนละลายน้ำน้อยที่สุดเช่นกัน นอกจากนี้เมื่อนำค่าโออาร์พีของถังออกซิกและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองมาเปรียบเทียบด้วยปรากฏว่าทุกการทดลองมีค่าโออาร์พีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองที่ใกล้เคียงกัน ***ฉะนั้นแสดงว่าความเข้มข้นสังกะสีเข้าสู่ระบบมากถึง 50 มก./ล. มีผลต่ออัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ภายในถังออกซิกน้อยมากโดยคาดว่าไม่มีผลต่อออโทโทรฟิกไนตริฟายเออร์และเฮเทอโรโทรฟพวกที่กำจัดคาร์บอน*** และเมื่อนำอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่ทดลองได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆโดยมีการแปรค่าอัตราส่วนของสารอาหารต่อมวลจุลชีพ พบว่างานวิจัยนี้ส่วนมากมีอัตราส่วนของสารอาหารต่อมวลจุลชีพน้อยกว่างานวิจัยอื่นจึงทำให้มีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่น้อยกว่า ยกเว้นการทดลองของ Daukss และคณะ (1994) ที่อัตราส่วนของสารอาหารต่อมวลจุลชีพเท่ากับ 0.12 และ 0.25 ที่มีค่าน้อยกว่าและใกล้เคียงกับอัตราส่วนของสารอาหารต่อมวลจุลชีพของงานวิจัยนี้ซึ่งเท่ากับ 0.39 ซึ่งพบว่าการทดลองของ Daukss และคณะ มีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเป็น 11.7 และ 10.8 มก. ออกซิเจน/ก. เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าและใกล้เคียงกับผลการทดลองของชุดควบคุมของงานวิจัยนี้ที่มีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเป็น 8.28 ออกซิเจน/ก. เอ็มแอลเอสเอส-ชม. เช่นเดียว

กับการเปรียบเทียบอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะโดยแปรค่าอัตราส่วนของแอมโมเนียต่อมวลจุลชีพซึ่งงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่างานวิจัยอื่นทั้งหมดทำให้อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะมีค่าน้อยกว่าเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4-13 และ 4-14

ตารางที่ 4-12 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ(มก.ออกซิเจน/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม.)ในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	สภาวะของระบบ					
	สถานะคงตัว	ช็อกระบบวันที่ 1	ช็อกระบบวันที่ 2	ช็อกระบบวันที่ 3	ช็อกระบบวันที่ 4	การฟื้นตัว
0 (ชุดควบคุม)	8.28	1.80	0.72	4.32	4.68	9.00
10	10.44	6.12	4.32	4.68	4.32	7.56
25	7.56	5.04	3.24	1.80	2.88	6.48
35	7.92	3.24	2.16	3.24	1.08	5.76
50	8.28	3.60	3.6	1.80	1.80	4.68

ตารางที่ 4-13 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเมื่อแปรค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อมวลจุลชีพ

F/M Ratio	Average Specific Oxygen Uptake rate (mg O_2/gm MLSS/hr)	Reference
0.12	11.7	Daukss และ คณะ (1994)
0.25	10.8	
0.47	17.1	
0.60	23.3	
0.51	16.2	Nann และ คณะ (1994)
0.85	35.3	
0.96	31.7	
0.39	8.28 (สังกะสี 0 มก./ล.)	งานวิจัยนี้
0.47	10.44 (สังกะสี 10 มก./ล.)	
0.38	7.56 (สังกะสี 25 มก./ล.)	
0.26	7.92 (สังกะสี 35 มก./ล.)	
0.28	8.28 (สังกะสี 50 มก./ล.)	

ตารางที่ 4-14 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเมื่อแปรค่าอัตราส่วนแอมโมเนียมต่อมวลจุลชีพ

NH_4-N/VSS Ratio	Average Specific Oxygen Uptake rate (mg O_2/gm VSS/hr)	Reference
1	18	
1.1	24	Chen และคณะ (1997)
1.15	25	
1.5	23	
NH_4-N/MLSS Ratio	**Average Specific Oxygen Uptake rate (mg O_2/g MLSS/hr)**	**Reference**
0.02	8.28 (สังกะสี 0 มก./ล.)	
0.02	10.44 (สังกะสี 10 มก./ล.)	
0.02	7.56 (สังกะสี 25 มก./ล.)	งานวิจัยนี้
0.01	7.92 (สังกะสี 35 มก./ล.)	
0.01	8.28 (สังกะสี 50 มก./ล.)	

4.1.6.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะภายในถังออกซิกลดลงทุกการทดลอง โดยการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะลดลงอยู่ในช่วง 0.72 ถึง 4.68, 4.32 ถึง 6.12, 1.80 ถึง 5.04, 1.08 ถึง 3.24 และ 1.80 ถึง 3.60 มก.ออกซิเจน/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-12 และกราฟในรูปที่ 4-6

จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่าการช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. มีผลทำให้เกิดการลดอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะภายในถังออกซิก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำที่พบว่ามีค่ามากกว่าที่สถานะคงตัวดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1.5.2 และเมื่อพิจารณาร่วมกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองที่มีประสิทธิภาพลดลงเฉพาะชุดควบคุม จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ***การช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. มีผลเสียต่อระบบที่จุลินทรีย์ไม่เคยชินกับสังกะสีมาก่อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองลดลงอย่างมากดังจะกล่าวในหัวข้อที่ 4.1.9.2 ส่วนการทดลองที่จุลินทรีย์ในระบบชินต่อสังกะสีมาแล้วการช็อกระบบมีผลต่อการกำจัดซีโอดีกรองน้อยมาก แต่ในขณะเดียวกันอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะภายในถังออกซิกยังคงลดลงเช่นเดียวกับชุดควบคุม***

4.1.6.3 การฟื้นตัว

การทดลองหาอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะในช่วงนี้กระทำการวัดในวันที่ 13 ถึง 14 ของระยะการฟื้นตัว ซึ่งอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่วัดได้จากการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสีที่ 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเป็น 9.00, 7.56, 6.48, 5.76 และ 4.68 มก.ออกซิเจน/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ

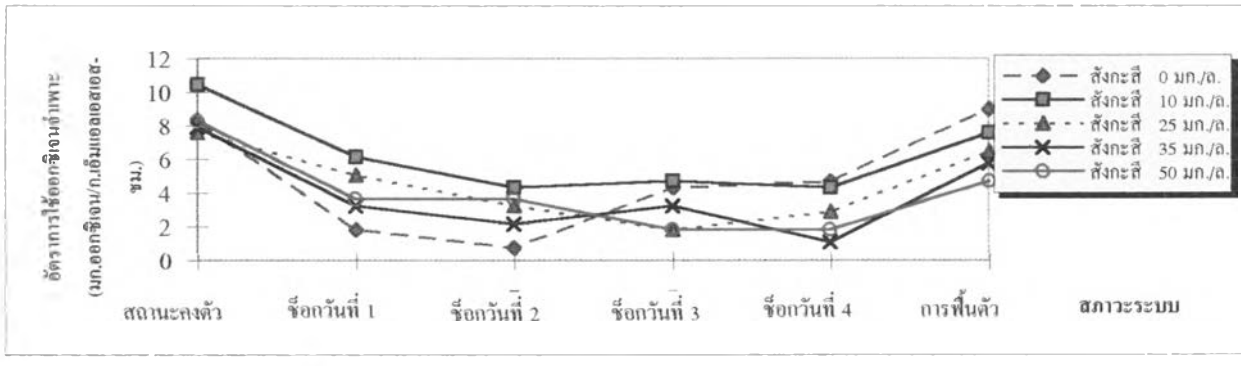
จากผลการทดลองในระยะเวลา 14 วันของช่วงการฟื้นตัว อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะมีค่าลดลงจากช่วงสถานะคงตัว ยกเว้นกรณีชุดควบคุมที่มีค่ามากกว่า ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่า***การฟื้นตัวของระบบของการทดลองที่สังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล.เมื่อใช้อัตราการใช้ออกซิเจนเป็นเกณฑ์พบว่าต้องใช้เวลามากกว่า 14 วัน*** ผลการทดลองดังกราฟผลการทดลองรวมในรูปที่ 4-6

4.1.7 ค่าพีเอช

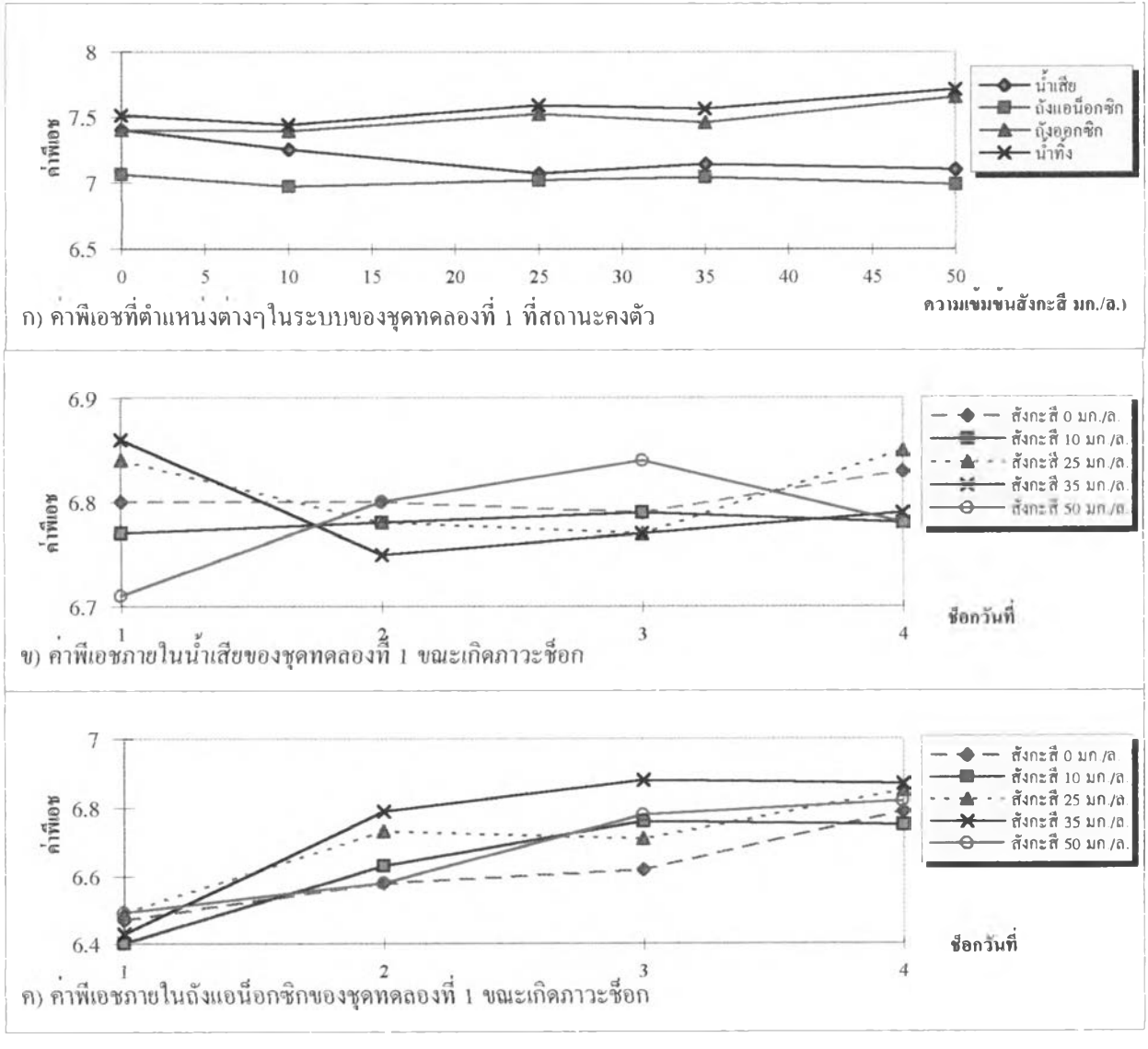
4.1.7.1 สถานะคงตัว

การทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีค่าพีเอชโดยเฉลี่ยของน้ำเสียสังเคราะห์อยู่เป็น 7.40, 7.25, 7.07, 7.14 และ 7.10 ตามลำดับ ส่วนในถังแอน็อกซิกมีค่าโดยเฉลี่ยแต่ละการทดลองเป็น 7.06, 6.97, 7.02, 7.04 และ 6.99 ตามลำดับ ในถังออกซิกมีค่าเป็น 7.40, 7.39, 7.52, 7.46 และ 7.65 ตามลำดับ และค่าพีเอชของน้ำทิ้งนั้นมีค่าใกล้เคียงกับในถังออกซิกโดยมีค่าเป็น 7.51, 7.44, 7.59, 7.56 และ 7.71 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-15 และกราฟในรูปที่ 4-7 (ก)

จากการทดลองพบว่าค่าพีเอชในถังแอน็อกซิกมีค่าน้อยกว่าในน้ำเสีย ซึ่งมีความขัดแย้งกับทฤษฎีกล่าวคือในถังแอน็อกซิกจะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและให้ค่าสภาพด่างแก่ระบบ แต่เนื่องจากระบบนี้มีการเวียนกลับของเหลวผสมจากถังออกซิกที่มีค่าสภาพด่างน้อยกว่าทำให้เกิดการเจือจางมีผลให้ค่าสภาพด่างและพีเอชลดลงได้ และในการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. คาร์บอเนตบางส่วนมีการทำปฏิกิริยากับสังกะสีเป็นตะกอนสังกะสีคาร์บอเนต(ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3 ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการแยกป้อนน้ำเสียที่เป็นสารอาหารกับน้ำเสียส่วนที่เป็นสารละลายสังกะสีซัลเฟต ซึ่งมีส่วนให้ค่าพีเอชลดลงอีกทางหนึ่ง) ส่วนค่าพีเอชในถังออกซิกมีค่าเพิ่มขึ้นนั้นมีความขัดแย้งกับทฤษฎีเช่นกัน กล่าวคือในถังออกซิกเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและใช้ค่าสภาพด่างในการทำปฏิกิริยาทำให้ค่าพีเอชลดลง แต่เนื่องจากภายใน



รูปที่ 4-6 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ 4-7 ค่าพีเอชในระบบของชุดการทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

ถังนี้อาจเกิดการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียอิสระให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออนดังแสดงในสมการที่ 4.1 (Anthonisen และ คณะ, 1976) ซึ่งมีผลให้ค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าแอมโมเนียในถังออกซิกในงานศึกษานี้พบว่าทุกการทดลองแอมโมเนียมีการเปลี่ยนรูปจนกระทั่งมีค่าเป็น 0 มก./ล. ซึ่งยกเว้นการทดลองที่สังกะสี 50 มก./ล.เท่านั้น และแอมโมเนียมที่ได้ถูกใช้ในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ทำให้เหลือปริมาณของไฮดรอกไซด์ส่วนหนึ่งในระบบซึ่งมีผลให้ค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นดังที่กล่าวมาแล้ว

Ammonia Equilibrium

Organic Nitrogen $\longrightarrow$ $NH_4^+ + OH^-$ $\rightleftharpoons$ $NH_3 + H_2O$ .....4.1)

ตารางที่ 4.15 ค่าพีเอชโดยเฉลี่ยของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	น้ำเสีย		ถังแอนอ็อกซิก		ถังออกซิก		น้ำทิ้ง	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	7.40	0.05	7.06	0.03	7.40	0.05	7.51	0.10
10	7.25	0.09	6.97	0.08	7.39	0.03	7.44	0.05
25	7.07	0.07	7.02	0.04	7.52	0.09	7.59	0.05
35	7.14	0.03	7.04	0.03	7.46	0.06	7.56	0.04
50	7.10	0.05	6.99	0.07	7.65	0.09	7.71	0.08

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n) เท่ากับ 7

4.1.7.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกค่าพีเอชของน้ำเสียและที่ตำแหน่งต่างๆในระบบของทุกการทดลองมีค่าลดลงอย่างชัดเจน โดยน้ำเสียมีค่าพีเอชโดยเฉลี่ยของแต่ละการทดลองเป็น 6.71 ถึง 6.85 ถังแอน็อกซิกค่าพีเอชลดลงอยู่ในช่วง 6.40 ถึง 6.88 ถังออกซิกมีค่า 6.97 ถึง 7.20 และน้ำทิ้ง 6.93 ถึง 7.25 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-16 และกราฟในรูปที่ 4-7 (ข) ถึง (ง)

จากการวัดค่าพีเอชในน้ำเสียพบว่าเมื่อเพิ่มสังกะสีเป็น 300 มก./ล. มีผลให้ค่าพีเอชลดลงในขณะที่สภาพด่างยังมีค่าคงเดิม ซึ่งการที่ค่าพีเอชเป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อนำน้ำ

เสียส่วนที่เป็นสารอาหารและส่วนที่เป็นสารละลายของสังกะสีซัลเฟตมาผสมกันปรากฏว่าน้ำเสียเกิดมีตะกอนของสังกะสีคาร์บอเนตเกิดขึ้น(สังเกตได้ด้วยตาเปล่า) และการวัดค่าสภาพด่างนั้นทำการหาโดยไม่กรองตัวอย่างน้ำ ส่วนการลดต่ำลงของพีเอชในส่วนอื่นๆของระบบนั้นเป็นเพราะค่าพีเอชในน้ำเสียมีค่าลดลงจึงทำให้พีเอชในระบบลดลงด้วย*เนื่องจากบัฟเฟอร์ในน้ำเสียมีไม่เพียงพอโดยในถังแอน็อกซิกนั้นเนื่องจากค่าพีเอชภายในถังมีค่าต่ำเกินไปการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของระบบจึงลดลงด้วย*และจากผลการทดลองวัดค่าพีเอชมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการช็อกระบบแสดงว่าแบกทีเรียพวกดีไนตริฟายเออร์สามารถปรับตัวได้ดีขึ้น *ส่วนในถังออกซิกนั้นเนื่องจากการลดลงของพีเอชเช่นกันจึงทำให้การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันลดลงเช่นกัน*

4.1.7.3 การฟื้นตัว

การฟื้นตัวของค่าพีเอชนี้สังเกตจากค่าพีเอชในถังแอน็อกซิก ถังออกซิก และในน้ำทิ้ง มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากที่ลดลงในขณะเกิดภาวะช็อก โดยระยะการฟื้นตัวอยู่ในระหว่าง 6 ถึง 12 วัน ซึ่งใกล้เคียงกับระยะการฟื้นตัวของค่าสภาพด่าง ระยะการฟื้นตัวสรุปได้ดังตารางที่ 4-17 และลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟผลการทดลองรวมดังรูปที่ 4-7 (จ) ถึง (ช)

4.1.8 ค่าสภาพด่าง

4.1.8.1 สถานะคงตัว

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าสภาพด่างโดยเฉลี่ยของแต่ละการทดลองอยู่ในช่วง 342 ถึง 394 มก./ล. จากนั้นเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบแล้วพบว่าค่าสภาพด่าง(กรอง) ลดลง โดยการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ค่าสภาพด่างมีค่าเฉลี่ยในถังแอน็อกซิกเป็น 252, 250, 227, 241 และ 251 มก./ล. ตามลำดับ ในถังออกซิกมีค่าโดยเฉลี่ยเป็น 182, 200, 171, 178 และ 212 มก./ล. ตามลำดับ และในน้ำทิ้งมีค่าโดยเฉลี่ยเป็น 178, 195, 153, 172 และ 207 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-18 และกราฟในรูปที่ 4-8 (ก)

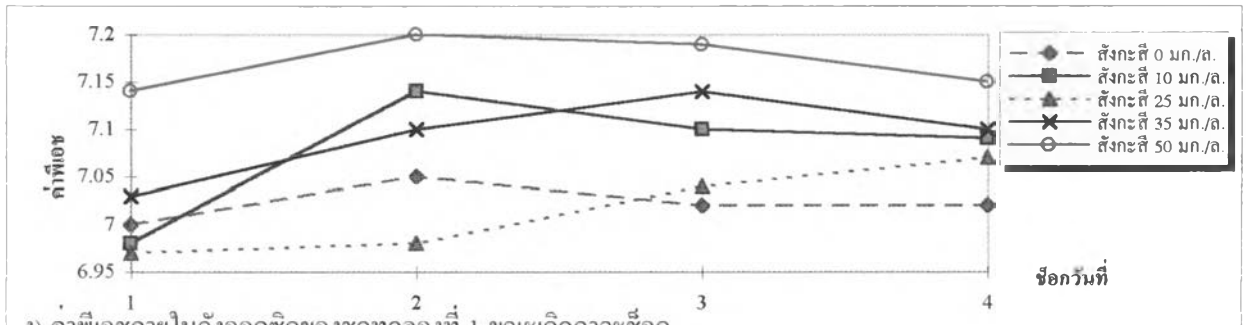
ผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าสภาพด่างในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกมีค่าน้อยกว่าในน้ำเสีย แต่เมื่อพิจารณาตามทฤษฎีแล้วในถังแอน็อกซิกมีการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันซึ่งทำผลให้ระบบควรมีค่าสภาพด่างเพิ่มขึ้น แต่จากการดุลมวลสภาพด่างของถังแอน็อกซิก ผลการคำนวณพบว่าการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0(ชุดควบคุม), 10, 25 และ 35 มก./ล. ได้ค่า

ตารางที่ 4-16 ค่าพีเอชของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

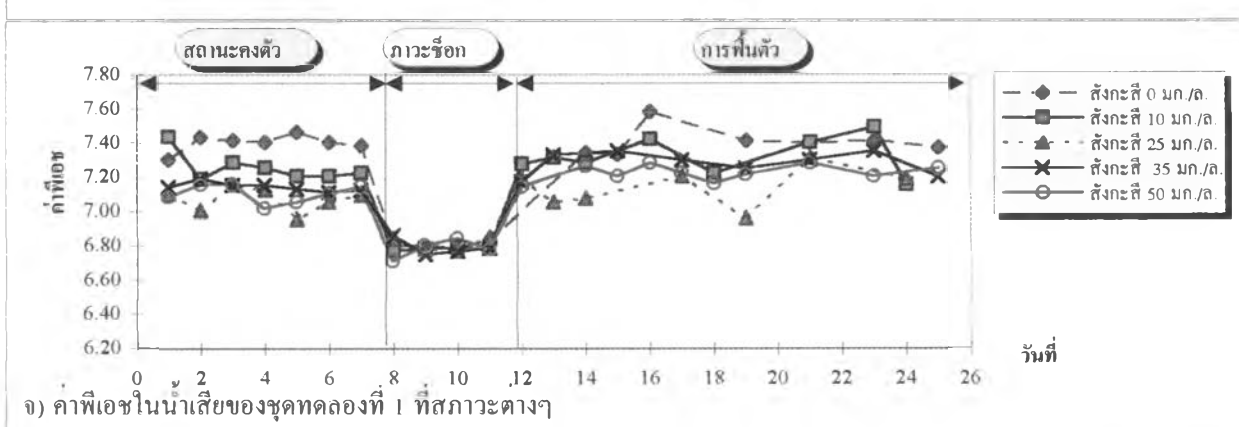
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่งระบบ	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	น้ำเสีย	6.80	6.80	6.79	6.83
	ถังแอน็อกซิก	6.47	6.58	6.62	6.79
	ถังออกซิก	7.00	7.05	7.02	7.02
	น้ำทิ้ง	7.04	7.08	7.04	7.05
10	น้ำเสีย	6.77	6.78	6.79	6.78
	ถังแอน็อกซิก	6.40	6.63	6.76	6.75
	ถังออกซิก	6.98	7.14	7.1	7.09
	น้ำทิ้ง	7.03	7.18	7.19	7.16
25	น้ำเสีย	6.84	6.78	6.77	6.85
	ถังแอน็อกซิก	6.49	6.73	6.71	6.85
	ถังออกซิก	6.97	6.98	7.04	7.07
	น้ำทิ้ง	6.95	6.93	7.06	7.11
35	น้ำเสีย	6.86	6.75	6.77	6.79
	ถังแอน็อกซิก	6.43	6.79	6.88	6.87
	ถังออกซิก	7.03	7.10	7.14	7.10
	น้ำทิ้ง	7.06	7.00	7.15	7.14
50	น้ำเสีย	6.71	6.80	6.84	6.78
	ถังแอน็อกซิก	6.49	6.58	6.78	6.82
	ถังออกซิก	7.14	7.20	7.19	7.15
	น้ำทิ้ง	7.20	7.24	7.25	7.20

ตารางที่ 4-17 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)เมื่อใช้ค่าพีเอชที่ถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 เป็นเกณฑ์

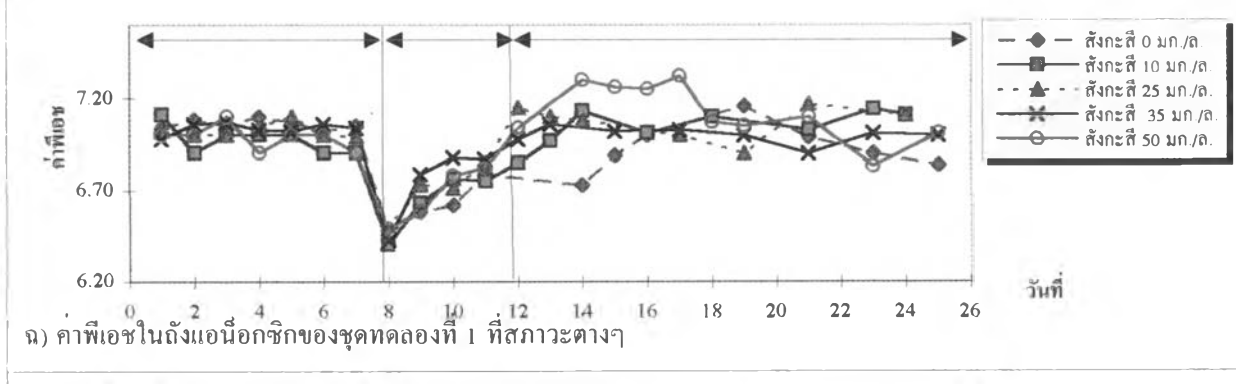
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	0(ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	12	6	8	6	12



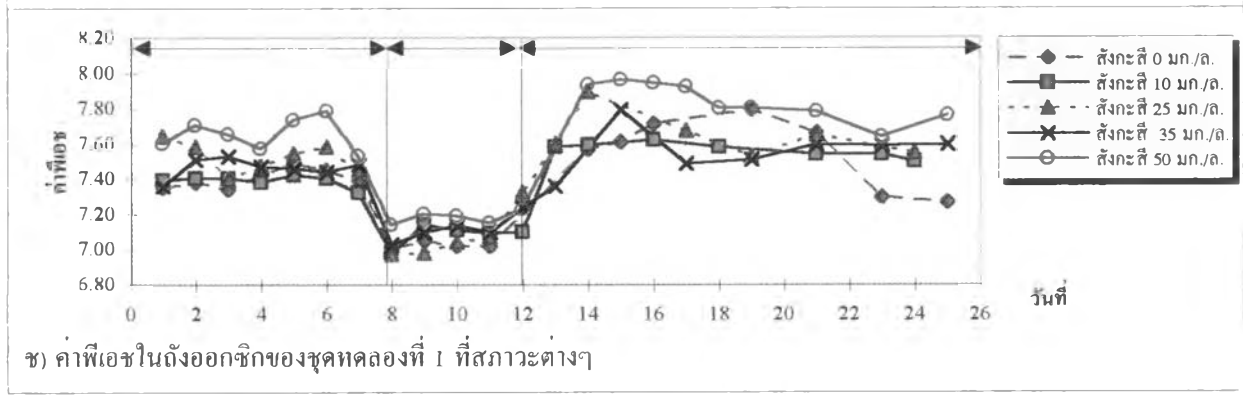
ง) ค่าพีเอชภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



จ) ค่าพีเอชในน้ำเสียของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



ฉ) ค่าพีเอชในถังแอนื่อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



ช) ค่าพีเอชในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-7 (ต่อ) ค่าพีเอชในระบบของชุดการทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

สภาพด่างเพิ่มขึ้น 25, 9, 9 และ 2 มก./ล. ตาลำดับ ส่วนที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 50 มก./ล.นั้น ค่าสภาพด่างลดลง 13 มก./ล. ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเกิดการเจือจางของค่าสภาพด่างโดยการเวียนของเหลวผสมจากถังออกซิกสู่ถังแอน็อกซิก และสังเกตได้ว่า***ค่าสภาพด่างที่ได้จากปฏิกิริยาในถังแอน็อกซิกมีแนวโน้มที่จะลดลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้น ซึ่งเกิดอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันที่ลดลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้น*** นอกจากในระบบมีการตกตะกอนของสังกะสีคาร์บอเนตทำให้ค่าสภาพด่างในถังแอน็อกซิก(กรอง)ลดลงด้วย ***ส่วนในถังออกซิกเมื่อทำการดุลมวลแล้วพบว่าทุกการทดลองค่าสภาพด่าง(กรอง)ลดลง เป็นไปตามทฤษฎีที่ภายในถังออกซิกจะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันมีผลให้ค่าสภาพด่างลดลงและมีไนเทรตเกิดขึ้นในถังออกซิก*** โดยที่การทดลองที่ 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล.ค่าสภาพด่างลดลงไป 70, 49, 56, 63 และ 39 มก./ล. ตามลำดับ

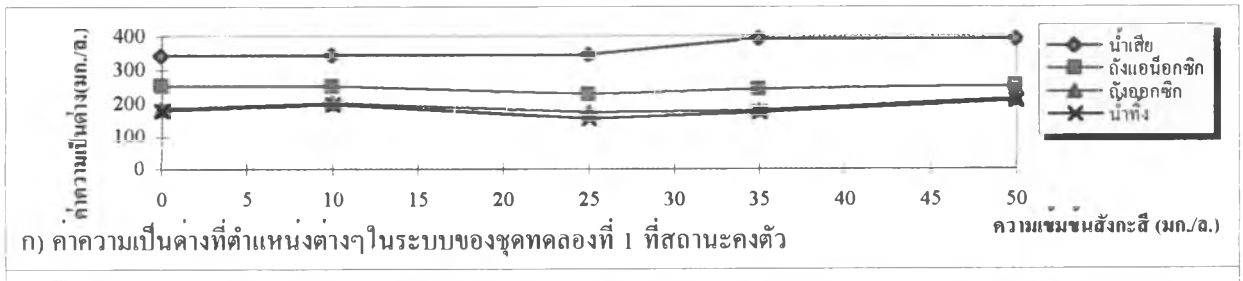
ตารางที่ 4-18 ค่าสภาพด่างโดยเฉลี่ย(มก./ล.)ของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	น้ำเสีย		ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก		น้ำทิ้ง	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	342	8.93	252	12.52	182	12.08	178	12.02
10	343	18.60	250	9.44	200	8.21	195	10.92
25	346	16.65	227	11.93	171	4.81	153	38.13
35	394	12.67	241	10.97	178	12.71	172	33.18
50	393	42.45	251	8.65	212	9.39	207	14.41

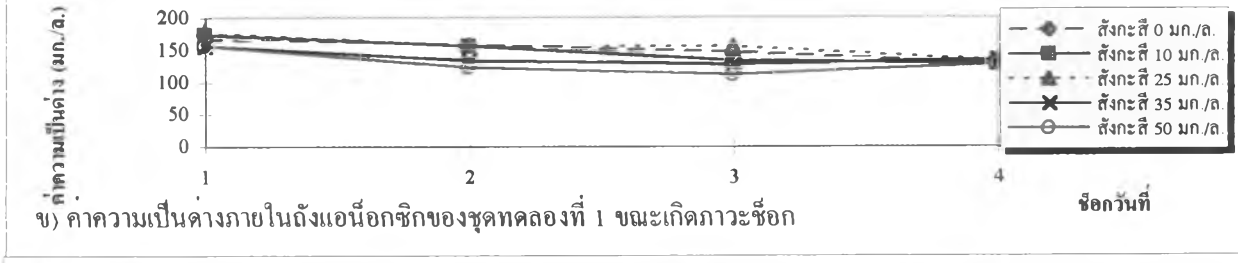
หมายเหตุ จำนวนขอมูล(n) เทากับ 7

4.1.8.2 ภาวะช็อก

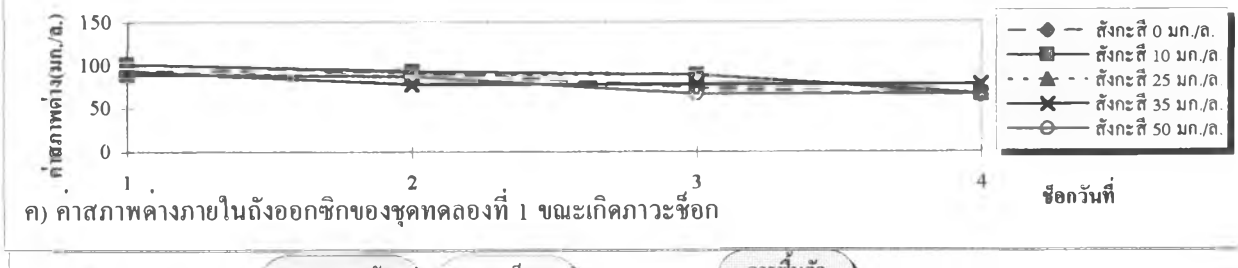
ขณะเกิดภาวะช็อกที่การทดลองสังกะสีเท่ากับ 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ค่าสภาพด่างในถังแอน็อกซิก ถังออกซิก และในน้ำทิ้งลดลงทุกการทดลอง โดยในถังแอน็อกซิกค่าสภาพด่างลดลงเป็น 129 ถึง 167, 128 ถึง 173, 134 ถึง 178, 128 ถึง 154 และ 112 ถึง 156 มก./ล. ตามลำดับ ถังออกซิกค่าสภาพด่างลดลงเป็น 65 ถึง 93, 67 ถึง 101, 67 ถึง 89, 78



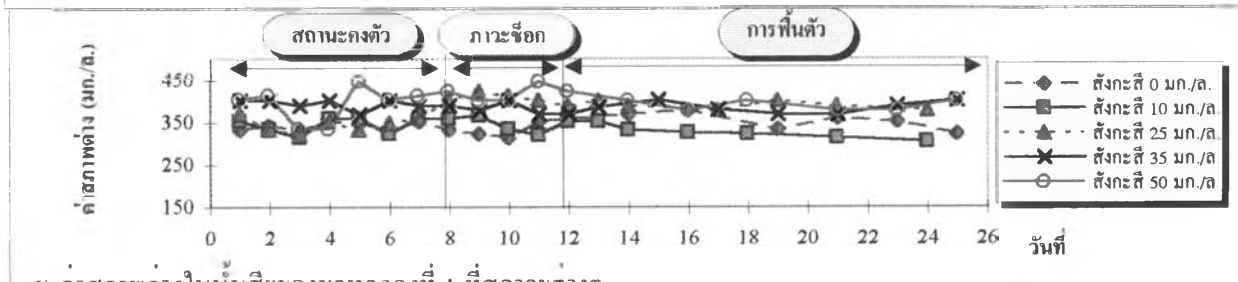
ก) ค่าความเป็นด่างที่ตำแหน่งต่างๆในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว



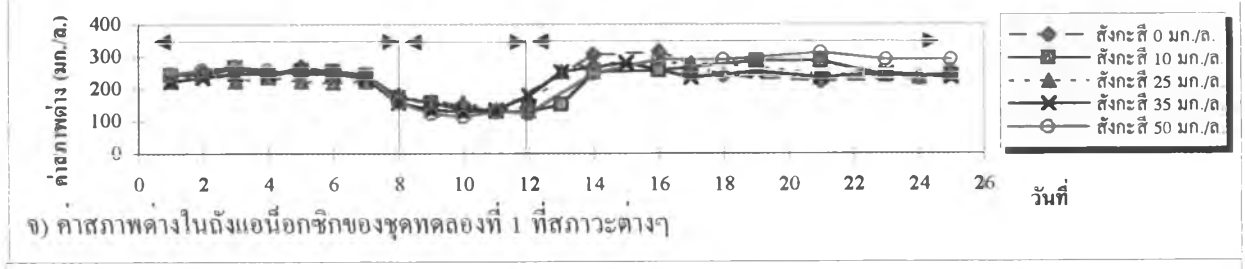
ข) ค่าความเป็นด่างภายในถังแอนีอกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



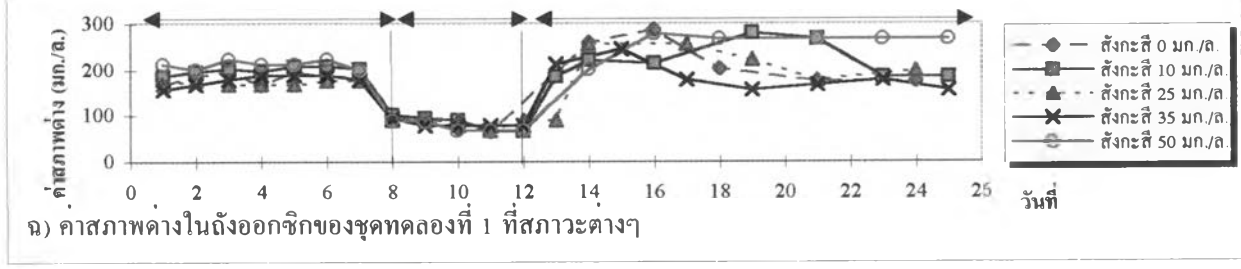
ค) ค่าสภาพด่างภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



ง) ค่าสภาพด่างในน้ำเสียของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



จ) ค่าสภาพด่างในถังแอนีอกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



ฉ) ค่าสภาพด่างในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-8 ค่าสภาพด่างในระบบของชุดการทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

ถึง 93 และ 67 ถึง 89 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-19 และกราฟในรูปที่ 4-8 (ค) ถึง (ง)

การที่สภาพด่างในระบบลดลงขณะเกิดภาวะช็อกนั้นเป็นผลเนื่องมาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะในถังแอน็อกซิกลดลง และเกิดการเจือจางจากการเวียนของเหลวผสมจากถังออกซิกสู่ถังแอน็อกซิกมีผลให้ค่าสภาพด่างที่ได้จากกระบวนการลดลงด้วย และในขณะเดียวกันมีการเพิ่มปริมาณของสังกะสีซัลเฟตมากขึ้นจึงเป็นเพิ่มการทำปฏิกิริยาสังกะสีกับสภาพด่างเกิดเป็นตะกอนของสังกะสีคาร์บอเนตมากขึ้น เมื่อวัดค่าสภาพด่างแบบมีการกรองตัวอย่างน้ำทำให้มีค่าสภาพด่างลดลง

4.1.8.3 การฟื้นตัว

การฟื้นตัวของระบบโดยพิจารณาจากค่าสภาพด่างนี้ สังเกตได้จากค่าสภาพด่างในถังแอน็อกซิก ถังออกซิก และน้ำทิ้ง มีค่าเพิ่มมากขึ้นหลังจากที่ลดลงในขณะเกิดภาวะช็อก จนกระทั่งใกล้เคียงกับขณะอยู่ในสถานะคงตัว ซึ่งใช้เวลาประมาณ 6 ถึง 12 วัน ทั้งนี้เป็นเพราะน้ำเสียมีค่าพีเอชเพิ่มมากขึ้นและในถังแอน็อกซิกมีอัตราดีไนตริฟิเคชันมากกว่าขณะเกิดภาวะช็อกและสังเกตได้ว่าทุกการทดลองก่อนที่ระบบจะฟื้นตัวนั้นเมื่อใช้สภาพด่างเป็นเกณฑ์ ภายในถังออกซิกจะมีค่าสภาพด่างมากกกว่าช่วงสถานะคงตัวแสดงว่าช่วงเวลาดังกล่าวปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในถังออกซิกยังไม่ฟื้นตัวซึ่งสามารถพิจารณาร่วมกับการฟื้นตัวของระบบโดยใช้ค่าแอมโมเนียเป็นเกณฑ์ได้ โดยเฉพาะการทดลองที่สังกะสี 50 มก./ล. ในช่วงการฟื้นตัว 14 วันสภาพด่างมีค่ามากกว่าช่วงสถานะคงตัวทั้งหมด ระยะการฟื้นตัวของแต่ละการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-20 และลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟผลการทดลองรวมในรูปที่ 4-8 (ง) ถึง (ฉ)

4.1.9 ค่าซีโอดี

4.1.9.1 สถานะคงตัว

จากผลการทดลองพบว่าที่สถานะคงตัวค่าซีโอดีกรองโดยเฉลี่ยภายในถังแอน็อกซิกและในน้ำทิ้งมีค่าใกล้เคียงกันทุกการทดลองโดยมีค่าอยู่ในช่วง 32-46 มก./ล.และ18-24 มก./ล. ตามลำดับ แต่เมื่อทดลองหาค่าซีโอดีทั้งหมดในน้ำทิ้งพบว่าชุดควบคุม(สังกะสี 0 มก./ล.)มีค่ามากที่สุดโดยเฉลี่ย 61 มก./ล. ส่วนที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีค่า

ตารางที่ 4-19 ค่าสภาพด่าง(มก./ล.)ของชุดทดลองที่ 1ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่งระบบ	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	น้ำเสีย	333	324	315	352
	ถังแอน็อกซิก	167	158	148	129
	ถังออกซิก	93	93	74	65
	น้ำทิ้ง	93	83	65	74
10	น้ำเสีย	359	367	334	321
	ถังแอน็อกซิก	173	156	134	128
	ถังออกซิก	101	93	89	67
	น้ำทิ้ง	83	83	83	65
25	น้ำเสีย	401	424	413	401
	ถังแอน็อกซิก	178	156	156	134
	ถังออกซิก	89	89	89	67
	น้ำทิ้ง	89	67	67	67
35	น้ำเสีย	390	379	401	370
	ถังแอน็อกซิก	156	134	128	135
	ถังออกซิก	93	78	78	78
	น้ำทิ้ง	78	67	56	56
50	น้ำเสีย	424	402	402	446
	ถังแอน็อกซิก	156	123	112	128
	ถังออกซิก	89	87	67	67
	น้ำทิ้ง	78	78	67	67

ตารางที่ 4-20 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)เมื่อใช้ค่าสภาพด่างในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 เป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี(มก./ล.)	0(ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	10	12	10	6	มากกว่า 14 วัน

ซีโอดีทั้งหมดของน้ำทิ้งโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 37-41 มก./ล. ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ดังตารางที่ 4-21 และ กราฟรูปที่ 4-9 (ก) และเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองและซีโอดีทั้งหมดแล้วโดยเฉลี่ยทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณร้อยละ 95-96 และร้อยละ 92-93 ตามลำดับ ยกเว้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดของชุดควบคุมที่ลดลงเหลือร้อยละ 83 ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ดังตารางที่ 4-22 และ กราฟรูปที่ 4.9(ข)

แสดงให้เห็นว่า***การเติมสังกะสีเข้าสู่ระบบถึง 50 มก./ล.ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี(กรอง)ของระบบ หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าไม่มีผลกระทบต่อคาร์บอนเฮเทอโรโทฟแบกทีเรีย***โดยสามารถยืนยันผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ได้***ในอัตราส่วนซีโอดีต่อสังกะสีที่ไม่ต่ำกว่า 10 มก.ซีโอดี/มก.สังกะสี*** ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Neufeld และ Hermann (1975) ที่พบว่าถ้าเอสอาร์ทีมากกว่า 2.5 วัน ***การปนเปื้อนของสังกะสีในน้ำเสียไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี โดยอัตราส่วนของสังกะสี(มก./ล.)ต่อวีเอสเอส(ก.)ต้องไม่เกิน 200 และจากการที่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดของชุดควบคุมมีค่าน้อยกว่าการทดลองอื่นนั้น คาดว่าเป็นเพราะการเติมสังกะสีทำให้เซลล์มีน้ำหนักมากขึ้นและจับตัวเป็นฟล็อกได้ดี น้ำทิ้งจึงใส มีค่าของแข็งแขวนลอยน้อย ฉะนั้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดของการทดลองสังกะสีที่ 10 ถึง 50 มก./ล.จึงดีกว่าชุดควบคุม*** และเมื่อพิจารณาค่าซีโอดีในระบบในแต่ละถังปฏิกิริยาพบว่าซีโอดีส่วนใหญ่จะถูกกำจัดภายในถังแอนอ็อกซิกเนื่องจากในถังนี้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งต้องการสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นสารตั้งต้นดังแสดงในสมการที่ 2.18 ฉะนั้นการกำจัดซีโอดีส่วนมากจึงเกิดภายในถังแอนอ็อกซิก

ตารางที่ 4-21 ค่าซีโอดีโดยเฉลี่ย(มก./ล.)ของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี	น้ำเสีย (ทั้งหมด)		ถังแอนอ็อกซิก (กรอง)		น้ำทิ้ง (ทั้งหมด)		น้ำทิ้ง (กรอง)	
(มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	483	11.7	39	6.61	61	16.09	18	3.76
10	496	12.2	36	12.38	37	5.38	18	4.24
25	502	18.4	46	7.89	39	5.65	22	4.22
35	507	15.1	38	9.28	41	5.30	24	6.32
50	506	27.5	32	16.76	40	3.67	19	2.94

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n) เท่ากับ 7

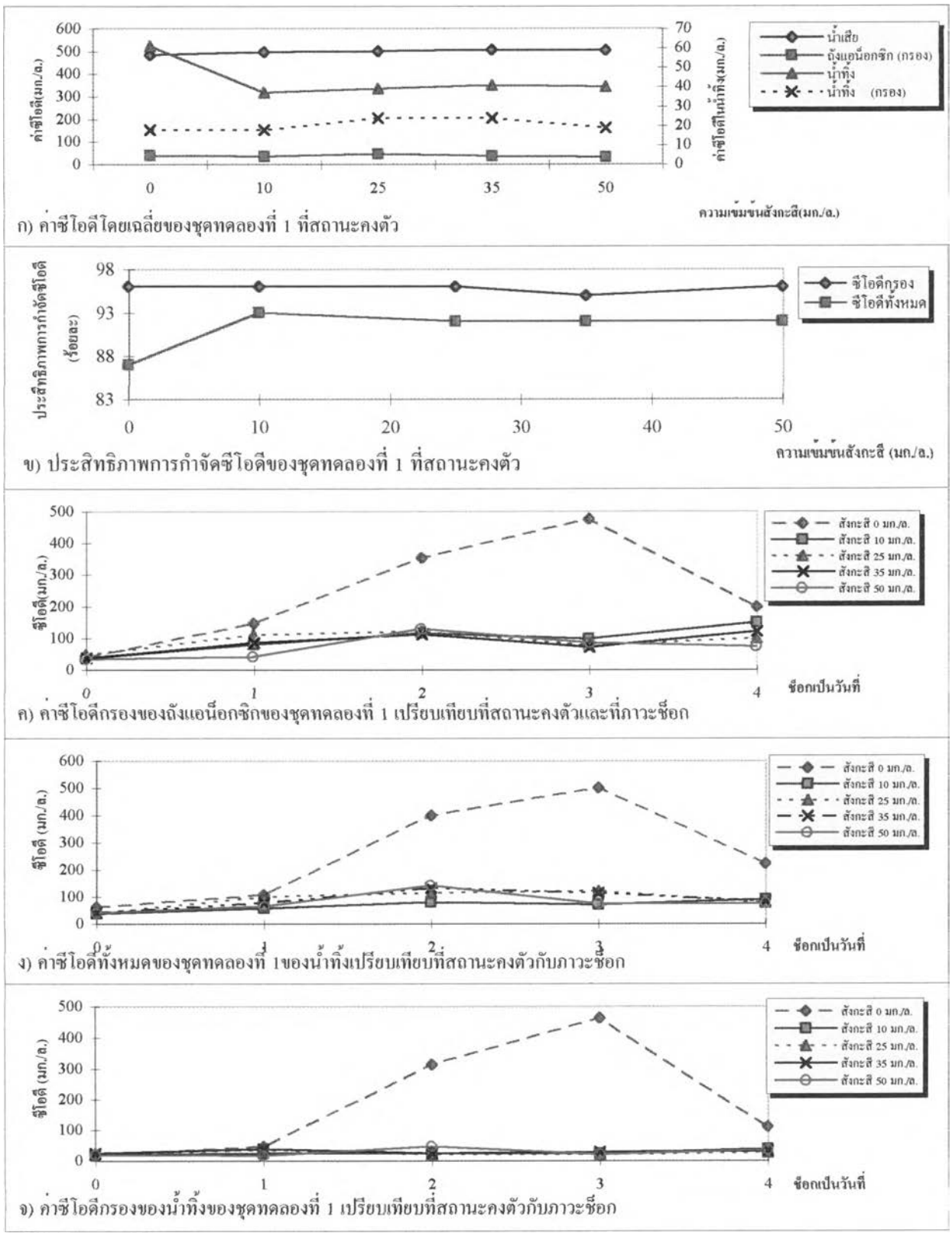
ตารางที่ 4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองและซีโอดีทั้งหมดของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว

ประสิทธภาพการกำจัดซีโอดี (ร้อยละ)	ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)				
	0 (ชุดควบคุม)	10	25	35	50
กรอง	96	96	95	95	96
ทั้งหมด	87	93	92	92	92

4.1.9.2 ภาวะช็อก

ในขณะเกิดภาวะช็อกค่าซีโอดีกรองของถังแอน็อกซิกเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะชุดควบคุมมีค่าเพิ่มมากที่สุดถึง 476 มก./ล. ในวันที่ 3 ของการช็อก ส่วนการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสี 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. พบว่าซีโอดีกรองเพิ่มขึ้นสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 121-149 มก./ล. ซึ่งวันที่ซีโอดีกรองมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดนั้นไม่แน่นอน ในขณะเดียวกันค่าซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีกรองในน้ำทิ้งของชุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเช่นกันโดยมีค่าสูงถึง 501 และ 463 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนการทดลองชุดอื่นๆพบว่าค่าซีโอดีทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดนั้นน้อยกว่าชุดควบคุมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 90-142 มก./ล. และค่าซีโอดีกรองในน้ำทิ้งนั้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยมีค่ามากที่สุดอยู่ระหว่าง 35 ถึง 46 มก./ล. ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-23และจากกราฟในรูปที่ (ค) ถึง (จ) และ***เมื่อคิดเทียบเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่น้อยที่สุดของแต่ละการทดลองขณะเกิดภาวะช็อก จะได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีกรองของชุดควบคุมลดลงมากที่สุดคือเหลือเพียงร้อยละ 0 และ 8 ตามลำดับ ในขณะการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดลดลงเหลือร้อยละ 73 ถึง 81 และ 91 ถึง 93 ตามลำดับ*** ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-24 และจากกราฟในรูปที่ 4-9 (ฉ) ถึง (ช)

เมื่อพิจารณาที่ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งปรากฏว่าซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีกรองของชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าขณะอยู่ในสถานะคงตัวมาก ทั้งนี้เมื่อระบบเกิดภาวะช็อกมีผลยับยั้งการทำงานของคาร์บอนแบคทีเรียมาก ส่วนการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 10 ถึง 50 มก./ล. นั้น ค่าซีโอดีทั้งหมดมีค่าสูงกว่าที่สถานะคงตัวอย่างชัดเจน ในขณะที่ค่าซีโอดีกรองกลับมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นผลเนื่องจากขณะเกิดภาวะช็อกนี้ในน้ำทิ้งมีจุลินทรีย์บางส่วนหลุดปนออกมาด้วย



ก) ค่าซีโอดีโดยเฉลี่ยของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว

ข) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว

ค) ค่าซีโอดีกรองของถังแอนอ็อกซิกของชุดทดลองที่ 1 เปรียบเทียบที่สถานะคงตัวและที่ภาวะช็อก

ง) ค่าซีโอดีทั้งหมดของชุดทดลองที่ 1ของน้ำทิ้งเปรียบเทียบที่สถานะคงตัวกับภาวะช็อก

จ) ค่าซีโอดีกรองของน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 1 เปรียบเทียบที่สถานะคงตัวกับภาวะช็อก

รูปที่ 4-9 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

โดยมีลักษณะเป็นฟล็อกแบบปลายเข็มหมุด โดยสังเกตได้จากค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งที่เพิ่มมากขึ้นดังแสดงผลในหัวข้อที่ 3.2 ใน***ขณะเดียวกันคาร์บอนแบกทีเรียยังคงสามารถทำงานได้ดี ทำให้ซีโอดีกรองของน้ำทิ้งมีค่าใกล้เคียงกับที่สถานะคงตัว*** ซึ่งสามารถสรุปได้***ว่าเมื่อระบบเกิดภาวะช็อกจากสังกะสี 300 มก./ล. คาร์บอนแบกที่เรียที่ไม่เคยชินกับสังกะสีมาก่อนจะถูกยับยั้งการทำงานส่วนพวกที่เคยชินกับสังกะสีแล้วยังคงสามารถทำงานได้ดี*** ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Neufeld และ Hermann (1975) ดังกล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 4-23 ค่าซีโอดี(มก./ล.)ชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่ง	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	น้ำเสีย(ทั้งหมด)	512	529	501	493
	ถังแอนีอกซิก (กรอง)	146	353	476	200
	น้ำทิ้ง(ทั้งหมด)	107	400	501	224
	น้ำทิ้ง (กรอง)	46	314	463	112
10	น้ำเสีย(ทั้งหมด)	500	500	539	485
	ถังแอนีอกซิก (กรอง)	80	116	98	149
	น้ำทิ้ง(ทั้งหมด)	56	80	71	90
	น้ำทิ้ง (กรอง)	24	24	24	39
25	น้ำเสีย(ทั้งหมด)	499	479	475	498
	ถังแอนีอกซิก (กรอง)	110	122	78	100
	น้ำทิ้ง(ทั้งหมด)	100	115	122	78
	น้ำทิ้ง (กรอง)	35	40	60	37
35	น้ำเสีย(ทั้งหมด)	521	502	485	505
	ถังแอนีอกซิก (กรอง)	85	112	72	121
	น้ำทิ้ง(ทั้งหมด)	78	132	115	84
	น้ำทิ้ง (กรอง)	38	24	28	32
50	น้ำเสีย(ทั้งหมด)	498	528	509	485
	ถังแอนีอกซิก (กรอง)	80	86	130	115
	น้ำทิ้ง(ทั้งหมด)	64	142	74	77
	น้ำทิ้ง (กรอง)	46	46	30	35

4.1.9.3 การฟื้นตัว

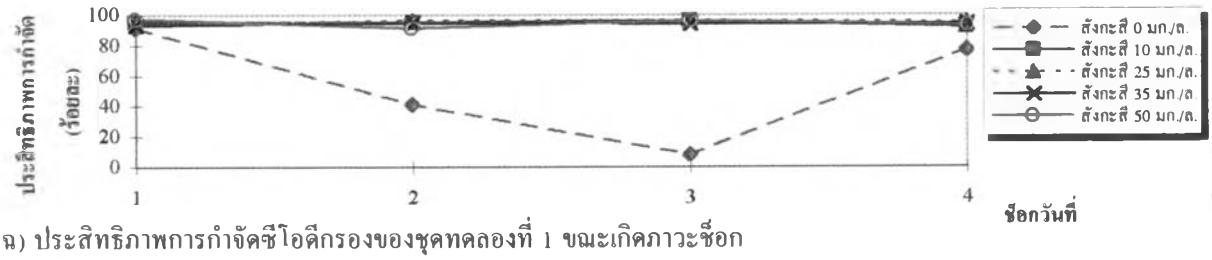
การสังเกตการฟื้นตัวเมื่อใช้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบหลังจากเกิดภาวะช็อกนั้นควรใช้ค่าซีโอดี ***ทั้งหมด*** ในน้ำทิ้งเป็นเกณฑ์ เพราะค่าที่วัดได้ในแต่ละช่วงของทุกการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ในขณะที่ค่าซีโอดีกรองนั้นจะใช้สังเกตได้เฉพาะชุดควบคุม ส่วนที่ความเข้มข้น 10 ถึง 50 มก./ล. นั้นค่าซีโอดีกรองในน้ำทิ้งใกล้เคียงกันเกือบทุกช่วงการทดลองจึงใช้เป็นที่สังเกตได้ยาก จากผลการทดลอง ***ระบบสามารถฟื้นตัวมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมดได้ตามปกติภายใน 6 ถึง 8 วัน*** ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกรองนั้นที่ชุดควบคุมใช้เวลา 8 วัน เช่นกัน ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 4-25 และลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟผลการทดลองรวมในรูปที่ 4-9 (ซ) ถึง (ญ)

ตารางที่ 4-24 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองและซีโอดีทั้งหมดของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

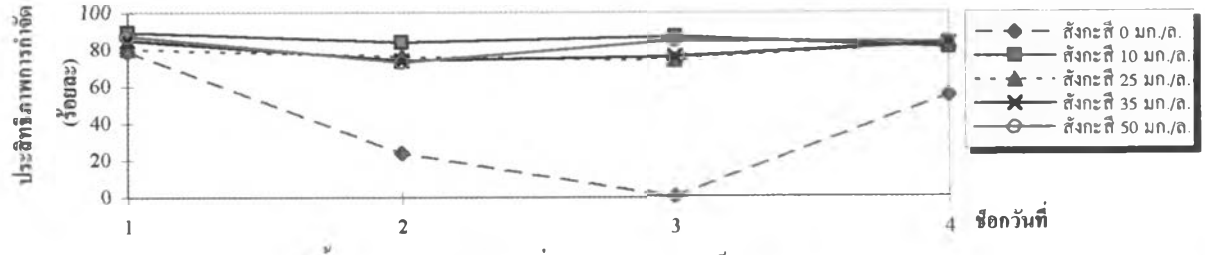
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	ซีโอดีกรอง	91	41	8	77
	ซีโอดีทั้งหมด	79	24	0	55
10	ซีโอดีกรอง	95	95	96	92
	ซีโอดีทั้งหมด	89	84	87	81
25	ซีโอดีกรอง	93	96	96	95
	ซีโอดีทั้งหมด	80	76	74	84
35	ซีโอดีกรอง	93	95	94	94
	ซีโอดีทั้งหมด	85	74	76	83
50	ซีโอดีกรอง	97	91	96	93
	ซีโอดีทั้งหมด	87	73	85	84

ตารางที่ 4-25 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)เมื่อใช้ค่าซีโอดีของชุดทดลองที่ 1 ในน้ำทิ้ง(ทั้งหมด) เป็นเกณฑ์

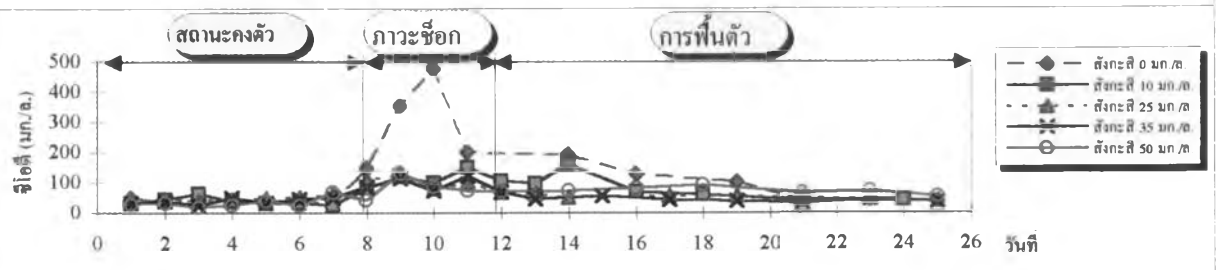
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	0 (ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	8	7	6	7	7



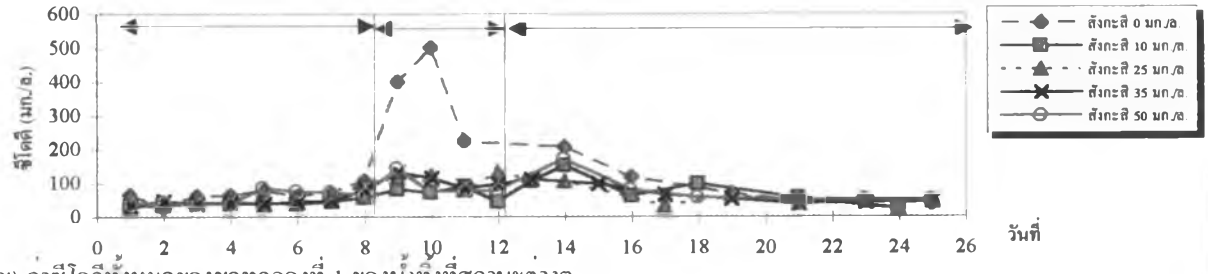
ฉ) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



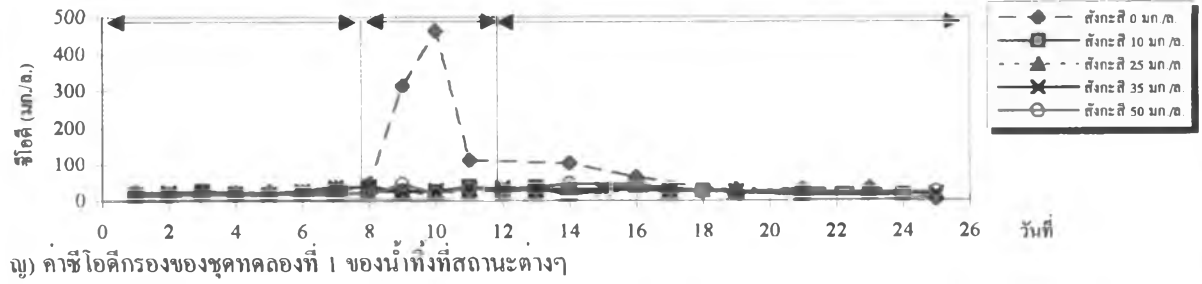
ช) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



ซ) ค่าซีโอดีกรองของชุดทดลองที่ 1 ของถังแอนือกซิกที่สถานะต่างๆ



ฌ) ค่าซีโอดีทั้งหมดของชุดทดลองที่ 1 ของน้ำทิ้งที่สถานะต่างๆ



ญ) ค่าซีโอดีกรองของชุดทดลองที่ 1 ของน้ำทิ้งที่สถานะต่างๆ

รูปที่ 4-9 (ต่อ)ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะะต่างๆ

4.1.10 ค่าไนไทรต์

4.1.10.1 สถานะคงตัว

ที่สถานะคงตัวค่าไนไทรต์ในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.03 ถึง 0.14 มก./ล. ยกเว้นค่าไนไทรต์ในถังออกซิกของการทดลองสังกะสี 50 มก./ล.มีค่า 2.40 มก./ล. ดังแสดงในตารางที่ 4-26 และกราฟที่ 4-10 (ก)

ผลการทดลองที่ได้ค่าไนไทรต์มีความแตกต่างกันเฉพาะที่ถังออกซิก โดยสามารถสรุปได้ว่า ***ที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. สังกะสีเริ่มมีผลในการลดอัตราการเปลี่ยนไนไทรต์ให้เป็นไนเทรตหรืออาจกล่าวได้ว่าเริ่มมีผลต่อพวกไนโตรแบกเตอร์*** โดยสังเกตจากการที่มีไนไทรต์คงเหลือในถังเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4-26 ค่าไนไทรต์โดยเฉลี่ย(มก./ล.)ของชุดทดลองที่ 1ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ถังแอน็อกซิก (กรอง)		ถังออกซิก (กรอง)	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	0.03	0.01	0.05	0.01
10	0.03	0.01	0.04	0.01
25	0.04	0.01	0.05	0.01
35	0.03	0.01	0.14	0.02
50	0.03	0.01	2.40	0.25

หมายเหตุ จำนวนขอมูล(n) เท่ากับ 7

4.1.10.2 ภาวะช็อก

ที่ภาวะช็อกค่าไนไทรต์ในถังแอน็อกซิกของแต่ละการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัวมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.11 มก./ล. ส่วนในถังออกซิกการทดลองที่สังกะสีความเข้มข้น 0 ถึง 25 มก./ล. ไนไทรต์มีค่าใกล้เคียงกับสถานะคงตัวเช่นกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.09 มก./ล. ในขณะที่สังกะสีความเข้มข้น 35 และ 50 มก./ล. ไนไทรต์มีค่าลดลง

จากสถานะคงตัวเป็น 0.02 ถึง 0.05 มก./ล. และ 0.04 ถึง 0.32 มก./ล. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-27และกราฟที่ 4-10 (ข) และ (ค)

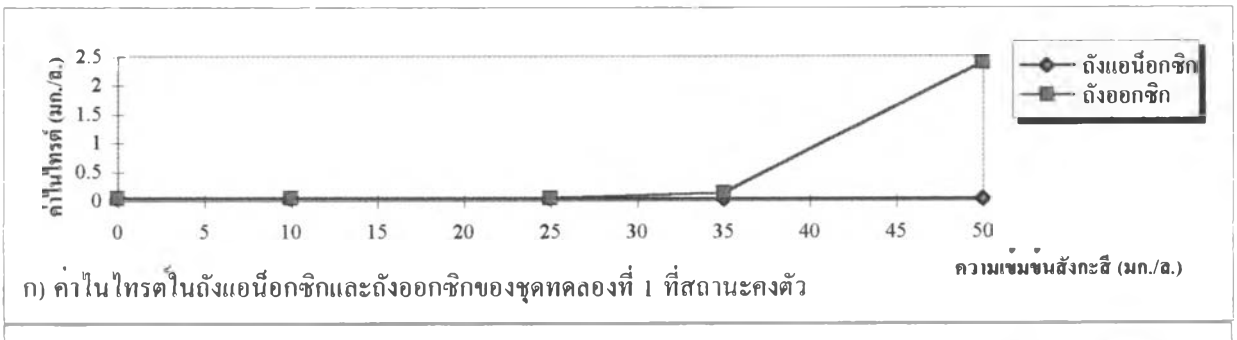
เมื่อเกิดภาวะช็อกค่าไนไทรต์ภายในถังออกซิกมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนกว่าภายในถังแอน็อกซิก โดยการทดลองที่สังกะสี 35 และ 50 มก./ล. ไนไทรต์ภายในถังออกซิกลดลงกว่าช่วงสถานะคงตัวเนื่องจากการช็อกระบบมีผลต่อไนตริฟายเออร์แบกทีเรีย และเนื่องจากการทดลองที่สังกะสี 35 และ 50 มก./ล.ค่าไนไทรต์ในถังออกซิกมีค่าสูงกว่าการทดลองที่สังกะสี 0 ถึง 25 มก./ล. ซึ่งมีค่าต่ำอยู่แล้วจึงไม่สามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์นี้ได้

ตารางที่ 4-27 ค่าไนไทรต์(มก./ล.)ของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

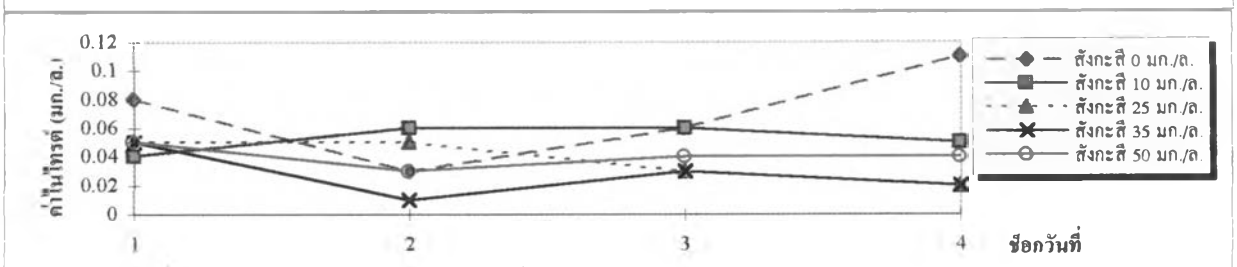
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่ง	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	0.08	0.03	0.06	0.11
	ถังออกซิก(กรอง)	0.02	0.05	0.03	0.09
10	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	0.04	0.06	0.06	0.05
	ถังออกซิก(กรอง)	0.04	0.05	0..07	0.06
25	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	0.05	0.05	0.03	0.02
	ถังออกซิก(กรอง)	0.04	0.03	0.03	0.03
35	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	0.05	0.01	0.03	0.02
	ถังออกซิก(กรอง)	0.05	0.02	0.02	0.02
50	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	0.05	0.03	0.04	0.04
	ถังออกซิก(กรอง)	0.32	0.11	0.06	0.04

4.1.10.3 การฟื้นตัว

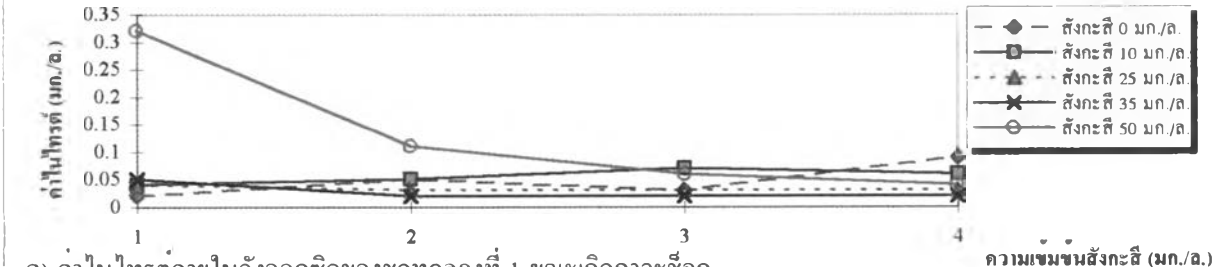
จากการเก็บผลการทดลองในระยะการฟื้นตัว 14 วัน พบว่าชุดควบคุมมีค่าไนไทรต์ในถังออกซิกต่ำอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.09 มก./ล. ในช่วง 7 วันแรกของระยะฟื้นตัว (ช่วงนี้ยังคงมีแอมโมเนียอยู่ในถังออกซิก เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไทรต์ยังต่ำเมื่อเทียบกับช่วงสถานะคงตัว) จากนั้นค่าไนไทรต์ปรับตัวสูงขึ้นถึง 5.2 มก./ล. และเริ่มลดลงในวันที่ 14 เหลือเป็น 3.65 มก./ล. ซึ่งมีค่ามากกว่าช่วงสถานะคงตัว แสดงถึงการฟื้นตัวในการเปลี่ยนไนไทรต์ให้เป็นไนเทรต หรือการฟื้นตัวของไนโตรแบกเทอร์ของชุดควบคุมต้องใช้เวลามากกว่า



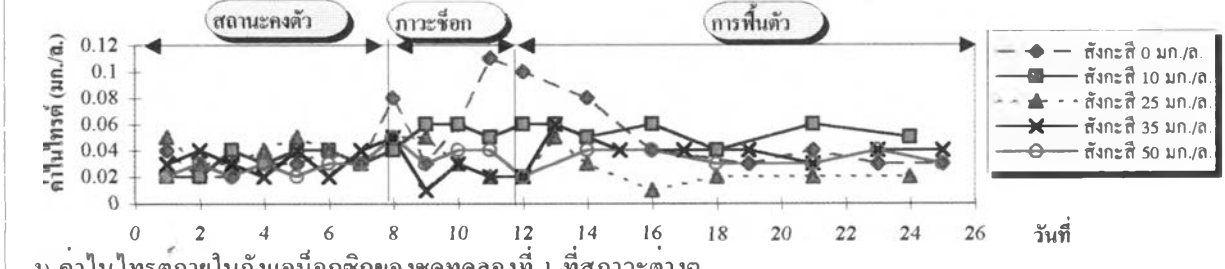
ก) ค่าไนไทรต์ในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว



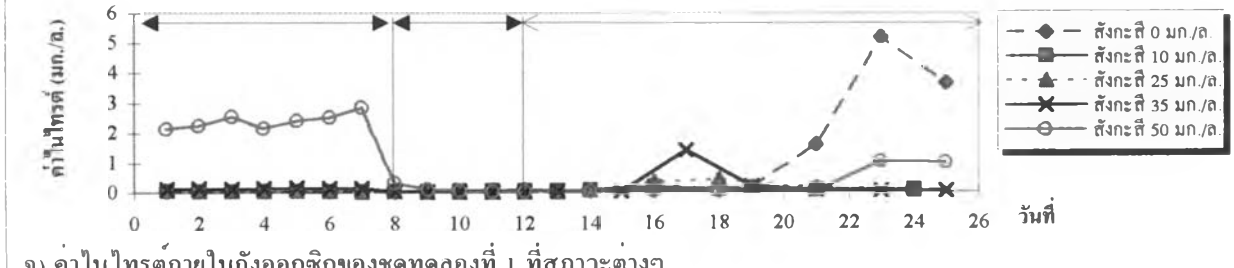
ข) ค่าไนไทรต์ภายในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



ค) ค่าไนไทรต์ภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



ง) ค่าไนไทรต์ภายในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



จ) ค่าไนไทรต์ภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-10 ค่าไนไทรต์ภายในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

14 วัน ส่วนการทดลองที่ความเข้มข้น 10 - 35 มก./ล. ค่าไนไทรต์มีการปรับตัวสูงขึ้นเป็นบางวันเท่านั้นไม่เด่นชัดเหมือนชุดควบคุม แสดงถึงความสามารถในการฟื้นตัวของการแปลงไนไทรต์ให้เป็นไนเทรตสามารถเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าชุดควบคุม ส่วนที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. ในช่วง 12 วันแรกของการฟื้นตัวไนไทรต์มีค่าใกล้เคียงในช่วงภาวะช็อก และมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 13 แต่ยังคงมีค่าน้อยกว่าช่วงสถานะคงตัว ในขณะเดียวกันแอมโมเนียในถังออกซิกของการทดลองนี้มีค่าสูงกว่าช่วงสถานะคงตัวเช่นกัน ฉะนั้นอัตราการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไทรต์ไม่สามารถฟื้นตัวได้ภายใน 14 วัน หลังเกิดภาวะช็อก ระยะเวลาการฟื้นตัวแสดงดังตารางที่ 4-28

ตารางที่ 4-28 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)เมื่อใช้ค่าไนไทรต์ของชุดทดลองที่ 1ในถังออกซิกเป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	0 (ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	มากกว่า 14	7	10	10	มากกว่า 14

4.1.11 ค่าไนเทรต

4.1.11.1 สถานะคงตัว

จากผลการทดลองพบว่าค่าไนเทรตโดยเฉลี่ยในถังแอน็อกซิกที่ความเข้มข้นสังกะสี 0(ชุดควบคุม), 10 และ 25 มก./ล. มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.5 มก./ล. และที่ความเข้มข้นสังกะสี 35 และ 50 มก./ล. มีค่าไนเทรตเท่ากับ 1.0 มก./ล. ส่วนในถังออกซิกค่าไนเทรตโดยเฉลี่ยของชุดควบคุมมีค่าเป็น 5.7 มก./ล. ส่วนความเข้มข้นสังกะสีที่ 10, 25 และ 35 มก./ล. ไนเทรตมีค่าอยู่ในช่วง 7.1 ถึง 7.2 มก./ล. และที่ความเข้มข้นสังกะสี 50 มก./ล. มีค่า 4.3 มก./ล. ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-29 และกราฟที่ 4.11 (ก)

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาค่าไนเทรตในถังแอน็อกซิกพบว่ามีค่าน้อยมากเนื่องปริมาณไนเทรตที่เข้าสู่ระบบ(จากถังออกซิก)มีค่าไม่มากนัก เมื่อเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในถังแอน็อกซิกไนเทรตจึงถูกใช้อย่างรวดเร็ว ส่วนค่าไนเทรตของถังออกซิกพบว่าชุดควบคุมมีปริมาณไนเทรตอยู่น้อยกว่าที่การทดลองที่สังกะสี 10, 25 และ 35 มก./ล. เนื่องจากระบบการทำงานของชุดควบคุมสามารถใช้ไนเทรตได้มากกว่าซึ่งหมายถึงการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบของชุดควบคุมนั้นมีมากกว่าด้วย ในขณะที่การทดลองสังกะสีที่ 50 มก./ล.ค่าไนเทรต

กลับมีน้อยกว่าชุดควบคุม แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณารวมกับค่าแอมโมเนียที่ยังคงเหลือในถังออกซิกแล้ว จะพบว่าแอมโมเนียที่เปลี่ยนรูปมาเป็นไนเทรตนั้นมีน้อยกว่าทุกการทดลอง ซึ่งแสดงว่าอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันของการทดลองนี้มีค่าน้อยที่สุด และในกรณีที่ไนเทรตและแอมโมเนียในถังออกซิกของแต่ละการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ต่างกันที่ค่าไนเทรตในถังแอน็อกซิก เช่นที่ความเข้มข้น 35 มก./ล. มีปริมาณไนเทรตในถังแอน็อกซิกมากกว่าที่ความเข้มข้น 10 และ 25 มก./ล. นั่นแสดงถึงอัตราดีไนตริฟิเคชันของความเข้มข้น 35 มก./ล. ต้องเกิดขึ้นน้อยกว่า จากหลักการดังกล่าวสามารถใช้พิจารณาอย่างคร่าวๆได้ว่าการทดลองใดมีปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันมากหรือน้อยกว่ากัน ซึ่งการทดลองหาอย่างละเอียดนั้นจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4-29 ค่าไนเทรตโดยเฉลี่ย(มก./ล.)ของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว

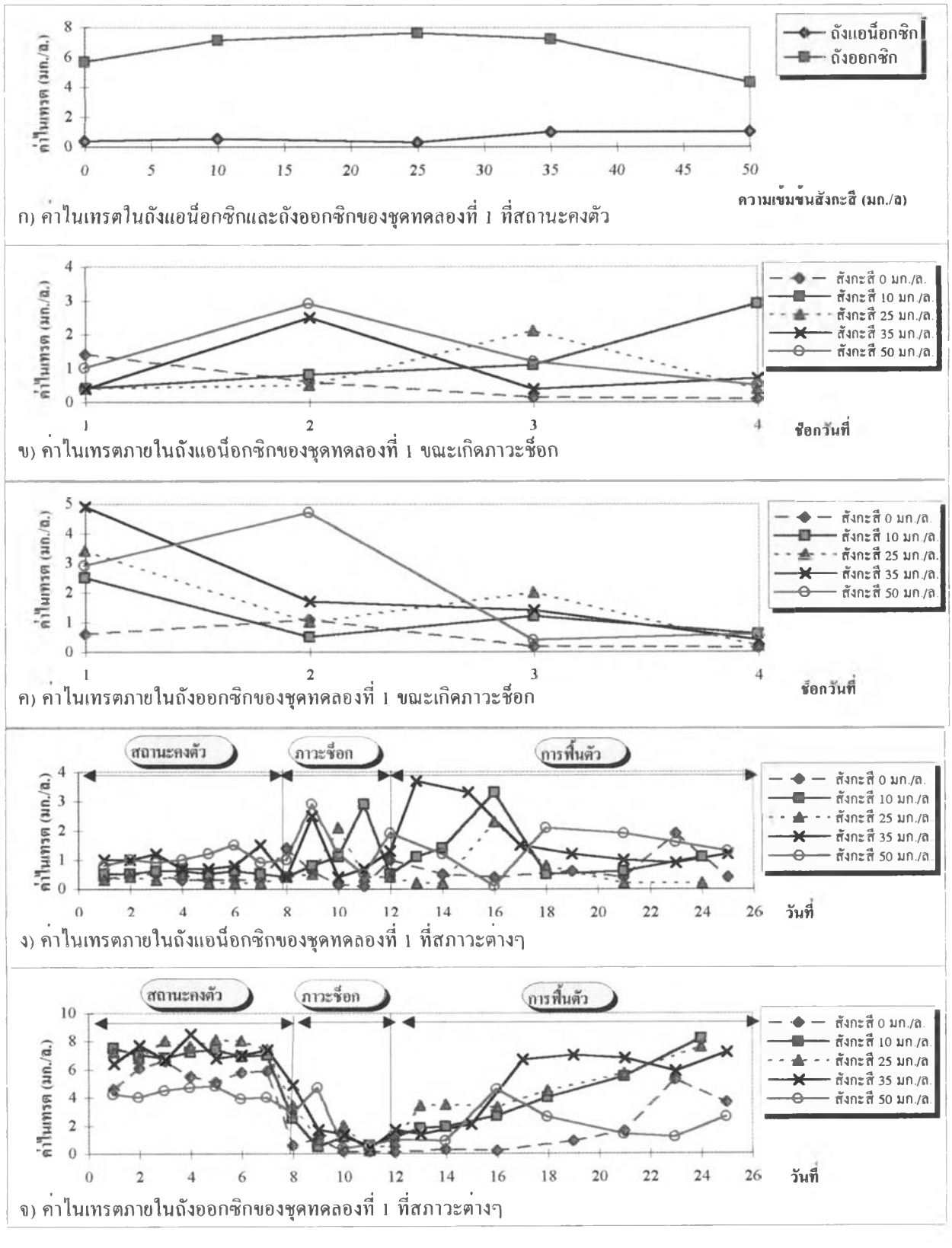
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ถังแอน็อกซิก (กรอง)		ถังออกซิก (กรอง)	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	0.4	0.24	5.7	0.66
10	0.5	0.05	7.1	0.26
25	0.3	0.12	7.6	0.48
35	1.0	0.29	7.2	0.72
50	1.0	0.24	4.3	0.37

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n) เท่ากับ 7

4.1.11.2 ภาวะช็อก

ที่ภาวะช็อกไนเทรตในถังออกซิกมีค่าลดลงทุกการทดลองโดยการทดลองที่สังกะสี 0(ชุดควบคุม), 0, 25, 35 และ 50 มก./ล. ไนเทรตมีค่าอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 1.1 มก./ล., 0.5 ถึง 2.5 มก./ล., 0.2 ถึง 3.4 มก./ล., 0.4 ถึง 4.9 มก./ล. และ 0.4 ถึง 4.7 มก./ล.ตามลำดับ ในขณะที่ในถังแอน็อกซิกมีค่ามากขึ้นเป็นบางวัน ซึ่งในแต่ละการทดลองจะแตกต่างกันไปดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4-30 และกราฟรูปที่ 4-11(ข) และ (ค)

จากผลการทดลองพบว่าในทุกการทดลองไนเทรตในถังออกซิกมีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากขณะที่เกิดภาวะช็อกนั้นมีผลในการยับยั้งการทำงานของไนตริฟายเออร์



ก) ค่าไนเทรตในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว

ข) ค่าไนเทรตภายในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก

ค) ค่าไนเทรตภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก

ง) ค่าไนเทรตภายในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

จ) ค่าไนเทรตภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-11 ค่าไนเทรตภายในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

แบกทีเรียพวกไนโตรโซโมนัสทำให้อัตราการแปลงรูปแอมโมเนียให้เป็นไนไทรต์ลดลง สังเกตได้จากขณะช็อกค่าแอมโมเนียของถังออกซิกมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังอาจเป็นผลจากไนตริฟายเออร์แบกทีเรียพวกไนโตรแบกเตอร์ถูกยับยั้งการทำงานด้วยเช่นกันจึงส่งผลให้ไนเทรตมีค่าลดลงอย่างมาก

ตารางที่ 4-30 ค่าไนเทรด(มก./ล.)ของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่ง	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	1.4	0.6	0.2	0.1
	ถังออกซิก(กรอง)	0.6	1.1	0.2	0.2
10	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	0.4	0.8	1.1	2.9
	ถังออกซิก(กรอง)	2.5	0.5	1.2	0.6
25	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	0.4	0.5	2.1	0.4
	ถังออกซิก(กรอง)	3.4	1.0	2.0	0.2
35	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	0.4	2.5	0.4	0.7
	ถังออกซิก(กรอง)	4.9	1.7	1.4	0.4
50	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	1.0	2.9	1.2	0.5
	ถังออกซิก(กรอง)	3.2	4.7	0.4	0.6

4.1.11.3 การฟื้นตัว

การฟื้นตัวของระบบสังเกตได้จากการที่ค่าไนเทรดในถังออกซิกปรับตัวสูงขึ้นหลังจากที่มีค่าลดลงในขณะเกิดภาวะช็อกโดยการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสี 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล.ใช้เวลาในการฟื้นตัวประมาณ 12, 10,10, 6 และ มากกว่า 14 วัน ตามลำดับ ดังสรุปในตารางที่ 4-31 และลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟผลการทดลองรวมดังรูปที่ 4-11(ง) และ (จ)

จะเห็นได้ว่าการทดลองสังกะสีที่ 50 มก./ล. ระบบใช้เวลาในการฟื้นตัวนานกว่าการทดลองอื่นหรืออาจไม่สามารถมีประสิทธิภาพเท่ากับที่สถานะคงตัว ทั้งนี้เนื่องจากสังกะสีที่ความเข้มข้นนี้มีผลในการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์พวกไนตริฟายเออร์อย่างมากตั้งแต่ในช่วงการทดลองที่สถานะคงตัว เมื่อระบบถูกช็อกมีผลทำให้พวกไนตริฟายเออร์มีประสิทธิ

ภาพการทำงานลดลงมากขึ้นจนกระทั่งไม่สามารถฟื้นตัวได้ภายใน 14 วัน หลังจากเกิดการช็อกได้

ตารางที่ 4-31 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)เมื่อใช้ค่าไนเทรตของชุดทดลองที่ 1ที่ถังออกซิกเป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	0 (ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	12	10	10	10	มากกว่า 14

4.1.12 ค่าแอมโมเนีย

4.1.12.1 สถานะคงตัว

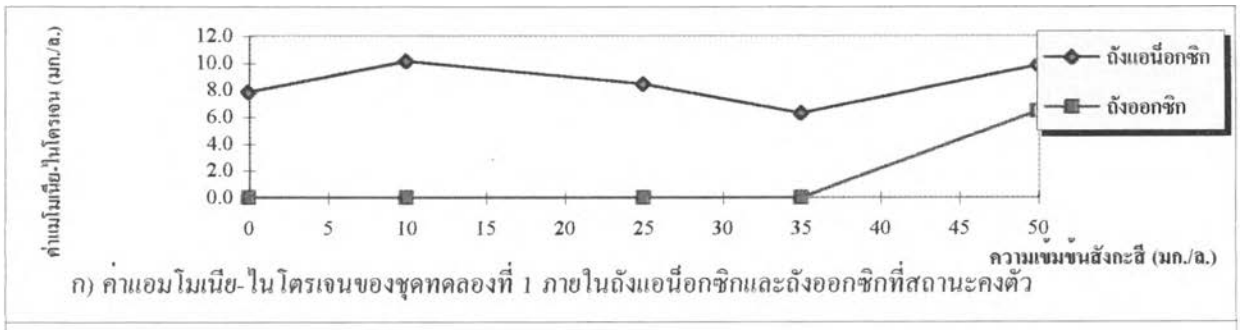
จากการวัดค่าแอมโมเนียในถังแอนื่อกซิกและออกซิกพบว่า โดยเฉลี่ยแล้วแอมโมเนียในถังแอนื่อกซิกทุกการทดลองมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6 ถึง 10 มก./ล. และในถังออกซิกมีค่าเป็น 0 มก./ล. ยกเว้นการทดลองที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. แอมโมเนียมีค่าโดยเฉลี่ย 6.4 มก./ล. ผลการทดลองดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4-32 และกราฟที่ 4.12 (ก)

จะเห็นได้ว่า***ที่ความเข้มข้นของสังกะสี 50 มก./ล. มีผลต่อไนตริฟายเออร์แบกทีเรียพวกไนโตรโซโมนัสอย่างชัดเจน โดยสังเกตได้จากภายในถังออกซิกมีแอมโมเนียเหลืออยู่ต่างจากการทดลองอื่นๆที่มีการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียไปอยู่ในรูปของไนไทรต์และไนเทรตจนหมด***

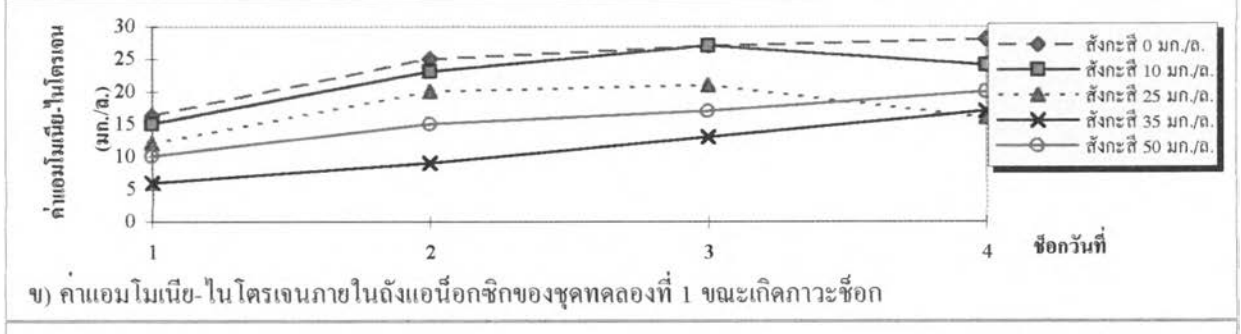
ตารางที่ 4-32 ค่าแอมโมเนียโดยเฉลี่ย(มก./ล.)ของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ถังแอนื่อกซิก (กรอง)		ถังออกซิก (กรอง)	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	7.8	0.93	0.00	0.00
10	10.1	0.90	0.00	0.00
25	8.4	1.40	0.00	0.00
35	6.3	0.95	0.00	0.00
50	9.9	0.90	6.4	1.27

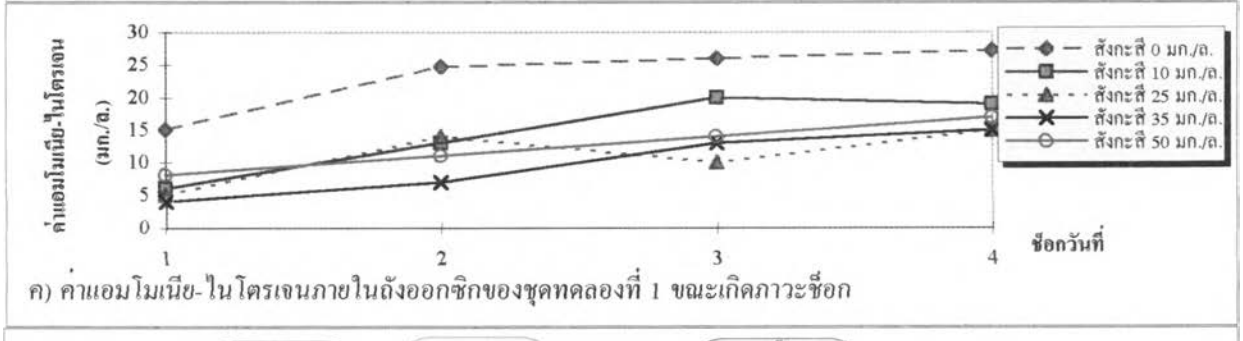
หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n) เท่ากับ 7



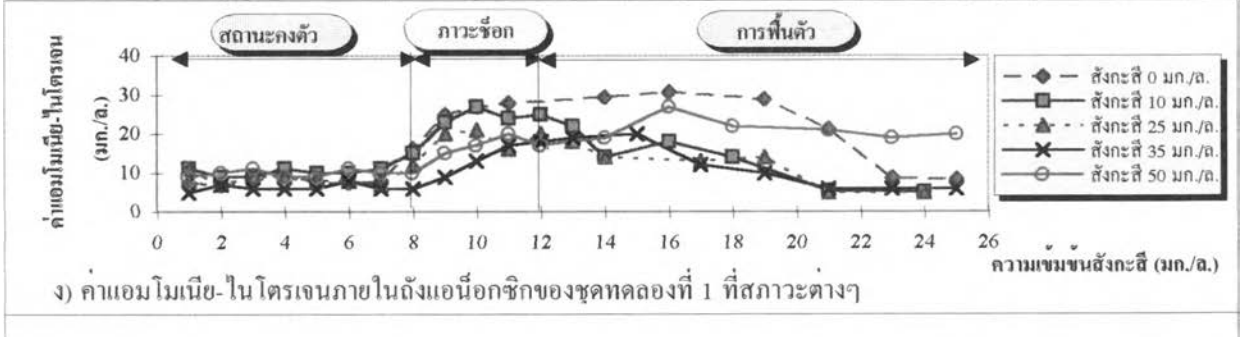
ก) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของชุดทดลองที่ 1 ภายในถังแอนื่อกซิกและถังออกซิกที่สถานะคงตัว



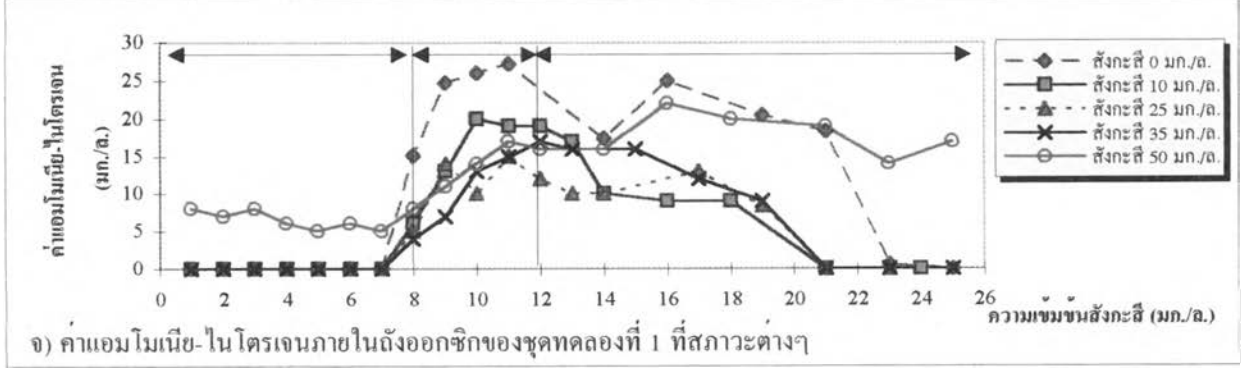
ข) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในถังแอนื่อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



ค) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก



ง) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในถังแอนื่อกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



จ) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-12 ค่าแอมโมเนียภายในถังแอนื่อกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

4.1.12.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกค่าแอมโมเนียในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกเพิ่มขึ้นทุกการทดลอง โดยในถังแอน็อกซิกมีค่าอยู่ในระหว่าง 10 ถึง 28 มก./ล. และในถังออกซิกมีค่าอยู่ระหว่าง 4 ถึง 27.2 มก./ล. ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-33 และกราฟในรูปที่ 4.12 (ข) และ (ค) ส่วนในรูปที่ 4.12 (จ) จะเห็นได้ว่าระบบไม่มีการกำจัดแอมโมเนียและฟื้นตัวได้ยากกว่าการทดลองอื่นๆ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในถังออกซิกจะแปรตามจำนวนวันในการช็อก ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในวันที่ 1 ถึง 2 ของการทดลองสังกะสีเท่ากับ 25 ถึง 50 มก./ล. นั้นน้อยกว่าชุดควบคุม แสดงว่าที่***ภาวะช็อกในช่วง 1 ถึง 2 วันแรกจุลินทรีย์ที่เคยชินกับน้ำเสียที่มีสังกะสีสามารถทำงานได้ดีกว่าจุลินทรีย์ที่ไม่เคยชินกับสังกะสี***

ตารางที่ 4-33 ค่าแอมโมเนีย(มก./ล.)ของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่ง	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	16.2	25.0	27.0	28.0
	ถังออกซิก(กรอง)	15.1	24.7	26	27.2
10	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	15.0	23.0	27.0	24.0
	ถังออกซิก(กรอง)	6.0	13.0	20.0	19.0
25	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	12.0	20.0	21.0	16.0
	ถังออกซิก(กรอง)	5.0	14.0	10.0	15.0
35	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	16.0	19.0	13.0	17.0
	ถังออกซิก(กรอง)	4.0	7.0	13.0	15.0
50	ถังแอน็อกซิก(กรอง)	10.0	15.0	17.0	20.0
	ถังออกซิก(กรอง)	8.0	11.0	14.0	17.0

4.1.12.3 การฟื้นตัว

การฟื้นตัวของระบบโดยสังเกตจากค่าแอมโมเนียนั้น สามารถพิจารณาได้จากค่าแอมโมเนียในถังออกซิก ซึ่งจากชุดทดลองนี้เมื่อระบบสามารถฟื้นตัวแล้ว แอมโมเนียใน

ถังออกซิกจะมีค่าเป็น 0 มก./ล. หรือใกล้เคียงมาก ซึ่งเป็นเช่นนี้เฉพาะการทดลองที่ความเข้มข้น 0 ถึง 35 มก./ล. โดยระบบฟื้นตัวภายใน 10 ถึง 12 วัน หลังการช็อก ในขณะที่ความเข้มข้น 50 มก./ล.นั้น ระบบไม่สามารถฟื้นตัวได้ภายใน 14 วัน หลังจากเกิดภาวะช็อก ระยะการฟื้นตัวแสดงดังตารางที่ 4-34 และลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟผลการทดลองรวมดังรูปที่ 4-12 (ง) และ (จ)

ตารางที่ 4-34 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)เมื่อใช้ค่าแอมโมเนียในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 เป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	0 (ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	12	10	10	10	มากกว่า 14

4.1.13 ค่าทีเคเอ็น

4.1.13.1 สถานะคงตัว

ค่าทีเคเอ็นโดยเฉลี่ยในน้ำทิ้งของการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 ถึง 35 มก./ล. มีค่าใกล้เคียงกันมีค่าอยู่ในช่วง 0.6 ถึง 0.9 มก./ล. ส่วนที่การทดลองสังกะสี 50 มก./ล.นั้น ค่าทีเคเอ็นโดยเฉลี่ยในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 6.57 มก./ล. ดังแสดงในตารางที่ 4-33 และกราฟรูปที่ 4.13 (ก) ซึ่งเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นของการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสีที่ 0 ถึง 35 มก./ล. มีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยร้อยละ 96 ถึง 98 ส่วนที่ความเข้มข้น 50 มก./ล.นั้นประสิทธิภาพลดต่ำลงเหลือเพียงร้อยละ 83 ดังแสดงในตารางที่ 4-35 และกราฟรูปที่ 4.2 (ข)

จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าสังกะสีที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. นี้มีผลต่อการทำงานของระบบในส่วนของการกำจัดทีเคเอ็นอย่างชัดเจน โดยมีผลในการยับยั้งการทำงานของพวกไนตริฟายเออร์ หรืออาจสรุปได้ว่าที่อัตราส่วนความเข้มข้นซีโอดีต่อสังกะสีในน้ำเสียตั้งแต่และต่ำกว่า 10 มก.ซีโอดี/มก.สังกะสีนั้น สังกะสีมีผลต่อการกำจัดทีเคเอ็นของระบบ

4.1.13.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นลดลงอย่างมาก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-37 และกราฟรูปที่ 4.13(ข) และ (ค) โดยเมื่อทำการช็อกระบบเป็นวันที่ 4 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นของการทดลองที่สังกะสี 0(ชุดควบคุม), 10, 25,

35 และ 50 มก./ล.เหลือร้อยละ 38, 54, 60, 55 และ 50 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-38 และกราฟรูปที่ 4.13(ง)

จากผลการทดลองดังกล่าวเมื่อเกิดภาวะช็อกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบอย่างมากหรืออาจกล่าวได้ว่าที่***ภาวะช็อกนี้มีผลในการยับยั้งการทำงานของไนตริฟายเออร์แบกทีเรีย โดยเฉพาะชุดควบคุมมีอัตราการลดลงมากที่สุดเนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบไม่เคยชินกับสังกะสีมาก่อน***

ตารางที่ 4-35 ค่าทีเคเอ็นโดยเฉลี่ย(มก./ล.)ชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	น้ำเสีย		น้ำทิ้ง (กรอง)	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	38.0	1.28	0.6	0.22
10	40.9	1.68	0.7	0.25
25	39.7	1.50	0.6	0.35
35	39.4	2.15	1.4	1.62
50	40.4	1.62	6.6	1.13

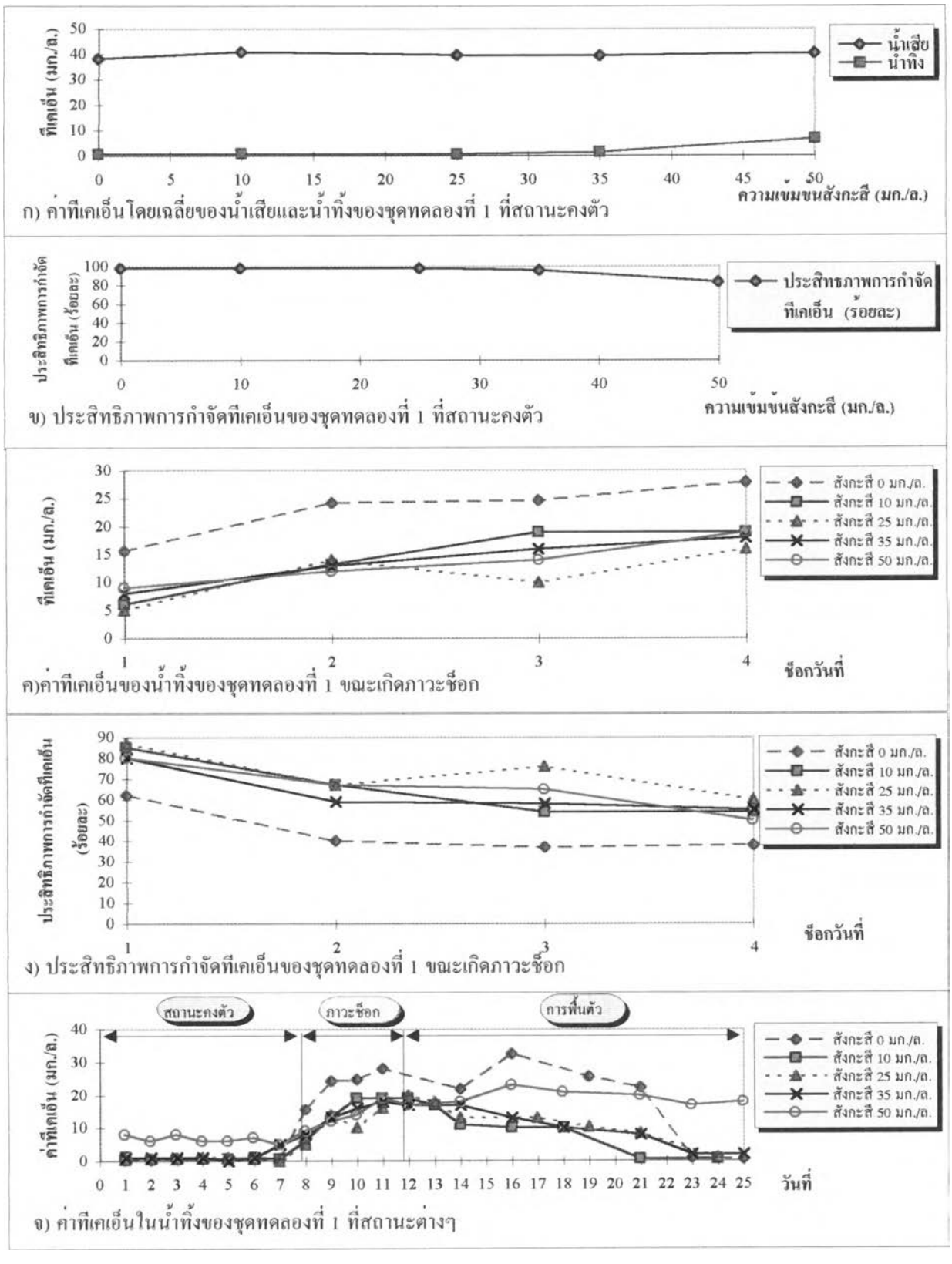
หมายเหตุ จำนวนข้อมูล(n) เท่ากับ 7

ตารางที่ 4-36 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	0 (ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ประสิทธภาพการกำจัดทีเคเอ็น (ร้อยละ)	98	98	98	96	83

4.1.13.3 การฟื้นตัว

การฟื้นตัวของระบบในการกำจัดทีเคเอ็น พิจารณาจากค่าทีเคเอ็นในน้ำทิ้งให้มีค่าคงเดิมเท่ากับที่สถานะคงตัว ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระบบสามารถฟื้นตัวได้ภายใน 10 ถึง 12 วันหลังเกิดภาวะช็อก ยกเว้นที่การทดลองที่สังกะสี 50 มก./ล. ที่ระบบต้องการระยะการฟื้นตัวมากกว่า 14 วัน ระยะการฟื้นตัวของแต่ละการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-39 ลักษณะการฟื้นตังแสดงดังกราฟผลการทดลองรวมดังรูปที่ 4-13 (จ)



ก) ค่าทีเคเอ็นโดยเฉลี่ยของน้ำเสียและน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว

ข) ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว

ค)ค่าทีเคเอ็นของน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก

ง) ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 1 ขณะเกิดภาวะช็อก

จ) ค่าทีเคเอ็นในน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะต่างๆ

รูปที่ 4-13 ค่าทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะต่างๆ

ตารางที่ 4-37 ค่าทีเคเอ็น(มก./ล.)ของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่ง	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	น้ำเสีย(ทั้งหมด)	41.0	40.0	39.2	44.9
	น้ำทิ้ง (กรอง)	15.6	24.2	24.7	28.0
10	น้ำเสีย(ทั้งหมด)	40.0	40.0	41.0	41.5
	น้ำทิ้ง (กรอง)	6.0	13.2	19.0	19.0
25	น้ำเสีย(ทั้งหมด)	38.0	42.0	41.0	40.0
	น้ำทิ้ง (กรอง)	5.0	14.0	10.0	16.0
35	น้ำเสีย(ทั้งหมด)	40.0	32.0	38.0	40.0
	น้ำทิ้ง (กรอง)	8.0	13.0	16.0	18.0
50	น้ำเสีย(ทั้งหมด)	45.0	36.0	40.0	38.0
	น้ำทิ้ง (กรอง)	9.0	12.0	14.0	19.0

ตารางที่ 4-38 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นกรอง(ร้อยละ)ของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
	1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	62	40	37	38
10	85	67	54	54
25	87	67	76	60
35	80	59	58	55
50	80	67	65	50

จากผลการทดลองพบว่าการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 50 มก./ล. ระบบฟื้นตัวได้ช้ากว่าที่ความเข้มข้นสังกะสี 0 - 35 มก./ล. หรืออาจจะไม่สามารถฟื้นตัวมีประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นได้เท่ากับที่สถานะคงตัว

ตารางที่ 4-39 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)เมื่อใช้ค่าทีเคเอ็นในน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 1 เป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	0 (ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	12	10	10	10	มากกว่า 14

4.1.14 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด

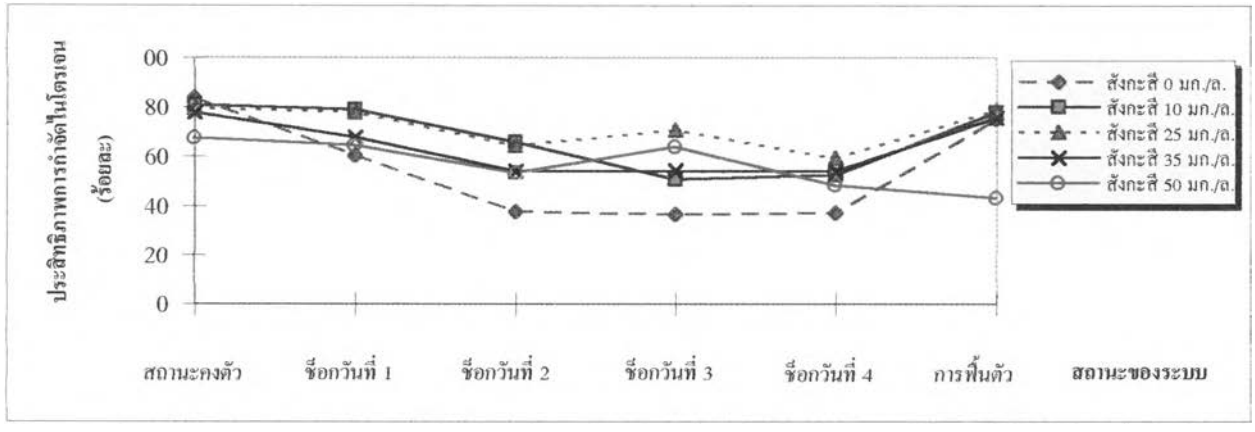
4.1.14.1 สถานะคงตัว

เมื่อระบบอยู่ในสถานะคงตัวประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดลดลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้น โดยการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดเป็นร้อยละ 83.4, 80.7, 79.3, 77.7, และ 67.1 ตามลำดับ ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4-40 และกราฟในรูปที่ 4-14

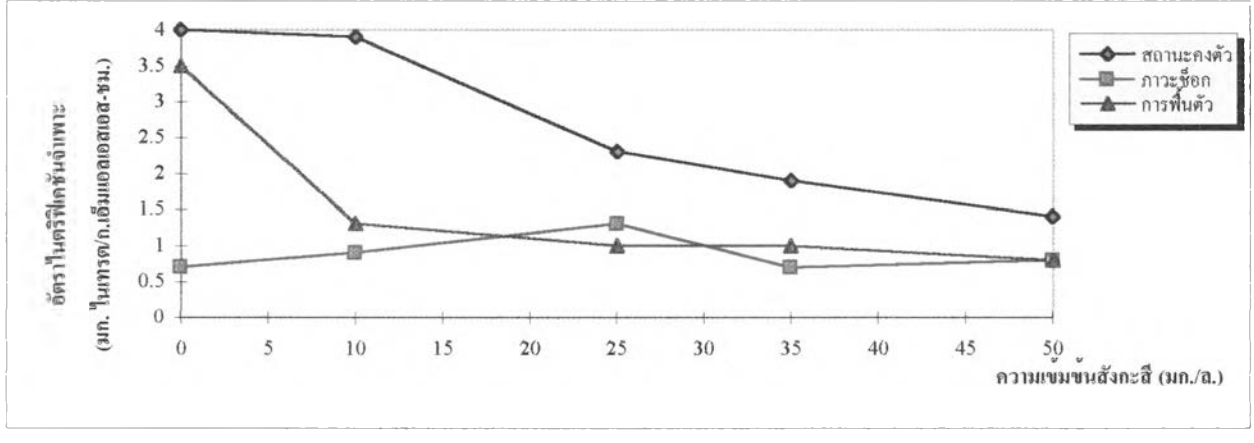
จะเห็นได้ว่าการแปรค่าสังกะสีมีผลต่อการกำจัดไนโตรเจน ซึ่งเห็นได้จากประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนที่มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นสังกะสี

ตารางที่ 4-40 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน(ร้อยละ)ของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสภาวะต่างๆ

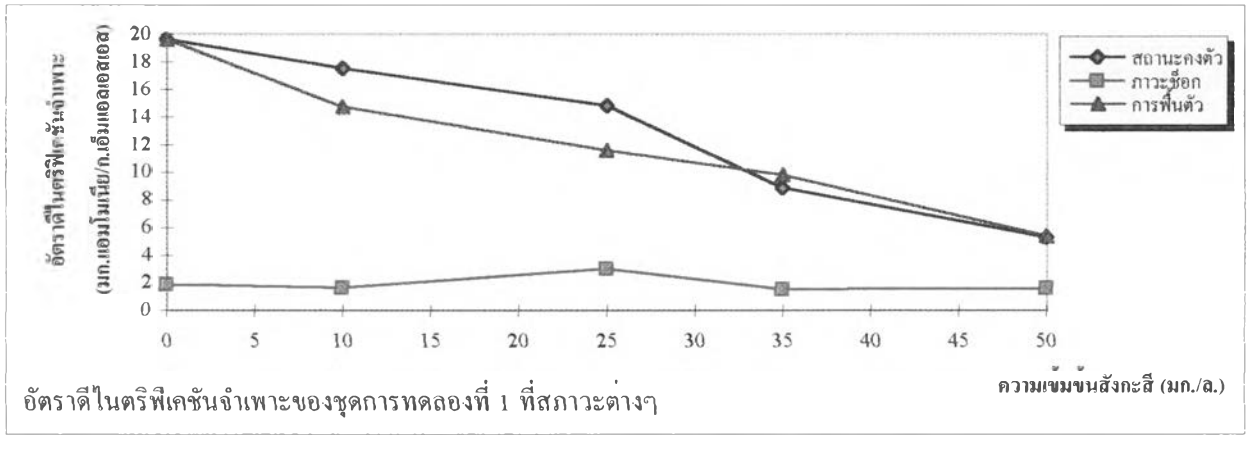
สภาวะระบบ / ความเข้มข้นสังกะสี (มก/ล.)	สถานะคงตัว	ช็อกวันที่				ระยะการฟื้นตัว
		1	2	3	4	
0 (ชุดควบคุม)	83.4	60.4	37.6	36.5	37.1	75.0
10	80.7	78.7	65.6	50.6	52.6	77.8
25	79.3	77.8	64.2	70.7	59.4	78.4
35	77.7	67.6	54.0	54.2	54.0	75.7
50	67.1	64.4	53.3	63.9	48.3	43.1



รูปที่ 4-14 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของชุดทดลองที่ 1 ที่ สภาวะต่างๆ



รูปที่ 4 - 15 อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ 4 - 16 อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดการทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

4.1.14.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนลดลงอย่างชัดเจน โดยการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเหลือร้อยละ 36.5 ถึง 60.4, 50.6 ถึง 78.7, 59.4 ถึง 79.3, 54.0 ถึง 77.7 และ 48.3 ถึง 64.4 ตามลำดับ ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4-40 และกราฟในรูปที่ 4-14

เมื่อระบบอยู่ในภาวะช็อกประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนลดลง เนื่องจากอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบลดลง

4.1.14.3 การฟื้นตัว

ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบของระยะการฟื้นตัวในวันที่ 13 ถึง 14 การทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 75.0, 77.8, 78.4, 75.7 และ 43.1 ตามลำดับ ดังแสดงอยู่ในตารางที่ ที่ 4-40 และกราฟในรูปที่ 4-14

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในช่วงระยะการฟื้นตัววันที่ 13 และ 14 มีค่าน้อยกว่าช่วงสถานะคงตัว เนื่องจากในช่วงนี้ระบบมีอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันน้อยกว่าช่วงสถานะคงตัว โดยเฉพาะการทดลองที่สังกะสี 50 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในวันที่ 14 ของช่วงการฟื้นตัวยังคงมีค่าใกล้เคียงกับช่วงที่เกิดภาวะช็อก

4.1.15 อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะ

4.1.15.1 สถานะคงตัว

ในการหาอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบโดยพิจารณาจากอัตราการลดลงของแอมโมเนียมต่อเอ็มแอลเอสเอสต่อเวลา ซึ่งในบางงานวิจัย(Su และ Ouyang, 1997)เรียกว่าอัตราการใช้แอมโมเนียมจำเพาะ การทดลองกระทำโดยนำของเหลวผสมจากถังออกซิกมาทดสอบแบบแบตช์ดังแสดงในภาคผนวก ก ผลที่ได้คืออัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะมีค่าลดลงตามความเข้มข้นสังกะสีที่มากขึ้น โดยการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีค่าเป็น 4.0, 3.9, 2.3, 1.9 และ 1.4 มก.แอมโมเนียม/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-41 และกราฟในรูปที่ 4-15

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า***การเพิ่มปริมาณสังกะสีเข้าสู่ระบบมีผลต่ออัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะหรืออาจกล่าวได้ว่ามีผลทำให้อัตราการใช้แอมโมเนียของระบบลดลง*** ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าแอมโมเนียในถังออกซิกเพื่อสังเกตความเปลี่ยนแปลงที่เป็นผลจากอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะที่ต่างกัน พบว่าทุกการทดลองแอมโมเนียถูกใช้จนหมดจึงไม่สามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงของระบบ ยกเว้นการทดลองสังกะสี 50 มก./ล.ค่าแอมโมเนียในถังออกซิกเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน จากผลการทดลองอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของการทดลองนี้ใกล้เคียงกับการทดลองสังกะสี 35 มก./ล.มากซึ่งวิเคราะห์ได้ว่าอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของการทดลองสังกะสี 50 มก./ล.ควรมีค่าน้อยกว่าที่ทดลองวัดได้ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นจะได้ดังตารางที่4-42 ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีค่าน้อยกว่างานวิจัยอื่นเล็กน้อย(ยกเว้นงานวิจัยของ Eckenfelder)เมื่อเปรียบเทียบที่ค่าเอสอาร์ทีค่าเดียวกันโดยเฉพาะเมื่อระบบของงานวิจัยนี้มีการเติมสังกะสีซึ่งจะทำให้อัตราไนตริฟิเคชันลดลงอย่างมาก

ตารางที่ 4-41 อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะ (มก.แอมโมเนียม/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม.)		
	สถานะคงตัว	ภาวะช็อก	การฟื้นตัว
0 (ชุดควบคุม)	4.0	0.7	3.5
10	3.9	0.9	1.3
25	2.3	1.3	1.0
35	1.9	0.7	1.0
50	1.4	0.8	0.8

4.1.15.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกพบว่าอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของแต่ละการทดลองมีค่าลดลงอย่างชัดเจน(ทำการทดลองในวันที่ 3 ของการช็อกระบบ)โดยการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีค่าเป็น 0.7, 0.9, 1.3, 0.7 และ 0.8 มก.แอมโมเนียม/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-41 และกราฟในรูปที่ 4-15

จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่า***เมื่อทำการช็อกระบบพบว่ามีผลต่อการทำงานของไนตริฟายเออร์พวกไนโตรโซโมนัสอย่างมาก*** ซึ่งสามารถพิจารณาร่วมกับค่า

ตารางที่ 4-42 อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เมื่อแปรค่าเอสอาร์ที

System	SRT (d)	Temp°C	Specific Nitrification Rate (mg NH_3-N/g VSS/hr)	Reference
Conventional	5	20	3.11	
Conventional	10	20	5.01	Su และ Ouyang (1997)
Conventional	15	20	4.13	
AA/O	5	20	3.76	
AA/O	10	20	5.78	Su และ Ouyang (1997)
AA/O	15	20	4.96	
Conventional SBR	12	20	0.91	Eckenfelder (1994)
System	SRT (d)	Temp°C	Specific Nitrification Rate (mg NH_3-N/g MLSS/hr)	Reference
An/O	10	24.9	4.0	
An/O(Zn 10 mg/l)	10	27.3	3.9	
An/O(Zn 25 mg/l)	10	26.5	2.3	งานวิจัยนี้
An/O(Zn 35 mg/l)	10	29.6	1.9	
An/O(Zn 50 mg/l)	10	27.5	1.4	

แอมโมเนียในถังออกซิกที่มีค่าเพิ่มขึ้นสูงทันทีที่เกิดภาวะช็อกและไนเทรตมีค่าลดลงทันทีเช่นกัน โดยเฉพาะชุดควบคุมแอมโมเนียในถังออกซิกที่มีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุด แสดงว่าไนตริฟายเออร์ของระบบถูกยับยั้งในการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียให้เป็นไนไทรต์และไนเทรตหรืออีกนัยหนึ่งคือปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดได้ไม่สมบูรณ์

4.1.15.3 การฟื้นตัว

การทดลองหาอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะนั้นทำการทดลองในช่วงระยะการฟื้นตัววันที่ 13 หรือ 14 ซึ่งพบว่าอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีค่าเป็น 3.5, 1.3, 1.0, 1.0 และ 0.8 มก.แอมโมเนียม/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-41

จากผลการทดลองพบว่าในช่วงการฟื้นตัวภายในระยะเวลา 14 วัน ทุกการทดลองมีอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะลดลงกว่าช่วงเกิดสถานะคงตัว ***โดยชุดควบคุมสามารถฟื้นตัวมีอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะได้ใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัวมากที่สุด ซึ่งหมายถึงไนตริฟายอิงแบกทีเรียของชุดทดลองนี้ฟื้นตัวได้ดีที่สุด***แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าไนไทรต์ในถังออกซิกพบว่าในวันที่ 14 ของช่วงการฟื้นตัวค่าไนไทรต์มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับช่วงสถานะคงตัว ซึ่งแสดงว่าไนโตรแบกเทอร์ปรับตัวได้ช้ากว่าไนโตรโซโมนัส อัตราการเปลี่ยนไนไทรต์ให้เป็นไนเทรตจึงเกิดช้า ถ้าใช้พารามิเตอร์นี้เป็นเกณฑ์ในการหาระยะการฟื้นตัวของระบบพบว่าต้องใช้เวลามากกว่า 14 วัน ทุกการทดลอง

4.1.16 อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ

4.1.16.1 สถานะคงตัว

ในการหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบโดยพิจารณาจากอัตราการลดลงของไนเทรตต่อเอ็มแอลเอสเอสต่อเวลา ซึ่งในบางงานวิจัย(Su และ Ouyang, 1997) เรียกว่าอัตราการใช้ไนเทรตจำเพาะ การทดลองกระทำโดยนำของเหลวผสมจากถังแอนอ็อกซิกมาทดสอบแบบแบตช์ดังแสดงในภาคผนวก ข. ผลที่ได้คือการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ค่าเป็น 19.6, 17.5, 14.8, 8.9 และ 5.3 มก.ไนเทรต/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-43 และกราฟในรูปที่ 4-16

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า***อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะมีค่าลดลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่มขึ้น*** หรืออาจกล่าวได้ว่าระบบมีอัตราการใช้ไนเทรตลดลงเมื่อเติมสังกะสีเข้าสู่ระบบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gumaelius (1994) ที่พบว่าสังกะสีมากกว่า 10 มก./ล.มีผลต่อการลดอัตราดีไนตริฟิเคชัน ในขณะเดียวกันงานวิจัยของ Waara (1990) ได้ผลการศึกษาว่าถ้ามีสังกะสีเข้าสู่ระบบ 0.5 มก./ล. จะทำให้อัตราดีไนตริฟิเคชันลดลงร้อยละ 67 แต่จากงานวิจัยนี้เมื่อเติมสังกะสีสู่ระบบ 10 มก./ล.อัตราดีไนตริฟิเคชันลดลงร้อยละ 10.7 เท่านั้น เมื่อนำค่าอัตราการดีไนตริฟิเคชันจำเพาะเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นจะได้ดังตารางที่ 4-44 ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่ามีค่ามากกว่าทุกงานวิจัยของ ซึ่งอาจเกิดจากงานวิจัยนี้ทดลองที่อุณหภูมิสูงกว่า นอกจากนั้นแล้วอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันยังขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนด้วยซึ่งงานวิจัยนี้อาจมีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในระบบมากกว่าน้อยกว่างานวิจัยอื่นๆด้วย แต่เมื่อมีการเติมสังกะสีถึง 35 มก./ล. อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะเริ่มมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Randall

และ คณะ ในขณะเดียวกันที่การทดลองสังกะสี 50 มก./ล.อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Su และ Ouyang

ตารางที่ 4-43 อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (มก.ไนเทรต/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม.)		
	สถานะคงตัว	ภาวะช็อก	การฟื้นตัว
0 (ชุดควบคุม)	19.6	1.8	19.6
10	17.5	1.6	14.7
25	14.8	3.0	11.6
35	8.9	1.5	9.8
50	5.3	1.6	5.4

4.1.16.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกพบว่าอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของแต่ละการทดลองมีค่าลดลงอย่างชัดเจน(ทำการทดลองในวันที่ 3 ของการช็อกระบบ)โดยมีค่าเป็น 1.8, 1.6, 3.0, 1.5 และ 1.6 มก.ไนเทรต/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-43 และกราฟในรูปที่ 4-16

จากผลการทดลอง เมื่อ***มีการช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. พบว่ามีผลต่อแบกทีเรียพวกดีไนตริฟายเออร์อย่างมาก*** ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าไนเทรตในถังแอน็อกซิกพบว่าทุกการทดลองมีค่าเพิ่มมากขึ้นทันที ยกเว้นชุดควบคุมไนเทรตมีค่าใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัว เนื่องจากวันแรกของการช็อกระบบไนโตรโซโมนัสถูกยับยั้งการทำงานมากกว่าทุกการทดลอง ฉะนั้นปริมาณไนเทรตจึงลดลงทันทีทำให้ปริมาณไนเทรตในถังแอน็อกซิกไม่เพิ่มขึ้นสูงเช่นการทดลองอื่นซึ่งยังมีแอมโมเนียบางส่วนเปลี่ยนเป็นไนเทรตได้บ้างในวันแรกของการช็อก

4.1.16.3 การฟื้นตัว

การทดลองหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะนั้นทำการทดลองในช่วงระยะการฟื้นตัววันที่ 13 หรือ 14 ซึ่งพบว่าอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีค่าเป็น 19.6, 14.7, 11.6, 9.8 และ 5.4 มก.ไนเทรต/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4-43และกราฟในรูปที่ 4-16

ตารางที่ 4-44 อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เมื่อแปรค่าเอสอาร์ที

System	SRT (d)	Temp°C	Specific Nitrification Rate (mg NO_3-N/g VSS/hr)	Reference
An/O	2	20	34.2	
An/O	3	20	24.2	
An/O	4	20	19.2	Randall และคณะ (1992)
An/O	5	20	16.7	
An/O	6	20	13.8	
An/O	8	20	11.3	
AA/O	5	20	6.89	
AA/O	10	20	5.54	Su และ Ouyang (1997)
AA/O	15	20	4.79	
An/O	5		8.3	Kim และ คณะ (1997)
System	SRT (d)	Temp°C	Specific Nitrification Rate (mg NO_3-N/g MLSS/hr)	Reference
An/O	10	24.9	19.6	
An/O(Zn10 mg/l)	10	27.3	17.5	
An/O(Zn25 mg/l)	10	26.5	14.8	งานวิจัยนี้
An/O(Zn35 mg/l)	10	29.6	8.9	
An/O(Zn50 mg/l)	10	27.5	5.3	

จากผลการทดลองพบว่าทุกการทดลองมีอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะใกล้เคียงกับช่วงเกิดสถานะคงตัว แสดงถึง***แบกทีเรียพวกดีไนตริฟายเออร์มีความสามารถในการฟื้นตัวได้ดีภายในระยะเวลาการฟื้นตัว 14 วัน***

4.1.17 สังกะสี

4.1.17.1 ภาวะการณ์ที่การทดลอง ณ สถานะคงตัว

จากการวัดความเข้มข้นสังกะสีโดยเฉลี่ยในช่วงนี้พบว่าการทดลองที่สังกะสี 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีสังกะสีในน้ำเสียประมาณ 13, 28, 34 และ 52 มก./ล. ตาม

ลำดับ(ดูจากตารางที่ 4-45) ในของเหลวผสม(mixed liqour)ของถังแอน็อกซิกมีค่าเท่ากับ 180, 326, 539 และ 672 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนในน้ำส่วนที่กรองจากของเหลวผสมของถังแอน็อกซิกมีค่าเท่ากับ 0.4, 0.5, 0.5 และ 0.6 มก./ล. ตามลำดับ สำหรับในของเหลวผสมของถังออกซิกมีค่าเท่ากับ 157, 352, 536 และ 652 มก./ล. ตามลำดับ และในน้ำส่วนที่กรองจากของเหลวผสมของถังออกซิกมีค่าเท่ากับ 0.6, 0.3, 0.1 และ 0.4 มก./ล. ตามลำดับ ในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 1.2, 1.8, 1.1 และ 1.5 มก./ล. ตามลำดับ ในน้ำส่วนที่กรองจากน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 0.3, 0.3, 0.1 และ 0.3 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ดังกราฟในรูปที่ 4-17

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสังกะสีในน้ำเสียถึง 52 มก./ล. ของเหลวผสมในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกมีการสะสมของสังกะสีเพิ่มขึ้นตามลำดับ ในขณะที่น้ำส่วนที่กรองได้ทั้งในถังแอน็อกซิก ถังออกซิกและในน้ำทิ้งมีความเข้มข้นสังกะสีน้อยมากและใกล้เคียงกันทุกการทดลอง โดยมีมากที่สุดในถังแอน็อกซิก แสดงว่าสังกะสีถูกดูดซับเข้าสู่เซลล์หรือกลุ่มฟล็อกและตกตะกอนไปกับสลัดจ์ได้เกือบทั้งหมด เหลือเป็นสารละลายสังกะสีเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้สังกะสีละลายที่เหลือมาจากถังแอน็อกซิกจะถูกดูดซับเพิ่มขึ้นโดยฟล็อกในถังออกซิก สังกะสีละลายในส่วนนี้จึงลดลงได้อีกทอดหนึ่ง และจากกราฟในรูปที่ 4-17 นี้จะเห็นความแตกต่างระหว่างสังกะสีในเซลล์ในถังปฏิกิริยากับในสลัดจ์(ซึ่งผ่านการจมตัวในถังตกตะกอน) ซึ่งในความเป็นจริงแล้วควรเท่ากันเพราะเป็นค่าของสังกะสีในฟล็อก ***แต่เนื่องจากคาดว่ามีการตกตะกอนของสังกะสีทางเคมีด้วย*** โดยไม่ถูกจับไปอยู่ในฟล็อก ***จึงมีร้อยละของสังกะสีในสลัดจ์มากกว่าในฟล็อกหรือเอ็มแอลเอสเอส*** และส่วนต่างนี้(Δ ดูรูป 4-17)มีค่ามากขึ้นเมื่อมีการป้อนสังกะสีเข้าสู่ระบบมากขึ้น ทั้งนี้เพราะสังกะสีที่มีความเข้มข้นมากขึ้นสามารถตกตะกอนรวมอยู่ในสลัดจ์ได้มากขึ้นนั่นเอง

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสังกะสีของระบบนี้กับงานวิจัยของNelson และ คณะ (1981)ซึ่งทดลองความสามารถในการดูดซับสังกะสีของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยใช้เอสอาร์ทีของระบบเท่ากับ 1 วัน และ 5 วัน พบว่าที่เอสอาร์ที 5 วัน สามารถดูดซับสังกะสีได้ดีกว่า คิดเป็นประมาณร้อยละ 80 และเมื่อเปรียบเทียบกับ***งานวิจัยนี้ซึ่งใช้เอสอาร์ที 10 วัน พบว่าระบบของงานวิจัยนี้สามารถดูดซับสังกะสีได้มากกว่าและคิดเป็นประมาณร้อยละ 90*** ซึ่งผลการทดลองของงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของNelson และ คณะ

ส่วนในน้ำทิ้งนั้นค่าสังกะสีทั้งหมดที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม(ประเทศไทย)ซึ่งกำหนดให้ไม่เกิน 5.0 มก./ล. จึงสามารถระบายทิ้งลงทางน้ำสาธารณะได้โดยตรง ที่เป็นเช่นนี้เพราะน้ำทิ้งทุกการทดลองมีลักษณะใสคือมีค่าของ

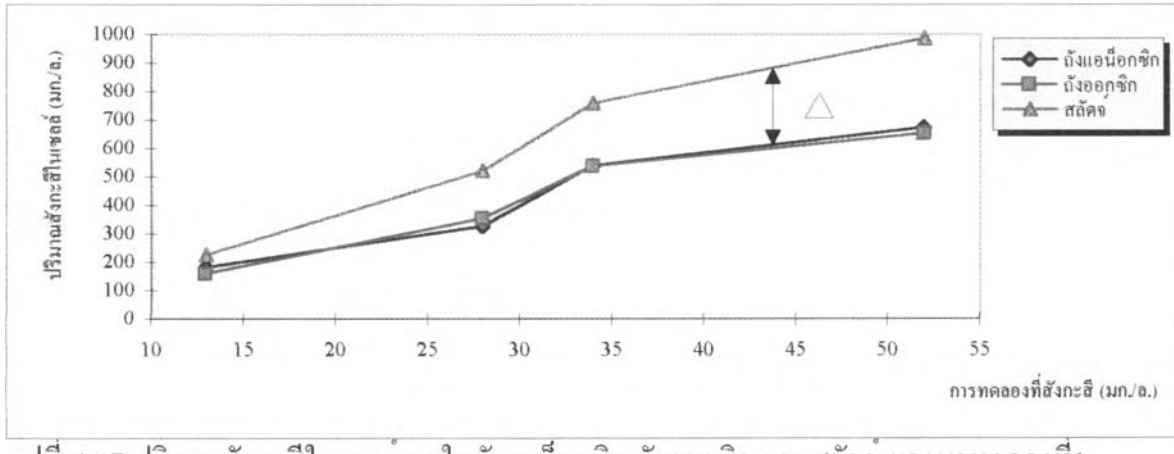
ตารางที่ 4-45 ความเข้มข้นสังกะสี(มก./ล.)ในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสี	สภาวะระบบ	น้ำเสีย	ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก		สลัดจ์	น้ำทิ้ง	น้ำทิ้ง (กรอง)
			ของเหลวผสม	กรอง	ของเหลวผสม	กรอง			
0	สถานะคงตัว	-	-	-	-	-	-	-	-
10		13	180	0.4	157	0.6	225	1.2	0.3
25		28	326	0.5	352	0.3	520	1.8	0.3
35		34	539	0.5	536	0.1	759	1.1	0.1
50		52	672	0.6	652	0.4	987	1.5	0.3
0	ช็อกระบบ	335	808	212	934	210	1400	236	200
10		322	1070	147	1177	122	1752	142	116
25		312	1107	119	1064	106	1547	142	105
35		315	1365	113	1295	95	1900	101	90
50		334	1681	181	1456	146	2155	168	143
0	การฟื้นตัว	-	40	0.5	57	0.4	70	6	0.8
10		10	247	1.4	212	0.9	304	3.2	0.73
25		24	532	0.6	508	0.5	755	0.6	0.4
35		33	761	0.1	740	0.2	1008	0.7	0.2
50		55	904	0.9	958	0.4	1356	2.6	0.3

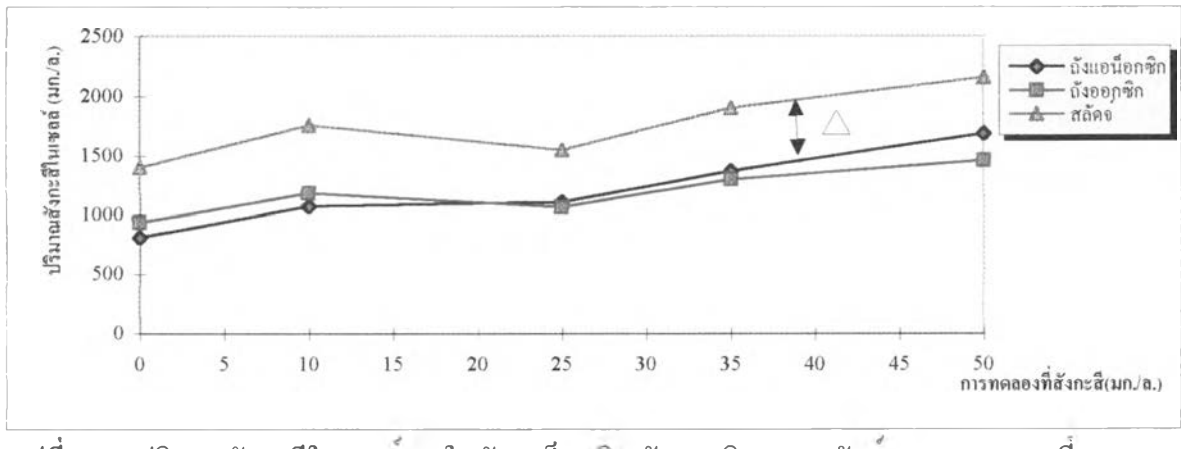
<u>หมายเหตุ</u> ในการหาค่าความเข้มข้นสังกะสีที่สถานะคงตัวกระทำการวัดเป็นเวลา 3 วัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ส่วนที่ภาวะช็อกกระทำการวัดในวันที่ 4 ของการเกิดภาวะช็อก และในช่วงการฟื้นตัวทำการวัดค่าสังกะสีในวันที่ 12 ถึง 14 ของระยะนั้นและนำมาหาค่าเฉลี่ย

แข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 10 ถึง 27 มก./ล. เท่านั้น

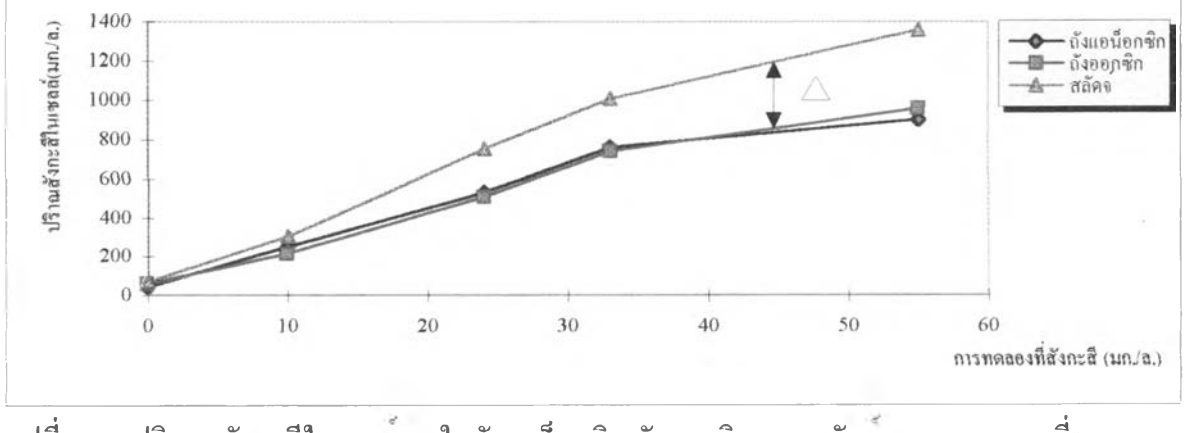
อนึ่งเมื่อคำนึงถึงปริมาณสะสมของสังกะสีในเซลล์(กรัม/กรัม)หรืออีกนัยหนึ่งคือคิดเป็นอัตราส่วนของสังกะสี(กรัม)ต่อเอ็มแอลเอสเอส(กรัม) จะสรุปได้ดังตารางที่ 4-46 จากตารางจะพบว่าที่สถานะคงตัวนี้*เมื่อเพิ่มค่าสังกะสีในน้ำเสียปริมาณการสะสมของสังกะสีในเอ็มแอลเอสเอสจะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยการทดลองที่สังกะสี 13, 28, 34 และ 52 มก./ล. ในถัง*



รูปที่ 4-17 ปริมาณสังกะสีในเซลล์ภายในถังแอนีอกซิก ถังออกซิก และสลัดจ ของชุดทดลองที่1 ที่สถานะคงตัว



รูปที่ 4-18 ปริมาณสังกะสีในเซลล์ภายในถังแอนีอกซิก ถังออกซิก และสลัดจ ของชุดทดลองที่1 ที่ภาวะช็อก



รูปที่ 4-19 ปริมาณสังกะสีในเซลล์ภายในถังแอนีอกซิก ถังออกซิก และสลัดจ ของชุดทดลองที่1 ที่ภาวะการฟื้นตัว

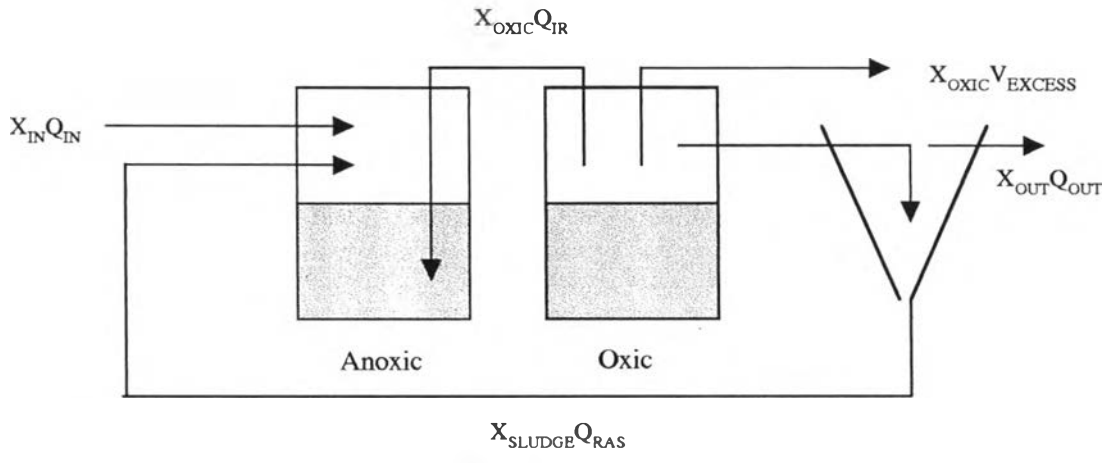
แอน็อกซิกมีอัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสคิดเป็นร้อยละ 8.0, 13.0, 14.7 และ 20.3 ตามลำดับ ส่วนในถังออกซิกคิดเป็นร้อยละ 8.3, 15.0, 15.7 และ 20.3 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึง*การสะสมของสังกะสีในฟล็อกหรือเซลล์ในถังออกซิก*เพิ่มขึ้นจากถังแอน็อกซิกในทุกการทดลอง ซึ่งผลการวิเคราะห์ในส่วนนี้สามารถยืนยันได้จากการที่สารละลายสังกะสีในถังออกซิกลดลงจากถังแอน็อกซิกดังที่กล่าวไว้แล้ว

ตารางที่ 4-46 อัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสีในน้ำเสีย (มก./ล.)	สภาวะระบบ	สังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสในถังแอน็อกซิก (ร้อยละ)	สังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสในถังออกซิก (ร้อยละ)
13	สถานะคงตัว	8.0	8.3
28		13.0	15.0
34		14.7	15.7
52		20.3	20.3
335	ภาวะช็อก	16.6	27.1
322		24.1	29.8
312		22.7	26.6
315		24.1	27.0
334		23.6	28.4
0	การฟื้นตัว	1.9	2.5
10		9.6	8.9
24		18.0	21.6
33		19.1	21.6
55		22.2	29.8

หมายเหตุ การคำนวณดูได้จากภาคผนวก ง

เมื่อทำการดุลมวลของสังกะสีทั้งระบบเพื่อศึกษาปริมาณการสะสมของสังกะสีในฟล็อกหรือในเซลล์ในแต่ละช่วงของการทดลอง โดยวิธีการดุลมวลแสดงดังรูปที่ 4-20 ซึ่งในสถานะคงตัวนี้พบว่าระบบมีการสะสมของสังกะสีไว้ในฟล็อกได้ โดยการทดลองสังกะสีที่ 13, 28, 34 และ 52 มก./ล. เป็น 65, 139, 70 และ 294 มก./วัน ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง



X_{IN} ความเข้มข้นสังกะสีในน้ำเสีย, มก./ล.

X_{OXIC} ความเข้มข้นสังกะสีในเอ็มแอลเอสเอสถังออกซิก, มก./ล.

X_{OUT} ความเข้มข้นสังกะสีในน้ำทิ้ง, มก./ล.

X_{SLUDGE} ความเข้มข้นสังกะสีในสลัดจ์, มก./ล.

V_{EXCESS} ปริมาณการตักสลัดจ์ออก(รวมที่นำไปวิเคราะห์ทางเคมี), ลิตร/วัน

Q_{IN} อัตราการไหลของน้ำเสีย, ลิตร/วัน

Q_{IR} อัตราการเวียนกลับน้ำภายใน, ลิตร/วัน

Q_{OUT} อัตราไหลของน้ำทิ้ง, ลิตร/วัน ($Q_{IN} - V_{EXCESS}$)

Q_{RAS} อัตราการเวียนกลับของสลัดจ์, ลิตร/วัน

<u>สมการการดุลมวลของทั้งระบบ</u>

ปริมาณสังกะสีที่เข้าสู่ระบบ = ปริมาณสังกะสีที่ออกจากระบบ

$X_{IN}Q_{IN}$ (มก./วัน) = $\Delta x + X_{OUT}Q_{OUT} + X_{OXIC}(V_{EXCESS})$ (มก./วัน)

โดย Δx = ปริมาณสังกะสีที่ไปสะสมอยู่ในเซลล์หรือฟล็อก (มก./วัน)

<u>หมายเหตุ</u> ; Δx = + เมื่อฟล็อกยังไม่เกิดการอิ่มตัวในการสะสมสังกะสี จึงจับสังกะสีเข้าฟล็อกได้

0 ถ้าเกิดภาวะสะสมอิ่มตัวพอดีของสังกะสีในฟล็อก (ไม่สะสมเพิ่มแต่ไม่คายออก)

- ถ้าเกิดภาวะการณ์คายสังกะสีจากฟล็อกออกสู่น้ำ

รูปที่ 4-20 การดุลมวลสังกะสีทั้งระบบของชุดทดลองที่ 1 และ 2

ที่ 4-47 ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่า Δx ควรมีค่ามากขึ้นตามความเข้มข้นสังกะสีที่ป้อนเข้าสู่ระบบมากขึ้น แต่ตัวเลขในตารางที่ 4-47 พบว่า Δx มีค่าโดดไปมา ซึ่งน่าจะเกิดจากการขาดความแม่นยำในการวัดค่าสังกะสี แต่อย่างไรก็ตามค่า Δx ของทุกการทดลองมีค่าเป็นบวกแสดงว่า***สังกะสียังสามารถสะสมในฟล็อกได้อีก เนื่องจากยังไม่เกิดการอิ่มตัว เพราะมีการเอาสังกะสีออกจากระบบทุกวันโดยการตักสลัดจ์ออกเพื่อควบคุมอายุสลัดจ์ และนี่คือเหตุที่ทำให้น้ำทิ้งมีค่าสังกะสีต่ำมาก เพราะสังกะสีที่เข้าระบบไปสะสมในฟล็อกที่ผลิตขึ้นใหม่ได้ทุกวันนั่นเอง***

4.1.17.2 ที่ภาวะช็อก

จากการวัดค่าความเข้มข้นสังกะสีที่ตำแหน่งต่างๆ ในวันที่ 3 ของการช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. พบว่าในน้ำเสียของการทดลองที่สังกะสี 0, 13, 28, 34 และ 52 มก./ล. มีค่าสังกะสีประมาณ 335, 322, 312, 315 และ 334 มก./ล. ตามลำดับ (ดูตารางที่ 4-45) ในของเหลวผสมของถังแอน็อกซิก 808, 1070, 1107, 1365 และ 1681 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากของเหลวผสมของถังแอน็อกซิก 512, 147, 119, 113 และ 181 มก./ล. ตามลำดับ ของเหลวผสมของถังออกซิก 934, 1177, 1064, 1295 และ 1456 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากของเหลวผสมของถังออกซิก 450, 122, 106, 95 และ 146 มก./ล. ตามลำดับ ในน้ำทิ้ง 636, 142, 142, 101 และ 168 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากน้ำทิ้ง 200, 116, 105, 90 และ 143 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ดังกราฟในรูปที่ 4-18

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า***เมื่อช็อกระบบด้วยสังกะสี***ประมาณ 300 มก./ล. ของเหลวผสมและน้ำส่วนที่กรองได้ในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกมีความเข้มข้นของสังกะสีเพิ่มขึ้นอย่างมากทุกการทดลอง แสดงว่า***สังกะสีถูกดูดซับสู่ฟล็อกและตกตะกอนไปกับฟล็อกได้มากขึ้น***โดยในระบบจะมีปริมาณสังกะสีเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นสังกะสีที่ป้อนสู่ระบบขณะอยู่ในสถานะคงตัว อย่างไรก็ตามเนื่องจาก***เซลล์มีอัตราการดูดซับสังกะสีที่ช้ากว่าอัตราการป้อนสังกะสีช็อกเข้าสู่ระบบจึงทำให้สังกะสีบางส่วนไม่สามารถดูดซับเข้าสู่เซลล์ได้ทัน สังกะสีจึงอยู่ในรูปของสารละลายออกไปกับน้ำทิ้งเป็นปริมาณมากกว่าช่วงสถานะคงตัว*** และมากกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากด้วย จะเห็นได้ว่า***มีการสะสมสังกะสีเพิ่มในถังออกซิกได้อีกหลังจากที่ผ่านถังแอน็อกซิกแล้ว แต่ก็ยังไม่พอและไม่ทัน*** ฉะนั้นในน้ำทิ้งจึงมีสังกะสีในปริมาณสูง ดังสรุปได้ในตารางที่ 4-45

ตารางที่ 4-47 การคำนวณการสะสมสังกะสีในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	สภาวะระบบ	สังกะสีน้ำเสียจริง (มก./ล.)	ถังแอน็อกซิกของเหลวผสม (มก./ล.)	ถังออกซิกของเหลวผสม (มก./ล.)	น้ำทิ้งทั้งหมด (มก./ล.)	ปริมาณสังกะสีที่เข้าสู่ระบบ (Xin x Qin) (มก./วัน)	ปริมาณสังกะสีที่ออกจากระบบ			สังกะสีสะสมในระบบ(Δ X) (มก./วัน)
							Xox x Vexcess (มก./วัน)	Xout x Qout (มก./วัน)	Total (มก./วัน)	
		①	②	③	④	⑤ = ① X 20	⑥ = ③ X 1.1	⑦ = ④X(20-1.1)	⑧ = ⑥ + ⑦	⑨ = ⑤ - ⑧
10	สถานะคงตัว	13	180	157	1.2	260	172.7	22.7	195	65
25		28	326	352	1.8	560	387.2	34.0	421	139
35		34	539	536	1.1	680	589.6	20.8	610	70
50		52	672	652	1.5	1040	717.2	28.4	746	294
0	ช็อกระบบ	335	808	934	236	6700	1027.4	4460.4	5488	1212
10		322	1070	1177	142	6440	1294.7	2683.8	3979	2462
25		312	1107	1064	142	6240	1170.4	2683.8	3854	2386
35		315	1365	1295	101	6300	1424.5	1908.9	3333	2967
50		334	1681	1456	168	6680	1601.6	3175.2	4777	1903
10	การฟื้นตัว	10	247	212	3.2	200	233.2	60.5	294	-94
25		24	532	508	0.6	480	558.8	11.3	570	-90
35		33	761	740	0.7	660	814.0	13.2	827	-167
50		55	904	958	2.6	1100	1053.8	49.1	1103	-3

หมายเหตุ (1) Qin 20 ลิตร/วัน ; Vexcess 1.1 ลิตร/วัน (รวมตัวอย่างน้ำที่เก็บมาวิเคราะห์ด้วยแล้ว) ; Qout = Qin - Vexcess

(2) ที่สถานะคงตัว, เป็นค่าเฉลี่ย 3 วันสุดท้าย

ที่ภาวะช็อก, เป็นค่าของวันที่ 4

ที่ภาวะการฟื้นตัว, เป็นค่าเฉลี่ยของวันที่ 12 ถึง 14 หลังเกิดภาวะช็อก

เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนของสังกะสี(กรัม)ต่อเอ็มแอลเอสเอส(กรัม)พบว่า***ที่ภาวะช็อกมีการสะสมของสังกะสีในเอ็มแอลเอสเอสเพิ่มมากขึ้นกว่าในช่วงสถานะคงตัว*** โดยการทดลองที่สังกะสี 0, 13, 28, 34 และ 52 มก./ล. ในถังแอน็อกซิกมีอัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสคิดเป็นร้อยละ 16.6, 24.1, 22.7, 24.1 และ 23.6 ตามลำดับ และในถังออกซิกคิดเป็นร้อยละ 27.1, 29.8, 26.6, 27.0 และ 28.4 ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวจะสังเกตได้ว่า***อัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสมีค่าใกล้เคียงกันทุกการทดลองทั้งในถังแอน็อกซิกและออกซิก เนื่องจากฟล็อกในแต่ละขั้นตอนของระบบของทุกการทดลองถึงจุดอิ่มตัวแล้ว จึงดูดซับสังกะสีเพิ่มขึ้นอีกได้ไม่มาก*** โดยสังเกตได้จากความชันของเส้นกราฟ(รูปที่ 4-18) ในช่วงภาวะช็อกจะน้อยกว่าในช่วงสถานะคงตัวอย่างชัดเจน ซึ่งทำให้ในช่วงภาวะช็อกนี้มีสารละลายสังกะสีในน้ำทิ้งสูงนั่นเอง

จากการดุลมวลสังกะสีดังแสดงในตารางที่ 4-47 สามารถแสดงได้ว่าระบบมีการสะสมของสังกะสีเพิ่มมากขึ้นดังที่กล่าวมาแล้ว โดยการทดลองที่สังกะสี 0, 13, 28, 34 และ 52 มก./ล. มีการสะสมสังกะสี (Δx)เป็น 1212, 2462, 2386, 2967 และ 1903 มก./วัน ตามลำดับ กล่าวคือ***เมื่อเกิดภาวะช็อกการสะสมของสังกะสีในระบบก็เพิ่มขึ้นด้วยซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากการสะสมสังกะสีในเซลล์และการตกตะกอนของสังกะสีคาร์บอเนตไปพร้อมๆกัน ทั้งนี้ระบบยังสามารถสะสมสังกะสีเข้าสู่ฟล็อกได้อีกในแต่ละวัน***(Δx มีค่าเป็นบวก) แต่อย่างไรก็ตาม***ในขณะเดียวกันปริมาณสังกะสีที่ระบายออกจากระบบก็เพิ่มขึ้นสูงเช่นกัน***เนื่องจากฟล็อกหรือเซลล์จุลชีพไม่สามารถดึงและสะสมสังกะสีที่เพิ่มในปริมาณมากอย่างทันทีไว้ได้ทัน ทั้งๆที่ฟล็อกเองน่าจะมีขีดความสามารถในการรับและสะสมสังกะสีได้มากกว่านี้(Δx มีค่าเป็นบวก) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะฟล็อกมีความสามารถหรืออัตราการดูดซับที่ต่ำกว่าอัตราการป้อนสังกะสีเข้าสู่ระบบดังที่กล่าวมาแล้วนั่นเอง

4.1.17.2 ณ ภาวะการฟื้นตัว

การวัดความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีในระบบในช่วงการฟื้นตัวนี้แตกต่างจากการวัดที่สถานะคงตัว โดยได้ทำการวัดสังกะสีในระบบของชุดควบคุม(สังกะสี 0 มก./ล.)ด้วย (ยกเว้นในน้ำเสีย) เพื่อดูศักยภาพของการฟื้นตัวของระบบที่ไม่ชินต่อสังกะสีมาก่อนเลยด้วยว่าเป็นเช่นไร ซึ่งพบว่าการทดลองที่สังกะสีในน้ำเสียประมาณ 0, 10, 24, 33และ 55 มก./ล.ตามลำดับนั้น ของเหลวผสมของถังแอน็อกซิกมีค่าสังกะสีเท่ากับ 40 , 247, 532, 761และ 904 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากของเหลวผสมของถังแอน็อกซิก 0.4, 0.9, 0.5, 0.2 และ 0.4 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนของเหลวผสมของถังออกซิกได้เท่ากับ 57, 212, 508, 740 และ 958 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำ

ส่วนที่กรองจากของเหลวผสมของถังออกซิกมีค่าเท่ากับ 0.4, 0.9, 0.5, 0.2 และ 0.4 มก./ล. ตามลำดับ ทั้งนี้ในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 6.0, 3.2, 0.6, 0.7 และ 2.6 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำส่วนที่กรองจากน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 0.8, 0.7, 0.4, 0.2และ 0.3 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 4-45 และกราฟในรูปที่ 4-19

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า***ของเหลวผสมในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกมีความเข้มข้นของสังกะสีน้อยกว่าในช่วงภาวะช็อกแต่มากกว่าที่สถานะคงตัว*** ซึ่งเกิดจากปริมาณ***สังกะสี(ที่มีจำนวนมากจากช่วงช็อก)ยังคงสะสมในระบบหรือยังไม่ถูกชะล้างออกไปจากเซลล์จนหมด*** ในขณะเดียวกันระบบยังคงมีความสามารถในการดูดซับสังกะสีเช่นเดียวกับช่วงแรกหรือช่วงศึกษาที่ในสถานะคงตัว โดยชุดควบคุมจะเหลือปริมาณสังกะสีในระบบน้อยมาก แสดงว่า***ถ้ามีการช็อกระบบด้วยสังกะสีระยะสั้นๆและค่อยคืนสู่สภาพเดิมแบกทีเรียของชุดควบคุมจะสามารถปรับตัวได้แน่นอน*** ในขณะที่น้ำส่วนที่กรองได้มีความเข้มข้นสังกะสีลดลงใกล้เคียงกับที่สถานะคงตัว ซึ่งแสดงถึง***ความสามารถในการฟื้นตัวของระบบต่อการช็อกด้วยสังกะสีมีสูงมาก ส่วนในน้ำทิ้งนั้นค่าสังกะสีที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าและใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม(ประเทศไทย)ที่กำหนดไว้***

เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนของสังกะสี(กรัม)ต่อเอ็มแอลเอสเอส(กรัม)พบว่า***ที่ภาวะการฟื้นตัวนี้การสะสมของสังกะสีในเอ็มแอลเอสเอสจะลดลงจากสภาพภาวะช็อกเนื่องจากมีการคายสังกะสีออกจากฟล็อกได้(จึงปรับตัวหรือฟื้นตัวได้นั่นเอง)*** แต่ปริมาณสังกะสีในเซลล์ ณ. ภาวะการฟื้นตัวนี้ก็ยังมากกว่าที่ช่วงสถานะคงตัว ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสังกะสีที่มีจำนวนมากจากช่วงช็อกยังคงสะสมในระบบและยังไม่ถูกชะล้างออกไปจากเซลล์จนหมดดังที่กล่าวมาแล้ว โดยการทดลองที่สังกะสี 0, 10, 24, 33 และ 55 มก./ล. ในถังแอน็อกซิกมีอัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสคิดเป็นร้อยละ 1.9, 9.6, 18.0, 19.1 และ 22.2 ตามลำดับ และในถังออกซิกคิดเป็นร้อยละ 2.5, 8.9, 21.6, 21.6 และ 29.8 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่าที่สถานะคงตัวเพียงเล็กน้อยดังผลการทดลองที่สรุปได้ในตารางที่ 4-46

จากการดุลมวลสังกะสีดังแสดงในตารางที่ 4-47 พบว่า***เมื่อระบบอยู่ในช่วงการฟื้นตัวปริมาณสังกะสีที่ออกจากระบบมีค่ามากกว่าปริมาณสังกะสีที่เข้าสู่ระบบ*** โดยมีค่า Δx เป็นลบ***หรือมีการคายสังกะสีออกจากเซลล์ที่***การทดลองสังกะสี 10 , 24 , 33 และ 55 มก./ล. เท่ากับ 97 , 91 , 168 และ 6 มก./วัน ตามลำดับนั่นเอง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากระบบมีการสะสมสังกะสีปริมาณมากในช่วงเกิดภาวะช็อก ช่วงนี้จึงเกิดการระบายสังกะสีส่วนเกินออกจากระบบหรือเซลล์เพื่อปรับตัวเข้าสู่สถานะคงตัวอีกครั้ง ซึ่งถ้าพิจารณาการฟื้นตัวของระบบโดยใช้

พารามิเตอร์นี้แล้วจะพบว่าระบบยังไม่ฟื้นตัวไม่สมบูรณ์ทีเดียวนัก เพราะหากฟื้นตัวได้สมบูรณ์จริงแล้ว Δx ควรมีค่าเป็นศูนย์หรือบวก ซึ่งคาดว่าต้องใช้เวลาฟื้นตัวเพิ่มขึ้นอีกไม่ต่ำกว่า 2-3 วัน

4.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลชุดทดลองที่ 2

ชุดทดลองที่ 1 นี้ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 3,500 มก./ล. ทีเคเอ็น 175 มก./ล. และฟอสฟอรัส 40 มก./ล. ทำการทดลอง 5 ครั้ง โดยแปรค่าความเข้มข้นสังกะสีเหมือนชุดทดลองที่ 1 และในทุกการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวทำการช็อกระบบด้วยสังกะสีเช่นกัน และสังเกตการฟื้นตัวของระบบ ซึ่งผลการทดลองในการวัดพารามิเตอร์ต่างๆมีดังนี้

4.2.1 อุณหภูมิ

การวัดค่าอุณหภูมิของระบบทำการวัดที่ตำแหน่งถังพักน้ำเสีย ถังแอน็อกซิก ถังออกซิก และถังตกตะกอน ซึ่งการเสนอผลในแต่ละการทดลองได้ทำการเฉลี่ยค่าตั้งแต่ช่วงสถานะคงตัวไปจนถึงการฟื้นตัวของระบบ จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในถังพักน้ำเสียมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.1 ถึง 28.7 องศาเซลเซียส ถังแอน็อกซิก 29.2 ถึง 30.9 องศาเซลเซียส ถังออกซิก 28.3 ถึง 29.8 องศาเซลเซียส และถังตกตะกอน 27.7 ถึง 29.5 องศาเซลเซียส ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-48

ลักษณะโดยรวมของระบบทุกการทดลองมีความคล้ายกันคือ เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ถังแอน็อกซิกแล้วมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากมีการถ่ายเทความร้อนจากมอเตอร์ที่ใช้กวนของเหลวผสมภายในถัง จากนั้นอุณหภูมิของระบบลดต่ำลงที่ถังออกซิกแม้ว่าภายในถังนี้จะมีการถ่ายเทความร้อนจากเครื่องกวนเช่นกัน แต่เนื่องจากถังออกซิกมีขนาดใหญ่กว่าและมีการเป่าอากาศจึงมีส่วนช่วยให้อุณภูมิลดลง และที่ถังตกตะกอนอุณหภูมิจะลดลงอีกเล็กน้อย

4.2.2 ค่าเอสวี30และค่าเอสวีไอ

4.2.2.1 สถานะคงตัว

จากผลการทดลงพบว่าการทดลองสังกะสีที่ 0, 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ค่าเอสวี30ในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกมีค่าโดยเฉลี่ยเป็น 330, 364, 226, 248 และ 244

มล./ล. และ 318, 426, 222, 198 และ 216 มล./ล. ตามลำดับ และค่าเอสวีไอในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกมีค่าโดยเฉลี่ยระหว่าง 75, 83, 52, 55 และ 53 มล./ก. และ 83, 105, 54, 47 และ 51 มล./ก. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 4-49 และกราฟในรูปที่ 4-21 (ก)

ตารางที่ 4-48 ค่าอุณภูมิของชุดทดลองที่ 2 (องศาเซลเซียส)ที่ตำแหน่งต่างๆของระบบ

ความเข้มข้นสังกะสี	ถังพักน้ำเสีย		ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก		ถังตกตะกอน	
(มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	27.1	0.8	29.2	1.1	28.3	1.2	27.7	1.0
10	28.0	0.3	30.3	0.4	29.1	0.6	28.9	0.5
25	27.6	0.8	30.0	1.0	28.9	1.0	28.4	0.9
35	28.7	0.9	30.9	1.0	29.6	0.9	29.3	0.9
50	28.7	0.9	30.8	1.0	29.8	0.9	29.5	1.0

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล (n) เท่ากับ 15

จะเห็นได้ว่า***สลัดจ์มีค่าเอสวี30และค่าเอสวีไอน้อยลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่มมากขึ้น แสดงถึงสลัดจ์สามารถจมตัวได้ดีขึ้นซึ่งเป็นผลจากการที่เซลล์ของจุลินทรีย์มีการดูดซึมสังกะสีบางส่วนเข้าสู่เซลล์ทำให้มีน้ำหนักมากขึ้น***การจมตัวจึงดีขึ้นและมีความหนาแน่นมากขึ้นลำดับ

4.2.2.2 ภาวะช็อก

ช่วงเกิดภาวะช็อกสลัดจ์ในระบบทั้งในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกมีค่าเอสวี30และเอสวีไอลดลงอย่างมาก สำหรับการทดลองที่สังกะสี 0 ถึง 10 มก./ล. โดยเฉพาะชุดควบคุมในช่วงที่ระบบอยู่ในสถานะคงตัวระบบเกิดปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์ในวันที่ 5 ของการเก็บผลการทดลอง โดยมีค่าเอสวี 30 ในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกสูงถึง 700 มล./ล.และ 850 มล./ล. ตามลำดับ และในวันแรกที่เกิดภาวะช็อกระบบยังคงเกิดการไม่จมตัวของสลัดจ์โดยมีค่าเอสวี30และเอสวีไอเป็น 900 มล./ล. และ 208 มล./ก. ตามลำดับ (ดังแสดงในภาคผนวก ค) แต่เมื่อระบบอยู่ในภาวะช็อกเป็นวันที่ 2 ค่าเอสวี 30 และเอสวีไอของทั้งระบบลดลงอย่างชัดเจน เหลือเพียง 300 มล./ล. และ 69 มล./ก.ตามลำดับ ส่วนที่การทดลองสังกะสี 35 ถึง 50 มก./ล. ค่าเอสวี 30

ตารางที่ 4-49 ค่าเอสวี30และเอสวีไอโดยเฉลี่ยของชุดการทดลองที่ 2 ในช่วง สถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	เอสวี30(มล./ล.)				เอสวีไอ(มล./ก.)			
	ถังแอนีอกซิก		ถังออกซิก		ถังแอนีอกซิก		ถังออกซิก	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	330	210.7	318	297.6	75	45.8	83	70.3
10	364	87.3	426	99.4	83	20.4	105	27.2
25	226	19.5	222	24.9	52	4.8	54	6.0
35	248	29.5	198	16.4	55	6.3	47	3.5
50	244	8.9	216	24.1	53	2.3	51	4.8

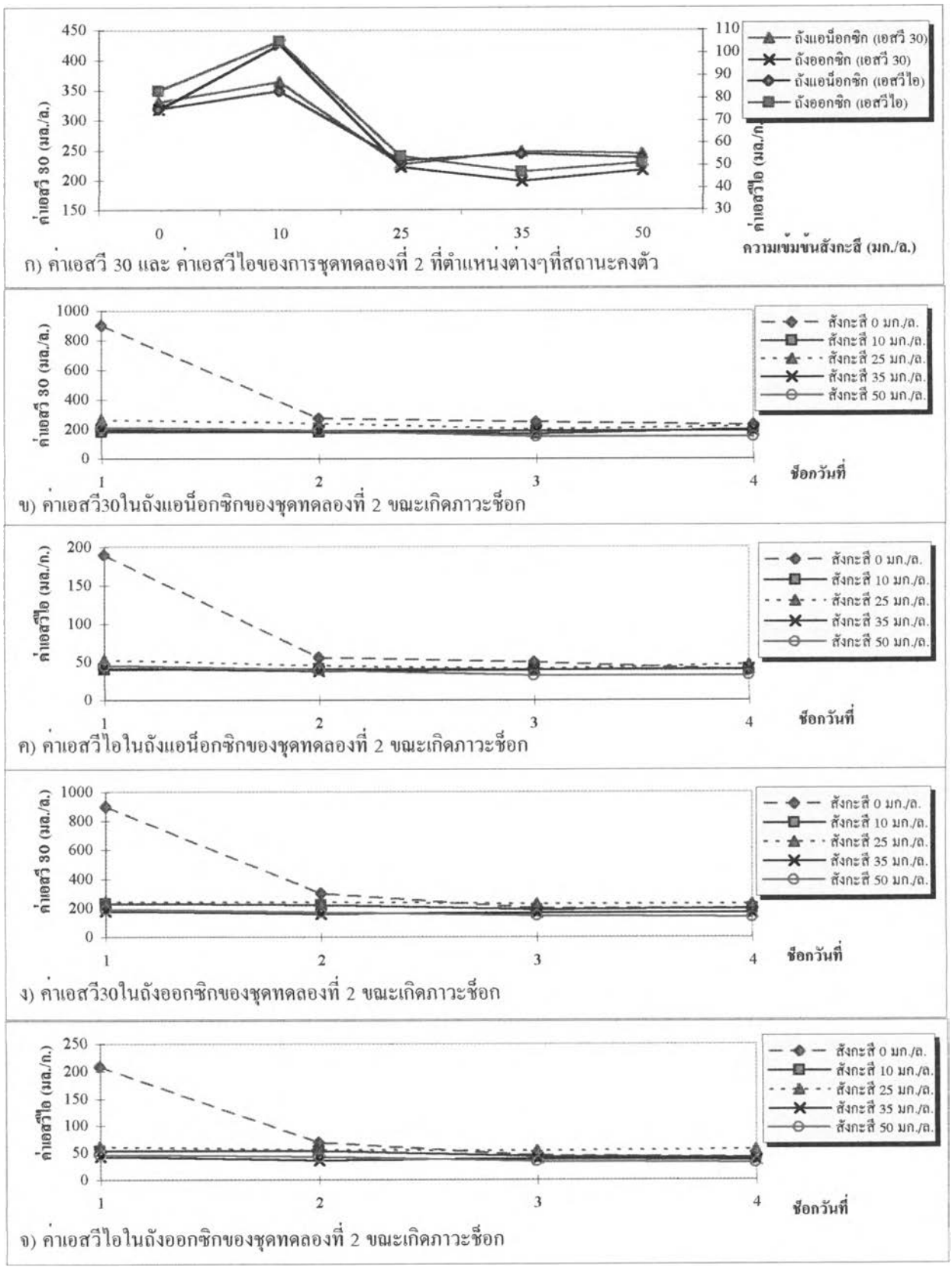
หมายเหตุ จำนวนข้อมูล (n) เท่ากับ 5

และเอสวีไอลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-50 และกราฟในรูปที่ 4-21 (ข) ถึง (ง) เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 1

จากผลการทดลองนี้พบว่า***การช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. สามารถช่วยแก้ปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์ในระบบได้ หรือสามารถลดค่าเอสวี30และเอสวีไอในช่วงสถานะคงตัวลงได้***ที่ความเข้มข้นของสังกะสีไม่เกิน 10 มก./ล. เนื่องจากความเข้มข้นช่วงดังกล่าว***เซลล์ยังสามารถดูดซึมสังกะสีได้เต็มที่จึงทำให้น้ำหนักเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างมาก*** การจมตัวจึงดีขึ้นด้วย ส่วนที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 25 มก./ล.เนต้นไป ค่าเอสวี30 และเอสวีไอลดลงเพียงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากในช่วงสถานะคงตัวเซลล์ในระบบได้ดูดซึมสังกะสีไว้ได้มากพอที่จะทำให้การจมตัวของสลัดจ์สามารถเกิดขึ้นได้ดีและมีความหนาแน่นมาก เมื่อทำการช็อกระบบจึงมีผลต่อการจมตัวของสลัดจ์น้อย เนื่องจากสลัดจ์ที่ตกนั้นสามารถเพิ่มหนาแน่นได้ไม่มากนัก

4.2.2.3 การฟื้นตัว

ช่วงเก็บผลการทดลองระยะการฟื้นตัวเป็นเวลา 14 วัน พบว่าค่าเอสวี30 และเอสวีไอยังคงมีค่าใกล้เคียงกับผลในช่วงช็อกในวันที่ 4 ยกเว้นชุดควบคุมที่ค่าเอสวี 30 และเอสวีไอ มีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 6 ของระยะการฟื้นตัว หลังจากที่มีค่าลดลงในช่วงภาวะช็อก ลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟผลการทดลองรวมในรูปที่ 4-21 (ค) ถึง (ฌ)



รูปที่ 4-21 ค่าเอสวี30และเอสวีไอภายในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ตารางที่ 4-50 ค่าเอสวี30และเอสวีไอของชุดการทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

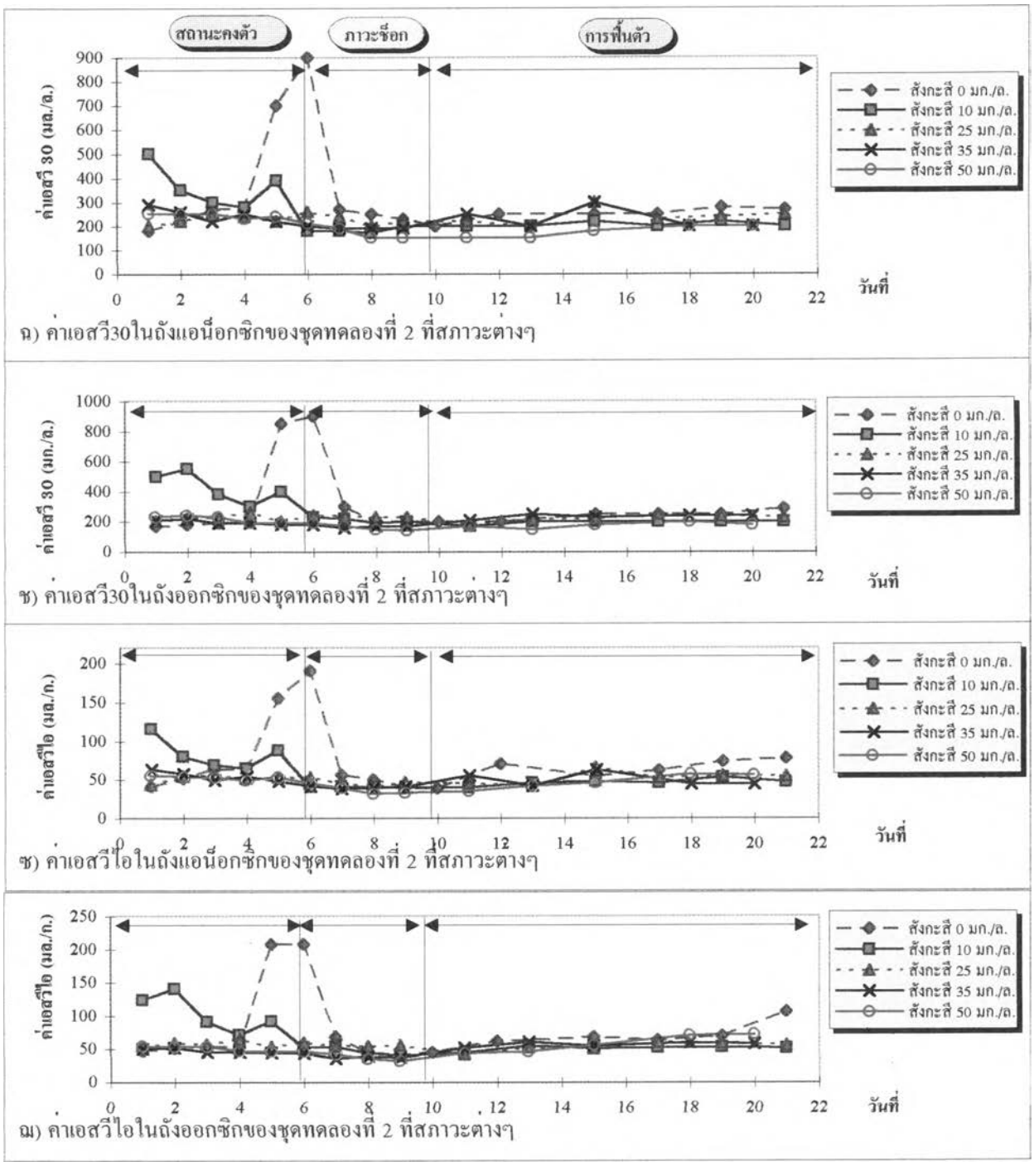
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่งระบบ	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่							
		ค่าเอสวี30 (มล./ล.)				ค่าเอสวีไอ (มล./ก.)			
		1	2	3	4	1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	ถังแอน็อกซิก	900	270	250	230	190	56	50	40
	ถังออกซิก	900	300	200	200	208	69	45	41
10	ถังแอน็อกซิก	180	180	170	200	39	38	35	40
	ถังออกซิก	230	220	190	200	53	49	42	44
25	ถังแอน็อกซิก	260	240	200	220	53	45	41	47
	ถังออกซิก	240	240	230	230	56	55	54	56
35	ถังแอน็อกซิก	200	190	190	190	42	38	40	41
	ถังออกซิก	180	160	170	170	43	36	39	37
50	ถังแอน็อกซิก	210	190	150	150	45	39	32	30
	ถังออกซิก	190	170	150	140	45	39	34	31

การที่ค่าเอสวี30และเอสวีไอของชุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นนั้นเนื่องจากในช่วงระยะการฟื้นตัวของการทดลองนี้ระบบจะไม่ได้รับสังกะสีอีก ซึ่งทำให้น้ำหนักของจุลินทรีย์ลดลงส่งผลให้ความสามารถในการจมตัวของสลัดจ์ลดลงด้วย

4.2.3 ค่าของแข็งแขวนลอยและเอ็มแอลเอสเอส

4.2.3.1 สถานะคงตัว

การวัดค่าของแข็งแขวนลอยของชุดทดลองนี้ทำการวัดเฉพาะในน้ำทิ้งเช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 1 เนื่องจากได้ทดลองวัดค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียสังเคราะห์แล้วพบว่ามีค่าน้อยมาก ส่วนการวัดค่าเอ็มแอลเอสเอสกระทำการวัดที่ถังแอน็อกซิกและถังออกซิก โดยมีผลการทดลองดังนี้ การทดลองที่สังกะสีความเข้มข้น 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล.ค่าเอ็มแอลเอสเอสของถังแอน็อกซิกและถังออกซิกมีค่าโดยเฉลี่ยเป็น 4356, 4377, 4393, 4545 และ 4634 มก./ล. ตามลำดับ และ 3704, 4090, 4102, 4200 และ 4246 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนค่าของ



ฉ) ค่าเอสวี30ในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ช) ค่าเอสวี30ในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ซ) ค่าเอสวีไอในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ฌ) ค่าเอสวีไอในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-21 (ต่อ)ค่าเอสวี30และเอสวีไอภายในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

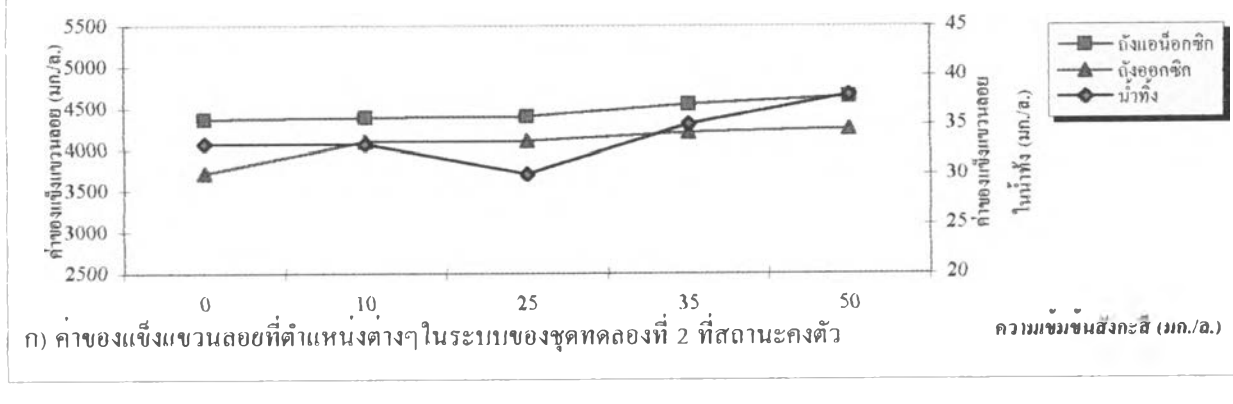
แข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งมีค่าโดยเฉลี่ยเป็น 33, 33, 30, 35 และ 38 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-51 และกราฟในรูปที่ 4-22 (ก)

จากผลการทดลอง ***มวลของจุลินทรีย์ในระบบของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันไม่มากนักโดยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย(จนไม่มีนัยสำคัญ)ตามความเข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้น*** แสดงถึงผลจากน้ำหนักของสังกะสีที่ดูดซับสู่เซลล์ของจุลินทรีย์มีน้อยมาก ***เนื่องจากอัตราส่วนของซีโอดีต่อสังกะสีในน้ำเสียมีค่าสูงมาก(เท่ากับ 70 ถึง 350)ผลของสังกะสีจึงมีไม่มาก*** การเพิ่มของค่าเอ็มแอลเอสเอสน่าจะเกิดจากการเจริญเติบโตของเซลล์ ซึ่งชุดทดลองนี้มีค่าซีโอดีที่เข้าสู่ระบบในปริมาณมาก ต่างจากการทดลองในชุดทดลองที่ 1 ที่มีซีโอดีต่อสังกะสีเท่ากับ 10 ถึง 50 ซึ่งสังกะสีเริ่มมีผลต่อระบบอย่างมากที่ซีโอดีต่อสังกะสีเท่ากับ 10

ตารางที่ 4-51 ค่าของแข็งแขวนลอยและเอ็มแอลเอสเอสโดยเฉลี่ย(มก./ล.)ของชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ค่าเอ็มแอลเอสเอส				ค่าของแข็งแขวนลอย	
	ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก		น้ำทิ้ง	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	4356	116	3704	231	33	6.6
10	4377	39	4090	109	33	5.2
25	4393	272	4102	31	30	4.6
35	4545	60	4200	60	35	1.8
50	4634	86	4246	75	38	5.4

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล (n) เท่ากับ 5



ก) ค่าของแข็งแขวนลอยที่ตำแหน่งต่างๆในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว

รูปที่ 4- 22 ค่าของแข็งแขวนลอยภายในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

4.2.3.2 ภาวะช็อก

เมื่อระบบเกิดภาวะช็อกพบว่าค่าเอ็มแอลเอสเอสจากถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของทุกการทดลองเพิ่มสูงขึ้นบ้าง โดยมีค่ามากขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่ทำการช็อกระบบ โดยการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ค่าเอ็มแอลเอสเอสของถังแอน็อกซิกมีช่วงการเพิ่มเป็น 4733 ถึง 5680, 4646 ถึง 5013, 4706 ถึง 5313, 4640 ถึง 4960 และ 4633 ถึง 4934 มก./ล. ตามลำดับ และในถังออกซิกมีช่วงการเพิ่มเป็น 4328 ถึง 4866, 4380 ถึง 4516, 4313 ถึง 4462, 4153 ถึง 4586 และ 4260 ถึง 4586 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของทุกการทดลองก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกันโดยมีช่วงการเพิ่มค่าเป็น 36 ถึง 132, 40 ถึง 56, 36 ถึง 64, 40 ถึง 68 และ 40 ถึง 60 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-52 และกราฟในรูปที่ 4-22 (ข) ถึง (ง)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า***การช็อกระบบมีผลในการเพิ่มค่าของทั้งของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งและเอ็มแอลเอสเอสในระบบ*** เนื่องจากการช็อกระบบเป็นการเพิ่มปริมาณของสังกะสีให้เข้าสู่ระบบมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่า***ค่าเอ็มแอลเอสเอสที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากการที่จุลินทรีย์มีการดูดซึมสังกะสีเข้าสู่เซลล์ได้มากขึ้น***เนื่องจากเซลล์ยังไม่อิ่มตัวเพราะอัตราส่วนของซีโอดีต่อสังกะสีมีค่าสูง และนอกจากนั้นการที่สังกะสีเข้าสู่ระบบในปริมาณที่มากขึ้นก็สามารถทำปฏิกริยากับคาร์บอเนตได้เพิ่มขึ้นดังนั้นปริมาณตะกอนสังกะสีคาร์บอเนตที่เกิดจึงมากขึ้นด้วย ***ส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งนั้นเป็นผลจากการที่มีจุลินทรีย์บางส่วนไม่จมตัวเนื่องจากไม่มีการจับตัวกันเป็นฟล็อก***โดยลอยขอยู่อย่างกระจัดกระจายในน้ำใสส่วนบน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการช็อกระบบมีผลในการลดการสร้างฟล็อกของจุลินทรีย์ในระบบโดยเฉพาะชุดควบคุมซึ่งจุลินทรีย์ไม่เคยชินกับสังกะสีมาก่อน ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Neufeld (1976) ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.3

4.2.3.3 การฟื้นตัว

เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะฟื้นตัวค่าเอ็มแอลเอสเอสของถังแอน็อกซิกและถังออกซิก รวมทั้งค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง มีค่าลดลงหลังจากที่ได้เพิ่มขึ้นในช่วงการช็อกระบบจนกระทั่งมีค่าใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัว โดยการฟื้นตัวของค่าเอ็มแอลเอสเอสของถังแอน็อกซิกและถังออกซิกใช้เวลาการฟื้นตัวประมาณ 6 ถึง 10 วัน ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งในช่วง2 ถึง 3 วันแรกของการฟื้นตัว ยังคงมีค่าสูงขึ้นกว่าช่วงช็อกระบบ จากนั้นจึงมีค่าลดลงและใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัวภายใน 4 ถึง 8 วันนับจากการช็อกในวันสุดท้าย ***โดยชุดควบคุมใช้ระยะ***

เวลาการฟื้นตัวมากที่สุด รายละเอียดระยะเวลาการฟื้นตัวแสดงในตารางที่ 4-53 และลักษณะการฟื้นตัวแสดงในกราฟของผลการทดลองรวมในรูปที่ 4-22 (จ) ถึง (ช)

ตารางที่ 4-52 ค่าของแข็งแขวนลอยและเอ็มแอลเอสเอสของชุดการทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

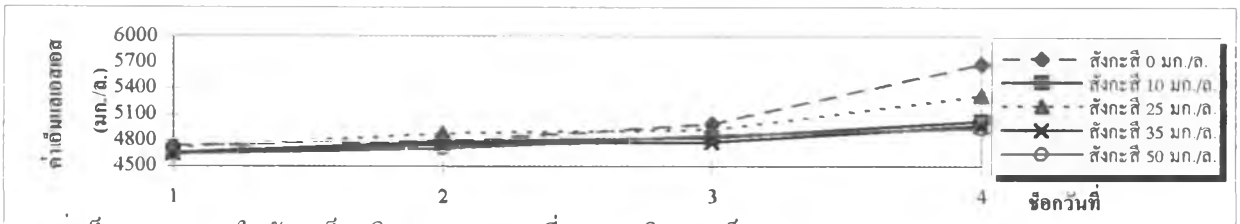
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่									
	ค่าเอ็มแอลเอสเอส					ค่าของแข็งแขวนลอย				
	ตำแหน่งระบบ	1	2	3	4	ตำแหน่งระบบ	1	2	3	4
0	ถังแอนีอกซิก	4733	4780	4986	5680	น้ำเสีย	-	-	-	-
(ชุดควบคุม)	ถังออกซิก	4328	4375	4453	4866	น้ำทิ้ง	36	48	60	132
10	ถังแอนีอกซิก	4646	4765	4826	5013	น้ำเสีย	-	-	-	-
	ถังออกซิก	4380	4466	4480	4516	น้ำทิ้ง	44	42	40	56
25	ถังแอนีอกซิก	4706	4873	4920	5313	น้ำเสีย	-	-	-	-
	ถังออกซิก	4313	4393	4440	4462	น้ำทิ้ง	36	42	56	64
35	ถังแอนีอกซิก	4640	4753	4773	4960	น้ำเสีย	-	-	-	-
	ถังออกซิก	4153	4493	4378	4586	น้ำทิ้ง	52	48	40	68
50	ถังแอนีอกซิก	4633	4700	4853	4934	น้ำเสีย	-	-	-	-
	ถังออกซิก	4260	4353	4466	4856	น้ำทิ้ง	40	40	40	60

จากผลการทดลองและจากกราฟจะเห็นได้ว่าการฟื้นตัวของค่าเอ็มแอลเอสเอสและค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของชุดควบคุมต้องใช้ระยะเวลามากที่สุดแสดงถึงการช็อกระบบมีผลต่อพารามิเตอร์นี้ของชุดควบคุมมากกว่าการทดลองอื่น

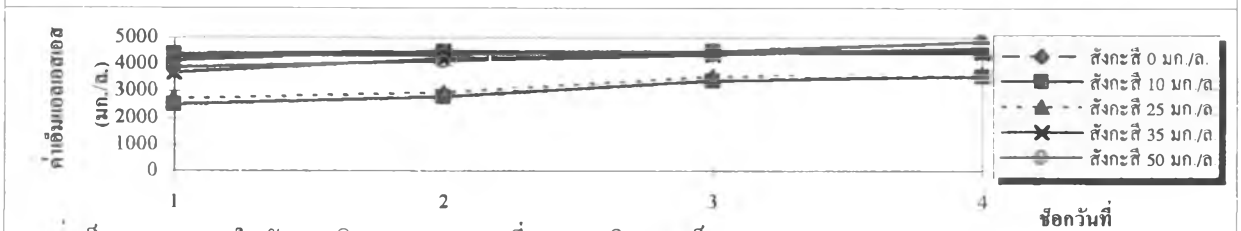
4.2.4 โออาร์พี

4.2.4.1 สถานะคงตัว

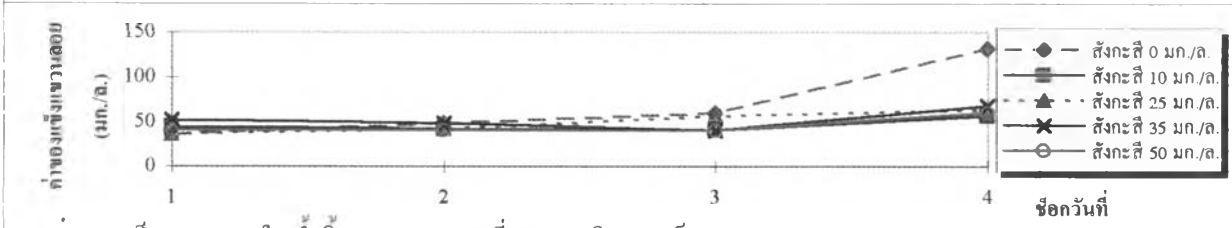
ขณะอยู่ในสถานะคงตัวค่าโออาร์พีโดยเฉลี่ยของทุกการทดลองที่วัดได้จากถังพักน้ำเสีย ถังแอนีอกซิก ถังออกซิก และถังตกตะกอน มีค่าอยู่ในช่วง 28 ถึง 44, -254 ถึง



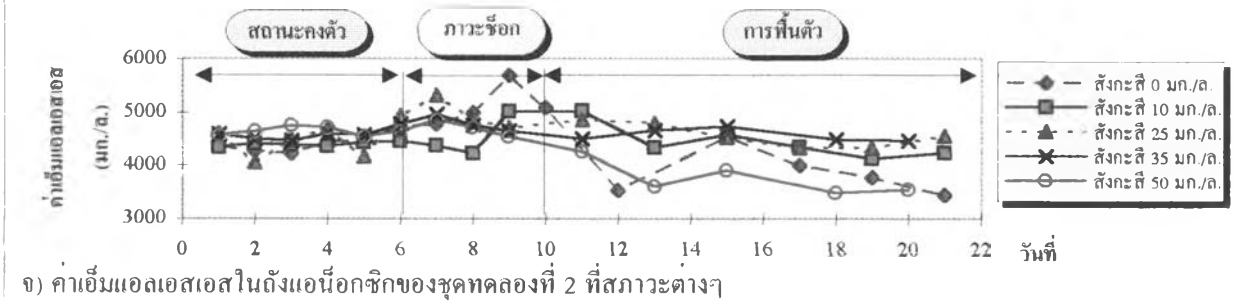
ข) ค่าเอ็มแอลเอสเอสในถังแอนิ็อกซิกของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก



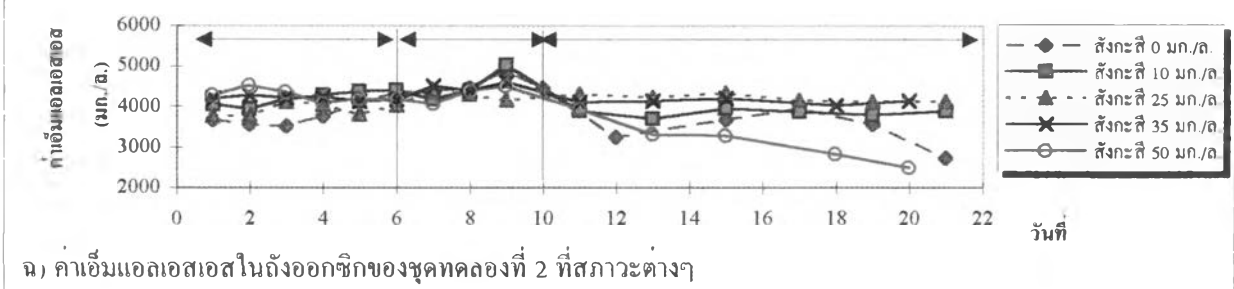
ค) ค่าเอ็มแอลเอสเอสในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก



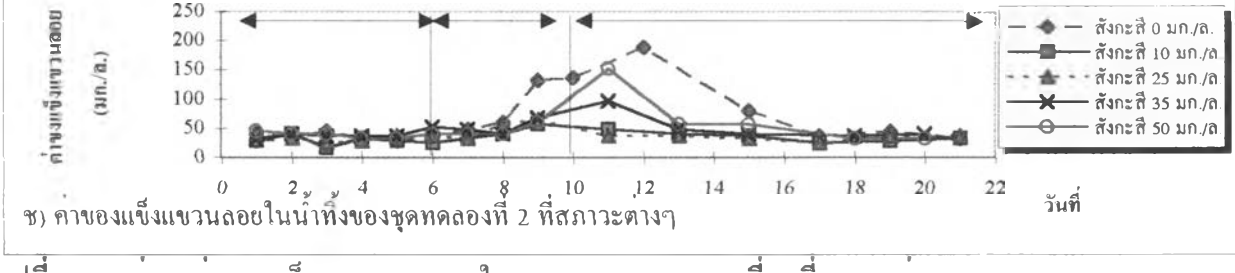
ง) ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก



จ) ค่าเอ็มแอลเอสเอสในถังแอนิ็อกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ



ฉ) ค่าเอ็มแอลเอสเอสในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ



ช) ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-22 (ต่อ) ค่าของแข็งแขวนลอยภายในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ตารางที่ 4-53 ระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบเมื่อใช้ค่าของแข็งแขวนลอยและเอ็มแอลเอสเอสของชุดการทดลองที่ 2 ที่ตำแหน่งต่างๆของระบบเป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ค่าเอ็มแอลเอสเอส		ค่าของแข็งแขวนลอย
	ถังแอน็อกซิก	ถังออกซิก	น้ำทิ้ง
0 (ชุดควบคุม)	10	10	8
10	8	8	4
25	8	8	4
35	6	6	4
50	6	6	6

-327, 53 ถึง 68 และ 23 ถึง 54 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-54 และกราฟในรูปที่ 4-23 (ก)

จากผลการทดลองค่าโออาร์พีจะแตกต่างกันเฉพาะในถังแอน็อกซิกโดยมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน ซึ่งอาจเกิดจากการเติมอากาศที่ไม่เท่ากันในแต่ละการทดลอง เนื่องจากเครื่องเติมอากาศที่ใช้ไม่สามารถคุมอัตราการเติมอากาศที่แม่นยำได้ และเมื่อพิจารณาร่วมกับอัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบ พบว่าค่าโออาร์พีของชุดทดลองนี้ไม่สามารถใช้สังเกตอัตราดีไนตริฟิเคชันที่แตกต่างกันตามงานวิจัยของ Lie และ Welander (1994) ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1.4

4.2.4.2 ภาวะช็อก

ในขณะเกิดภาวะช็อกค่าโออาร์พีภายในถังแอน็อกซิกและถังออกซิก มีค่าเพิ่มขึ้นทุกการทดลอง โดยในถังแอน็อกซิกนั้นมีการเพิ่มมากกว่าถังออกซิก จากผลการทดลองค่าโออาร์พีในถังแอน็อกซิกของชุดควบคุมเพิ่มขึ้นมากที่สุดมีค่าอยู่ในช่วง -114 ถึง 84 มิลลิโวลท์ และที่ความเข้มข้นสังกะสี 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีค่าโออาร์พีเพิ่มขึ้นเป็น -95 ถึง -45, -189 ถึง -86, -174 ถึง -105 และ -167 ถึง -109 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ส่วนในถังออกซิกนั้นค่าโออาร์พีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยทุกการทดลองอยู่ในช่วง 60 ถึง 92 มิลลิโวลท์ และค่าโออาร์พีใน

ตารางที่ 4.54 ค่าโออาร์พีโดยเฉลี่ย(มิลลิโวลท์)ของชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	น้ำเสีย		ถังแอนื่อกซิก		ถังออกซิก		น้ำทิ้ง	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	37	8.99	-289	4.49	68	5.46	54	7.16
10	44	7.02	-327	14.34	56	9.13	30	7.56
25	28	4.72	-309	7.60	50	2.39	26	6.52
35	40	6.23	-293	19.03	57	11.22	52	25.26
50	40	6.23	-254	9.03	64	14.38	46	24.92

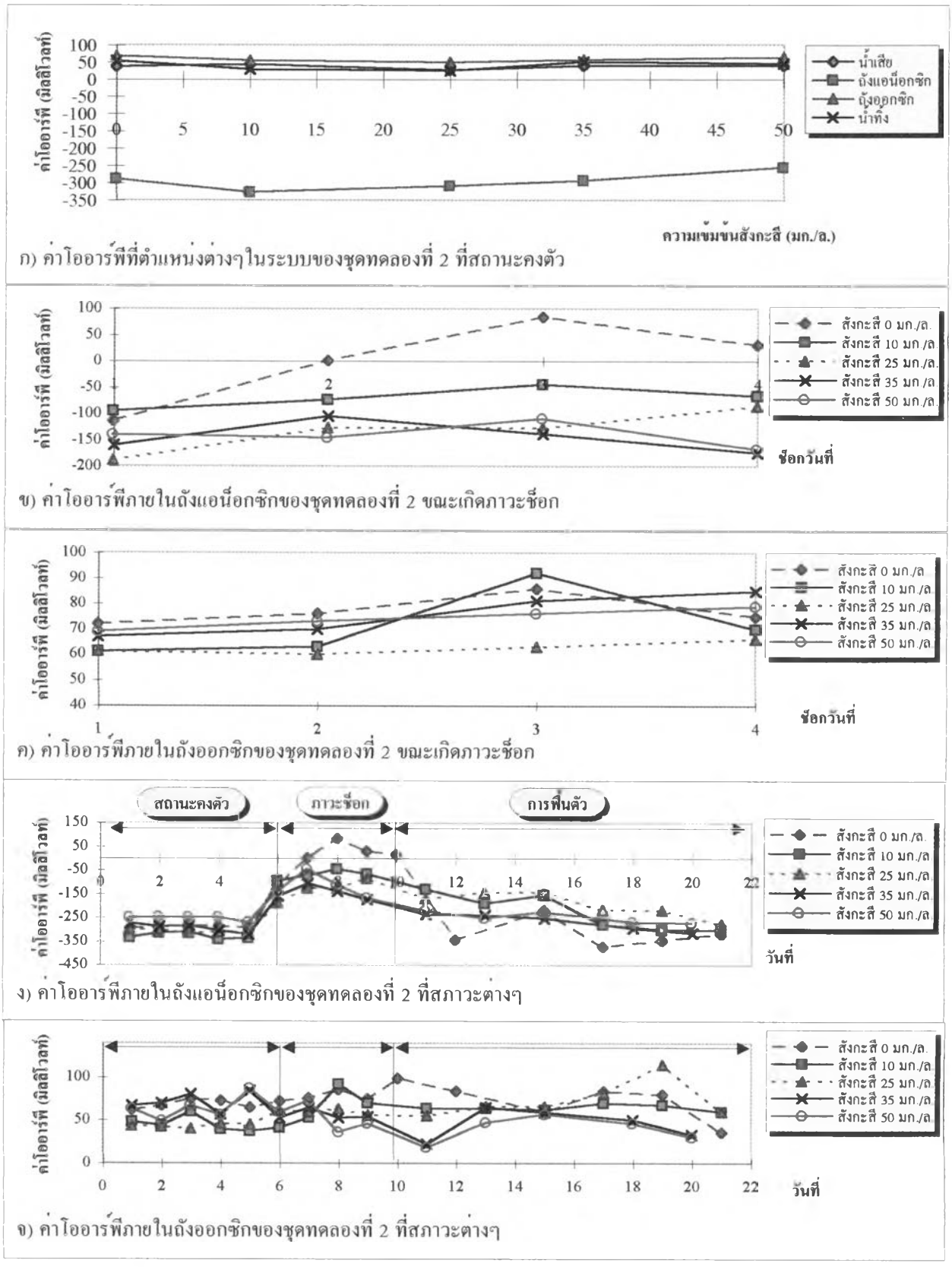
หมายเหตุ จำนวนขอมูล (n) เท่ากับ 5

น้ำทิ้งเพิ่มขึ้นไม่มากนักเช่นกันอยู่ในช่วง 39 ถึง 69 มิลลิโวลท์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-55 และกราฟในรูปที่ 4-23 (ข) และ (ค)

เมื่อเกิดภาวะช็อกค่าโออาร์พีในถังแอน็อกซิกมีค่ามากขึ้นต่างจากสถานะคงตัวอย่างชัดเจน โดยเฉพาะชุดควบคุม ซึ่งจากการที่ค่าโออาร์พีภายในถังแอน็อกซิกมีค่าเพิ่มขึ้น ***แสดงว่าดีในตริฟีเคชันภายในถังแอน็อกซิกลดลง*** โดยชุดควบคุมมีอัตราการลดลงมากที่สุด ส่วนค่าโออาร์พีของถังออกซิกเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อาจเป็นผลเนื่องจากภายในถังมีปริมาณออกซิเจนมากขึ้นในขณะเกิดภาวะช็อก

4.2.4.3 การฟื้นตัว

การฟื้นตัวของระบบควรสังเกตจากค่าโออาร์พีภายในถังแอน็อกซิกเป็นหลัก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าโออาร์พีของถังนี้มีความชัดเจน ระบบมีการฟื้นตัวโดยค่าโออาร์พีจะลดลงจนกระทั่งมีค่าใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัว ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ชุดควบคุมสามารถฟื้นตัวได้ดีที่สุดใช้เวลาเพียง 3 วัน ส่วนการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. ใช้เวลา 9 ถึง 12 วันระยะการฟื้นตัวแสดงดังตารางที่ 4-56 ลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟผลการทดลองรวมในรูปที่ 4-23 (ง) ถึง (จ)



รูปที่ 4-23 ค่าโออาร์พีในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ตารางที่ 4-55 ค่าโออาร์พีของชุดการทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่งระบบ	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	น้ำเสีย	48	40	30	50
	ถังแอน็อกซิก	-114	1	84	31
	ถังออกซิก	72	76	86	75
	น้ำทิ้ง	69	66	68	68
10	น้ำเสีย	31	42	27	38
	ถังแอน็อกซิก	-95	-74	-45	-66
	ถังออกซิก	61	63	92	70
	น้ำทิ้ง	40	43	47	55
25	น้ำเสีย	38	27	31	42
	ถังแอน็อกซิก	-189	-127	-127	-86
	ถังออกซิก	60	60	63	66
	น้ำทิ้ง	53	49	47	46
35	น้ำเสีย	23	34	24	30
	ถังแอน็อกซิก	-160	-105	-138	-174
	ถังออกซิก	67	70	81	85
	น้ำทิ้ง	39	43	47	42
50	น้ำเสีย	23	34	24	30
	ถังแอน็อกซิก	-140	-146	-109	-167
	ถังออกซิก	69	73	76	79
	น้ำทิ้ง	53	65	53	52

ตารางที่ 4-56 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)ของระบบเมื่อใช้ค่าโออาร์พีในถังแอน็อกของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี(มก./ล.)	0(ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	3	10	12	9	9

4.2.5 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

4.2.5.1 สถานะคงตัว

ค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำเสียในถังพัก ถังแอนีอกซิก ถังออกซิก และน้ำทิ้ง จากการเฉลี่ยของแต่ละการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.17 ถึง 0.34, 0.03 ถึง 0.12, 3.20 ถึง 4.47, 0.61 ถึง 1.2 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-57 และกราฟในรูปที่ 4-24 (ก)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ออกซิเจนละลายน้ำในถังแอนีอกซิกมีค่าน้อยกว่า 0.2 มก./ล. เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 1 ฉะนั้นออกซิเจนอิสระจึงไม่ส่งผลในการยับยั้งการเกิดปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันภายในถัง ***ส่วนค่าออกซิเจนละลายน้ำของถังออกซิกมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงถึงทุกการทดลองน่าจะมีอัตราการใช้ออกซิเจนที่ใกล้เคียงกัน***

ตารางที่ 4.57 ค่าออกซิเจนละลายน้ำโดยเฉลี่ย (มก./ล.)ของชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว

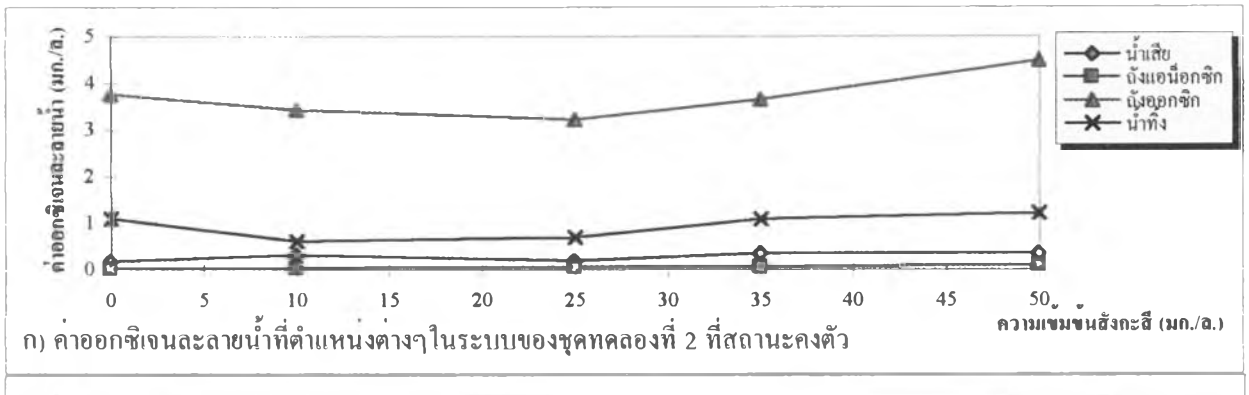
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	น้ำเสีย		ถังแอนีอกซิก		ถังออกซิก		น้ำทิ้ง	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D
0 (ชุดควบคุม)	0.17	0.08	0.02	0.00	3.75	0.15	1.10	0.27
10	0.30	0.10	0.03	0.01	3.42	0.35	0.61	0.09
25	0.18	0.04	0.05	0.02	3.21	0.17	0.69	0.21
35	0.34	0.15	0.06	0.01	3.64	0.17	1.08	0.16
50	0.34	0.15	0.12	0.04	4.47	0.43	1.20	0.16

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล (n) เท่ากับ 5

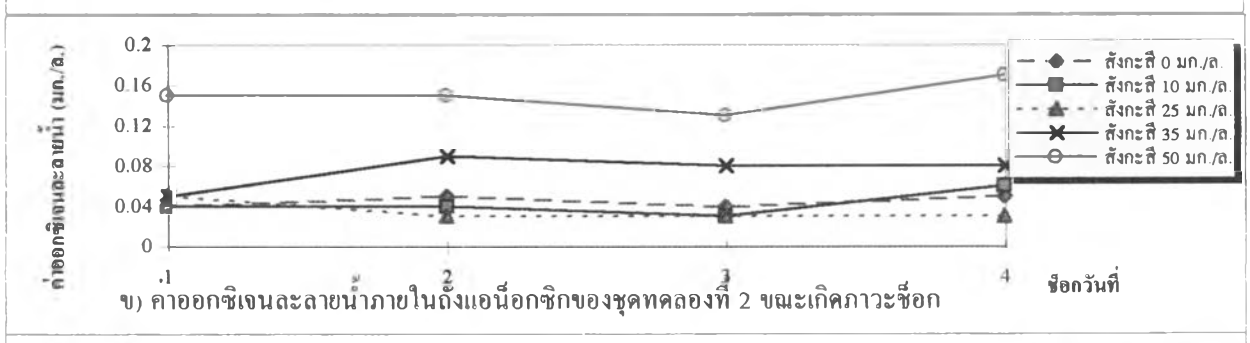
4.2.5.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกค่าออกซิเจนละลายน้ำของถังแอนีอกซิกในแต่ละการทดลองไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนภายในถังออกซิกนั้นค่าออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการช็อก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-58 และกราฟในรูปที่ 4-24 (ข) และ (ค)

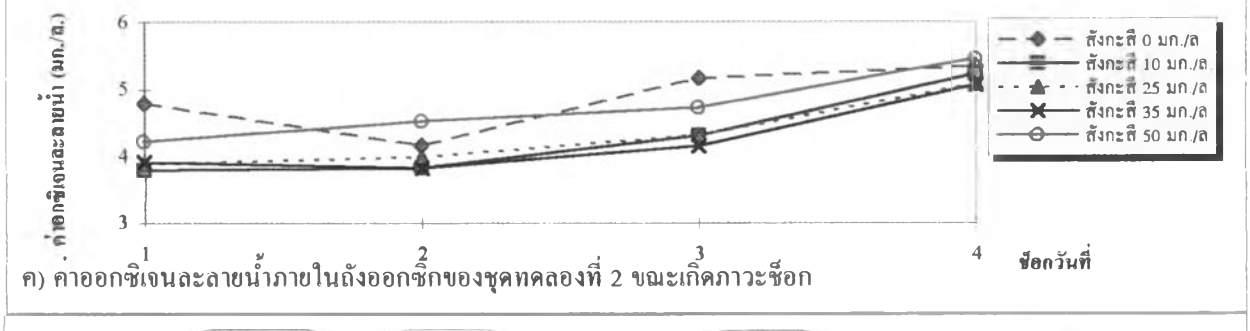
จากผลการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า***การช็อก***



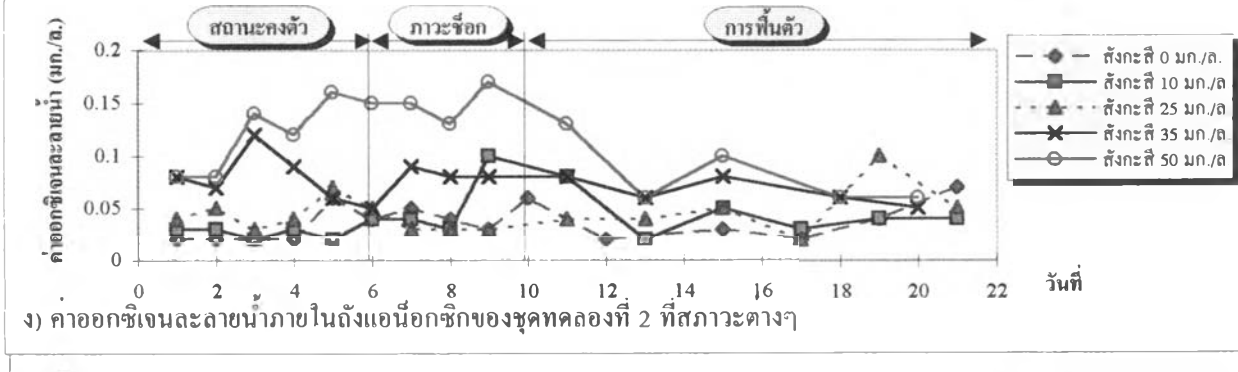
ก) ค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ตำแหน่งต่างๆในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว



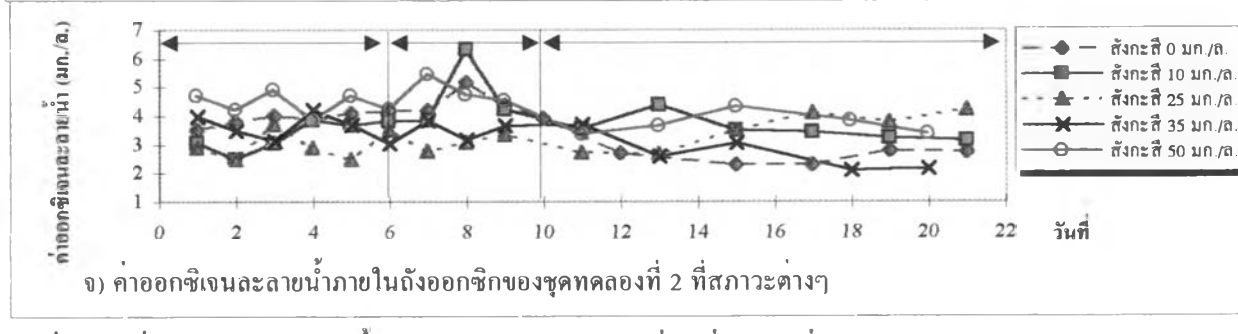
ข) ค่าออกซิเจนละลายน้ำภายในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก



ค) ค่าออกซิเจนละลายน้ำภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก



ง) ค่าออกซิเจนละลายน้ำภายในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ



จ) ค่าออกซิเจนละลายน้ำภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-24 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. มีผลทำให้จุลินทรีย์ภายในถังออกซิกใช้ออกซิเจนลดลง โดยสามารถพิจารณาได้จากอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะดังที่จะกล่าวถึงในหัวข้อ 4.2.6.2 และเมื่อพิจารณาร่วมกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองพบว่าทุกการทดลองมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยสังเกตได้ว่าในน้ำทิ้งมีค่าซีโอดีกรองเพิ่มขึ้น แสดงถึงการช็อกระบบมีผลต่อคาร์บอนแบกทีเรีย

ตารางที่ 4-58 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)ของชุดการทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่งระบบ	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	น้ำเสีย	0.36	0.24	0.16	0.37
	ถังแอน็อกซิก	0.04	0.05	0.04	0.05
	ถังออกซิก	4.8	4.18	5.17	5.35
	น้ำทิ้ง	0.48	0.15	0.45	0.57
10	น้ำเสีย	0.12	0.25	0.18	0.30
	ถังแอน็อกซิก	0.04	0.04	0.03	0.06
	ถังออกซิก	3.81	3.85	4.33	5.23
	น้ำทิ้ง	0.81	0.67	0.68	0.82
25	น้ำเสีย	0.36	0.1	0.22	0.45
	ถังแอน็อกซิก	0.05	0.03	0.03	0.03
	ถังออกซิก	3.9	4.01	4.34	5.09
	น้ำทิ้ง	0.92	0.5	0.82	1.48
35	น้ำเสีย	0.12	0.27	0.15	0.18
	ถังแอน็อกซิก	0.05	0.09	0.08	0.08
	ถังออกซิก	3.93	3.85	4.17	5.07
	น้ำทิ้ง	0.61	0.69	0.67	0.59
50	น้ำเสีย	0.12	0.27	0.15	0.18
	ถังแอน็อกซิก	0.15	0.15	0.13	0.17
	ถังออกซิก	4.23	4.54	4.74	5.46
	น้ำทิ้ง	1.06	1.2	1.03	0.44

4.2.5.3 การฟื้นตัว

การฟื้นตัวของระบบโดยสังเกตจากค่าออกซิเจนละลายน้ำนั้นให้พิจารณาจากค่าออกซิเจนละลายน้ำของถังออกซิก ซึ่งจะมีค่าลดลงหลังจากที่ได้เพิ่มขึ้นมาก่อนหน้านี้ในขณะเกิดภาวะช็อก จนกระทั่งมีค่าใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัว ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 ถึง 4 วัน และจากการสังเกตพบว่าหลังจากระยะเวลาดังกล่าวค่าออกซิเจนละลายน้ำยังคงลดลง ยกเว้นชุดควบคุมเท่านั้น เมื่อทำการวัดค่าอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะจึงพบว่าที่การทดลองความเข้มข้นสังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. ระบบมีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะมากขึ้นกว่าช่วงสถานะคงตัวดังมีรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2.6.3 ระยะเวลาการฟื้นตัวของแต่ละการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-59 และลักษณะของการฟื้นตัวแสดงดังกราฟผลการทดลองรวมในรูปที่ 4-24 (ง) และ (จ)

จากผลการทดลองดังกล่าวเมื่อพิจารณาร่วมกับอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะพบว่า ***จุลินทรีย์ภายในถังออกซิกของการทดลองนี้เมื่อเคยชินกับน้ำเสียซีโอดีสูงและสังกะสีแล้ว การช็อกระบบสามารถกระตุ้นให้จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนได้มากขึ้น***

ตารางที่ 4-59 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)ของระบบเมื่อใช้ค่าออกซิเจนละลายน้ำในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี(มก./ล.)	0(ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	3	2	4	4	2

4.2.6 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ

4.2.6.1 สถานะคงตัว

อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะทำการวัดโดยนำของเหลวผสมจากถังออกซิกมาทดลองแบบแบตช์ พบว่าที่ความเข้มข้นสังกะสี 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเป็น 10.44, 11.52, 11.52, 11.16 และ 9.36 มก.ออกซิเจน/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ดังแสดงในตารางที่ 4-60 และกราฟรูปที่ 4-25

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีผลต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำของถังออกซิกในแต่ละการทดลองดังแสดงในหัวข้อ 4.2.5.1 การทดลองชุดนี้การแปรค่าสังกะสีถึง 50

มก./ล. มีผลต่อการใช้ออกซิเจนจำเพาะของระบบน้อยมาก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าที่ความเข้มข้นสังกะสี 50 มก./ล. ระบบยังคงมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดี เมื่อพิจารณาร่วมกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองพบว่าทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆดังแสดงในตารางที่ 4-61 และ 4-62 ซึ่งตารางที่ 4-61ใช้อัตราส่วนของสารอาหารต่อมวลจุลชีพเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบ***พบว่าที่อัตราส่วนของสารอาหารต่อมวลจุลชีพที่ใกล้เคียงกันอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่ทดลองได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Daukss และ คณะ โดยอิทธิพลของสังกะสีในช่วงที่ศึกษามีผลไม่มากต่อระบบ*** และจากตารางสามารถสรุปได้ว่าอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะมีค่าแปรตามอัตราส่วนของสารอาหารต่อมวลจุลชีพ ส่วนตารางที่ 4-62 ใช้อัตราส่วนของแอมโมเนียต่อวีเอสเอสและเอ็มแอลเอสเอสเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบ ซึ่งพบว่าอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่างานวิจัยของ Chen และ คณะ เนื่องจากมีอัตราส่วนของแอมโมเนียต่อเอ็มแอลเอสเอสต่ำกว่า ทำให้ระบบมีไนตริฟายอิงแบกทีเรียน้อยกว่าด้วย

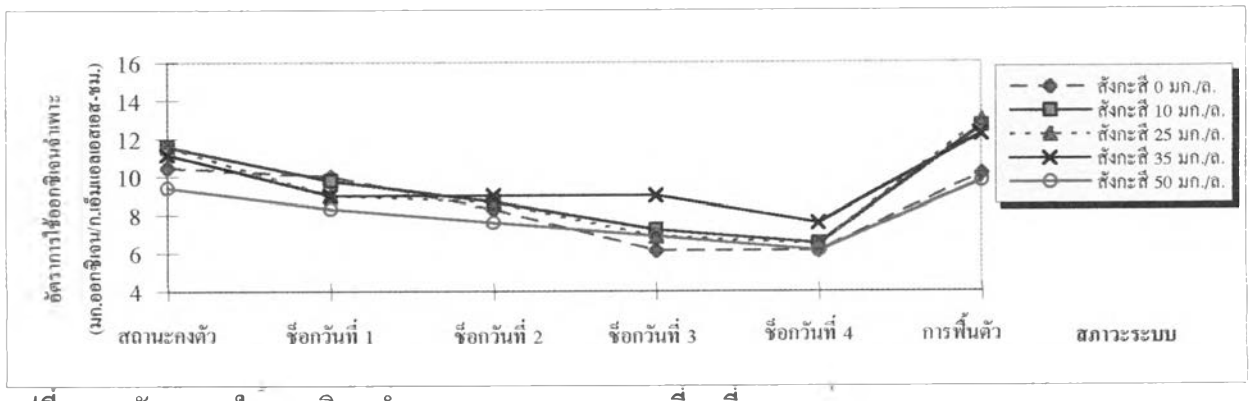
ตารางที่ 4-60 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ (มก.ออกซิเจน/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม.) ของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสภาวะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	สภาวะระบบ					
	สถานะคงตัว	ช็อกวันที่ 1	ช็อกวันที่ 2	ช็อกวันที่ 3	ช็อกวันที่ 4	ช่วงฟื้นตัว*
0	10.44	9.97	8.28	6.10	6.10	10.1
10	11.52	9.72	8.64	7.20	6.48	12.6
25	11.52	9.00	8.64	6.86	6.48	12.9
35	11.16	9.00	9.00	9.00	7.56	12.2
50	9.36	8.28	7.56	6.86	6.10	9.72

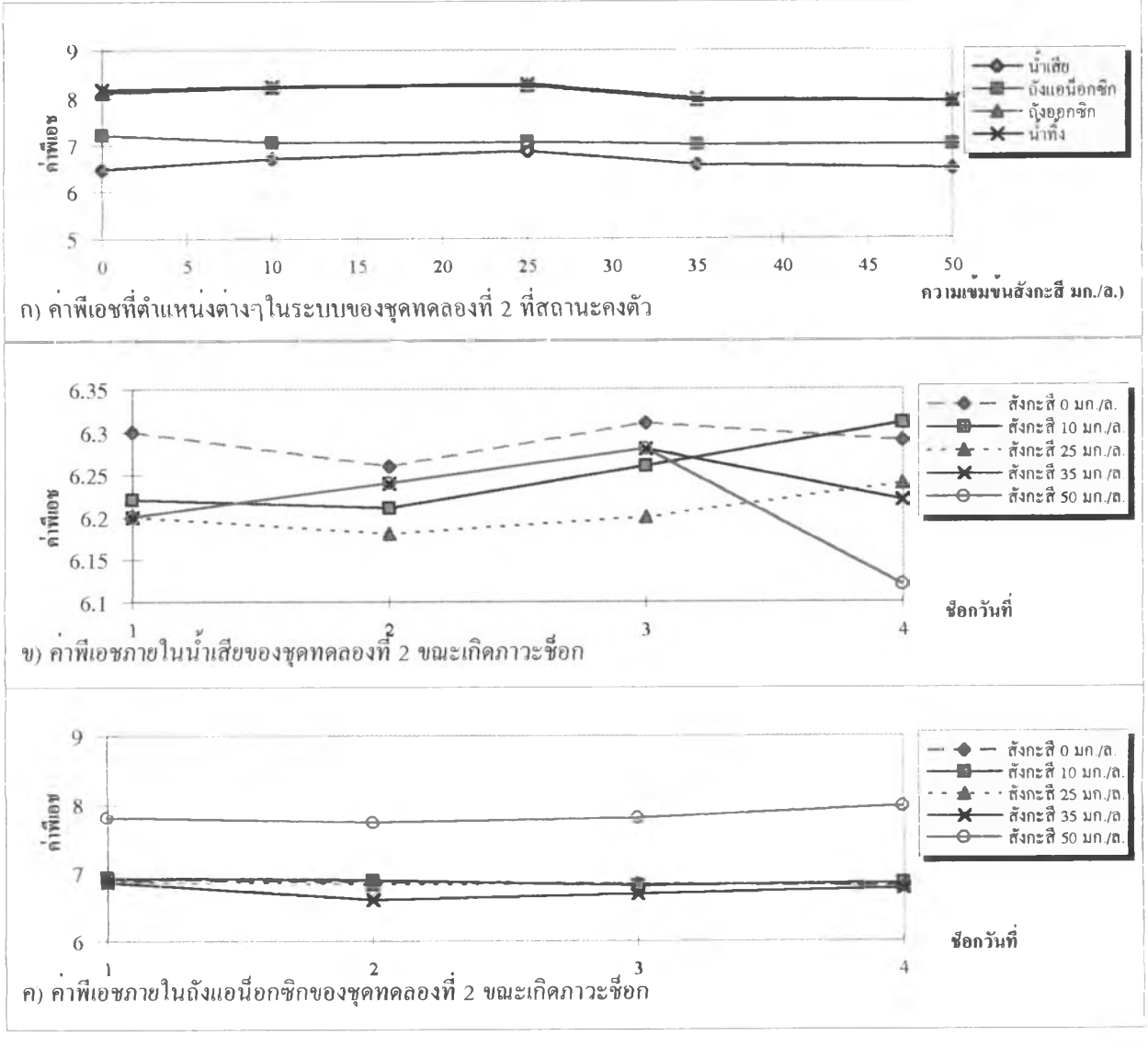
หมายเหตุ * ทำการทดลองหลังจากเลิกช็อกระบบเป็นเวลา 11 หรือ 12 วัน

4.2.6.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะลดลงทุกการทดลองและมีแนวโน้มลดมากขึ้นตามระยะเวลาการช็อก โดยที่ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะลดลงจากการช็อกวันที่ 1 ถึง วันที่ 4 เป็น 6.1 ถึง 9.97 ,



รูปที่ 4-25 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของชุดการทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ 4-26 ค่าพีเอชในระบบของชุดการทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ตารางที่ 4-61 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเมื่อแปรค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อมวลจุลชีพ

F/M Ratio	Average Specific Oxygen Uptake rate (mg O_2/gm MLSS/hr)	Reference
0.12	11.7	Daukss และ คณะ (1994)
0.25	10.8	
0.47	17.1	
0.60	23.3	
0.51	16.2	Nann และ คณะ (1994)
0.85	35.3	
0.96	31.7	
0.36	10.44 (สังกะสี 0 มก./ล.)	งานวิจัยนี้
0.34	11.52 (สังกะสี 10 มก./ล.)	
0.34	11.52 (สังกะสี 25 มก./ล.)	
0.32	11.16 (สังกะสี 35 มก./ล.)	
0.32	9.36 (สังกะสี 50 มก./ล.)	

ตารางที่ 4-62 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเมื่อแปรค่าอัตราส่วนแอมโมเนียมต่อมวลจุลชีพ

NH_4-N/VSS Ratio	Average Specific Oxygen Uptake rate (mg O_2/gm VSS/hr)	Reference
1	18	Chen และคณะ (1997)
1.1	24	
1.15	25	
1.5	23	
NH_3-N/MLSS Ratio	Average Specific Oxygen Uptake rate (mg O_2/g MLSS/hr)	Reference
0.14	10.44 (สังกะสี 0 มก./ล.)	งานวิจัยนี้
0.13	11.52 (สังกะสี 10 มก./ล.)	
0.13	11.52 (สังกะสี 25 มก./ล.)	
0.12	11.16 (สังกะสี 35 มก./ล.)	
0.12	9.36 (สังกะสี 50 มก./ล.)	

6.48 ถึง 9.72 , 6.48 ถึง 9.00 , 7.56 ถึง 9.00 และ 6.1ถึง 8.28 มก.ออกซิเจน/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-60 และกราฟในรูปที่ 4-25

จะเห็นได้ว่าทุกการทดลองมีอัตราการลดของการใช้ออกซิเจนที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่า***การช็อกระบบมีผลต่อคาร์บอนแบกทีเรียและไนตริฟายอิงแบกทีเรียที่ใช้ออกซิเจนภายในถังออกซิก ซึ่งทำให้ระบบมีการกำจัดซีโอดีและทีเคเอ็นได้น้อยลง และเมื่อพิจารณาผลการทดลองร่วมกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบพบว่ามีค่าลดลงซึ่งสอดคล้องกัน*** ในขณะเดียวกันค่าออกซิเจนละลายน้ำในถังออกซิกมีค่ามากขึ้นเล็กน้อย ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดมีความสอดคล้องกับผลการทดลองของอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่ทดลองได้ด้วย

4.2.6.3 การฟื้นตัว

จากการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะในช่วงการฟื้นตัวพบว่าการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. มีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเป็น 12.6, 12.9, 12.2 และ 9.72 มก.ออกซิเจน/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-60 และกราฟในรูปที่ 4-25

ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.5.3 การฟื้นตัวของระบบโดยพิจารณาจากค่าออกซิเจนละลายน้ำ จะเห็นได้ว่าที่การทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. ระบบมีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเพิ่มขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ภายในถังออกซิกเมื่อเคยชินกับน้ำเสียซีโอดีสูงและสังกะสีแล้ว การช็อกระบบสามารถกระตุ้นให้จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนได้มากขึ้น

4.2.7 ค่าพีเอช

4.2.7.1 สถานะคงตัว

การทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีค่าพีเอชโดยเฉลี่ยของน้ำเสียสังเคราะห์อยู่ในช่วง 6.47 ถึง 6.85 ส่วนในถังแอนอ็อกซิกมีค่าโดยเฉลี่ยแต่ละการทดลองเป็น 7.2, 7.0, 7.1, 7.0 และ 7.0 ตามลำดับ ในถังออกซิกมีค่าเป็น 8.1, 8.2, 8.3, 7.9 และ 7.9 ตามลำดับ และค่าพีเอชของน้ำทิ้งนั้นมีค่าใกล้เคียงกับในถังออกซิกโดยมีค่าเป็น 8.17, 8.24, 8.29, 7.97 และ 7.92 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-63 และกราฟในรูปที่ 4-26 (ก)

จากการทดลองพบว่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นจากน้ำเสียไปจนถึงถังออกซิก โดยในถังแอนีอกซิกนั้นพีเอชมีแนวโน้มที่จะลดลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่มขึ้น ส่วนในถังออกซิกนั้นทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-63 ค่าพีเอชโดยเฉลี่ยของชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี	น้ำเสีย		ถังแอนีอกซิก		ถังออกซิก		น้ำทิ้ง	
(มก./ล.)	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	6.5	0.05	7.2	0.06	8.1	0.09	8.2	0.08
10	6.7	0.13	7.0	0.03	8.2	0.09	8.2	0.13
25	6.9	0.11	7.1	0.01	8.3	0.02	8.3	0.02
35	6.6	0.12	7.0	0.07	7.9	0.09	8.0	0.08
50	6.5	0.10	7.0	0.05	7.9	0.09	7.9	0.05

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล (n) เท่ากับ 5

4.2.7.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกค่าพีเอชของน้ำเสียและที่ตำแหน่งต่างๆในระบบของทุกการทดลองมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยน้ำเสียมีค่าพีเอชโดยเฉลี่ยของแต่ละการทดลองเป็น 6.1 ถึง 6.3 ถังแอนีอกซิก ค่าพีเอชลดลงอยู่ในช่วง 6.6 ถึง 6.9 ถังออกซิกมีค่า 7.7 ถึง 8.1 และน้ำทิ้ง 7.7 ถึง 8.2 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-64 และกราฟในรูปที่ 4-26 (ข) ถึง (ง)

จากการวัดค่าพีเอชในน้ำเสียพบว่าเมื่อเพิ่มสังกะสีเป็น 300 มก./ล. มีผลให้ค่าพีเอชลดลง ในขณะที่สภาพด่างยังมีค่าคงเดิม ซึ่งการที่ค่าพีเอชเป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อนำน้ำเสียส่วนที่เป็นสารอาหารและส่วนที่เป็นสารละลายของสังกะสีซัลเฟตมาผสมกันปรากฏว่าน้ำเสียเกิดมีตะกอนของสังกะสีคาร์บอเนตเกิดขึ้น เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 1 และการวัดค่าสภาพด่างทำการหาโดยไม่กรองตัวอย่างน้ำ ส่วนการลดต่ำลงของพีเอชในส่วนอื่นๆของระบบนั้นมีค่าลดลงเนื่องจากค่าพีเอชในน้ำเสียน้อยลง ***ซึ่งค่าพีเอชที่ลดลงในถังแอนีอกซิกพบว่ามีผลต่ออัตราดีไนตริฟิเคชันของระบบ ส่วนในถังออกซิกนั้นพบว่าค่าพีเอชที่ลดลงยังอยู่ในระดับที่ระบบสามารถเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้ดี*** ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะพบว่าในช่วงช็อกระบบยังคงมีอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะที่ใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัว(ยกเว้นชุดควบคุม) แต่เมื่อ

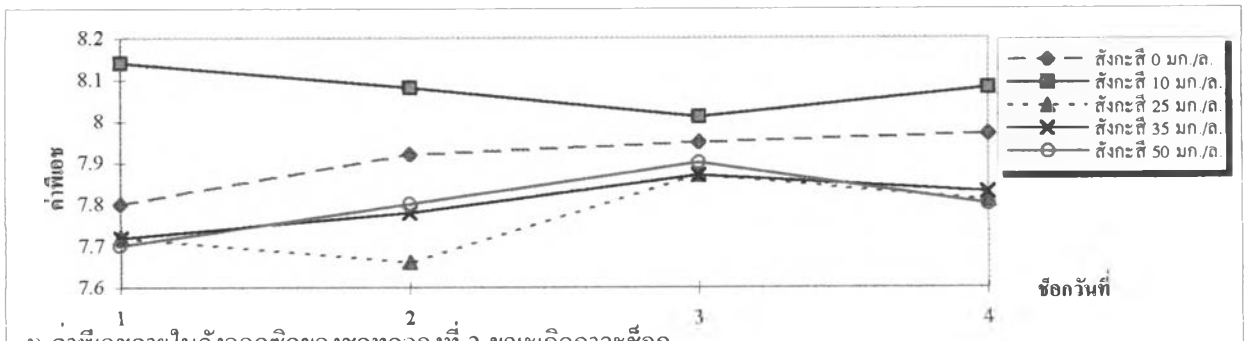
นำผลของค่าแอมโมเนียมาพิจารณาด้วยพบว่าการช็อกระบบเริ่มมีผลต่ออัตราอัตราไนตริฟิเคชัน จำเพาะในวันที่ 3 ของการช็อกระบบ(ยกเว้นชุดควบคุม)

ตารางที่ 4-64 ค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

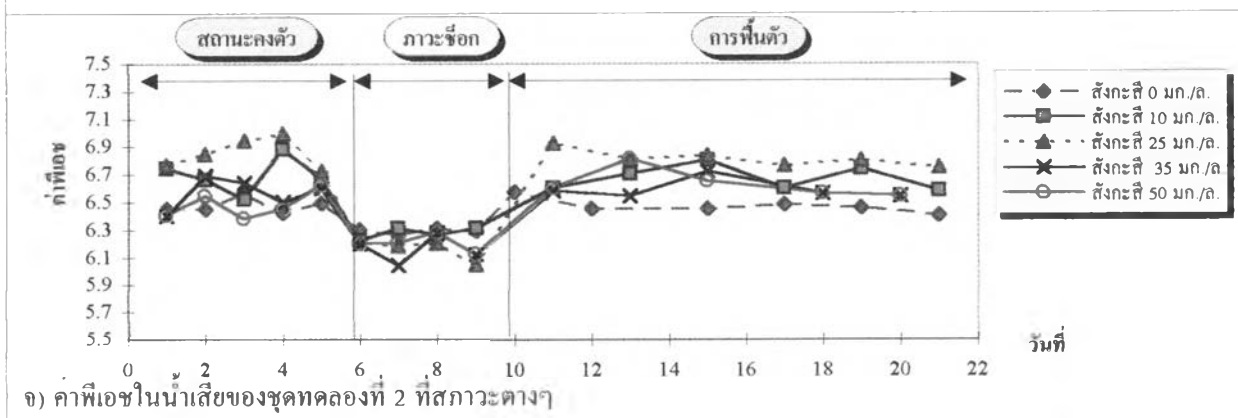
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่งระบบ	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	น้ำเสีย	6.3	6.3	6.3	6.3
	ถังแอน็อกซิก	6.9	6.9	6.8	6.8
	ถังออกซิก	7.8	7.7	7.8	8.0
	น้ำทิ้ง	7.8	7.7	8.0	8.0
10	น้ำเสีย	6.2	6.3	6.3	6.3
	ถังแอน็อกซิก	6.9	6.9	6.8	6.9
	ถังออกซิก	7.8	7.9	8.0	8.0
	น้ำทิ้ง	7.9	7.9	7.9	8.1
25	น้ำเสีย	6.2	6.2	6.2	6.2
	ถังแอน็อกซิก	6.9	6.8	6.8	6.8
	ถังออกซิก	8.1	8.1	8.0	8.1
	น้ำทิ้ง	8.2	8.2	8.1	8.1
35	น้ำเสีย	6.2	6.2	6.3	6.2
	ถังแอน็อกซิก	6.9	6.6	6.7	6.8
	ถังออกซิก	7.7	7.7	7.9	7.8
	น้ำทิ้ง	7.8	7.7	7.8	7.8
50	น้ำเสีย	6.2	6.2	6.3	6.1
	ถังแอน็อกซิก	6.8	6.7	6.8	6.9
	ถังออกซิก	7.7	7.8	7.9	7.8
	น้ำทิ้ง	7.7	7.7	7.9	7.7

4.2.7.3 การฟื้นตัว

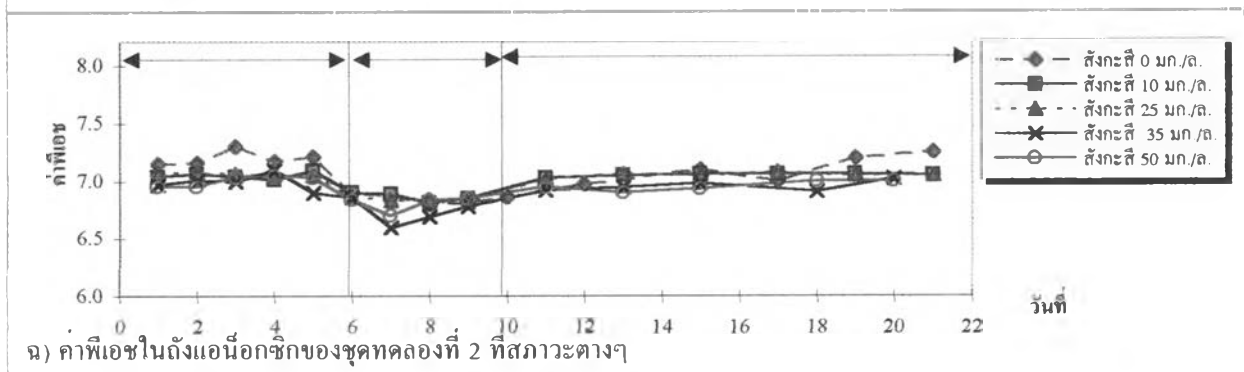
การฟื้นตัวของค่าพีเอชนี้สังเกตจากค่าพีเอชในถังแอน็อกซิก ถังออกซิก และในน้ำทิ้ง มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากที่ลดลงในขณะเกิดภาวะช็อก โดยระยะการฟื้นตัวอยู่ในระหว่าง



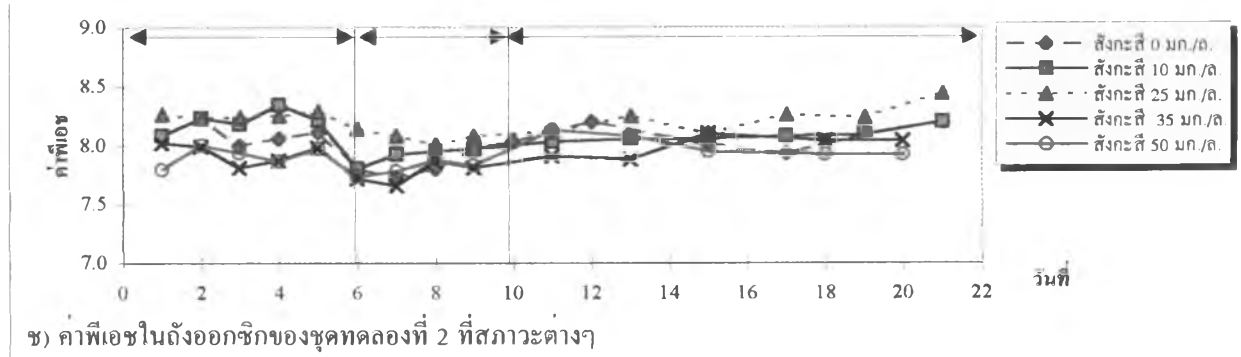
ง) ค่าพีเอชภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก



จ) ค่าพีเอชในน้ำเสียของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ



ฉ) ค่าพีเอชในถังแอนอ็อกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ



ช) ค่าพีเอชในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-26 (ต่อ) ค่าพีเอชในระบบของชุดการทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

6ถึง8 วัน ซึ่งใกล้เคียงกับระยะการฟื้นตัวของค่าสภาพด่าง ระยะการฟื้นตัวสรุปได้ดังตารางที่ 4-65 และลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟผลการทดลองรวมของการทดลองในรูปที่ 4-26 (จ) ถึง (ช)

ตารางที่ 4-65 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)ของระบบเมื่อใช้ค่าพีเอชในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี(มก./ล.)	0(ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	7	6	8	6	6

4.2.8 ค่าสภาพด่าง

4.2.8.1 สถานะคงตัว

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าสภาพด่างโดยเฉลี่ยของแต่ละการทดลองอยู่ในช่วง 1106 ถึง 1342 มก./ล. จากนั้นเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบแล้วพบว่าค่าสภาพด่าง (กรอง)ลดลง โดยการทดลองที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ในถังแอน็อกซิก มีค่าโดยเฉลี่ยเป็น 861, 801, 744, 690 และ 596 มก./ล. ตามลำดับ ถังออกซิกมีค่าโดยเฉลี่ยเป็น 678, 676, 656, 616 และ 523 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำทิ้งมีค่าโดยเฉลี่ยเป็น 677, 645, 644, 616 และ 495 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-66 และกราฟในรูปที่ 4-27 (ก)

ผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าสภาพด่างในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกมีค่าลดน้อยลงกว่าในน้ำเสียตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาตามทฤษฎีแล้วในถังแอน็อกซิกมีการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันซึ่งมีผลให้ระบบมีค่าสภาพด่างเพิ่มขึ้น จึงได้ดุลมวลสภาพด่างของถังแอน็อกซิก ผลการคำนวณพบว่าชุดควบคุมได้ค่าสภาพด่างเพิ่มขึ้น 61 มก./ล. ส่วนที่ความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 10, 25, 35 และ 50 มก./ล.ค่าสภาพด่างลดลง 6, 69, 133 และ 166 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎี ตามผลการดุลมวลกระบวนการดีไนตริฟิเคชันน่าจะเกิดเฉพาะชุดควบคุมเท่านั้น หากเมื่อพิจารณาอัตราการเกิดปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะแล้วพบว่าทุกการทดลองมีค่าที่ใกล้เคียงกันดังจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.2.16 ฉะนั้นการที่ค่าสภาพด่างในถังแอน็อกซิกลดลงน่าจะเกิดจากการที่ระบบสูญเสียสภาพด่างส่วนหนึ่งในการจับตัวกับสังกะสีและเกิดการตกตะกอน นอกจากนี้น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้ส่วนหนึ่งใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอน จึงเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 4.2 (Sawyer และ คณะ, 1994) และไฮโดรเจนอิออนที่ได้ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน

คาร์บอเนตที่ได้จากกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและจากสภาพด่างในระบบดังสมการที่ 4.3(Sawyer และ คณะ, 1994) จึงทำให้ค่าสภาพด่างลดลงแต่พีเอชมีค่าสูงขึ้น ส่วนในถังออกซิกเมื่อทำการดุลมวลแล้วพบว่าทุกการทดลองค่าสภาพด่างลดน้อยลง เป็นไปตามทฤษฎีที่ภายในถังออกซิกจะเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันมีผลให้ค่าสภาพด่างลดลง โดยที่การทดลองที่ 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล.ค่าสภาพด่างลดลงไป 183, 125, 91, 76 และ 73 มก./ล. ตามลำดับ

$$HAc \rightleftharpoons H^{+} + Ac^{-} \quad \text{----------4.2)}$$

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^{+} + HCO_3^{-} \quad \text{----------4.3)}$$

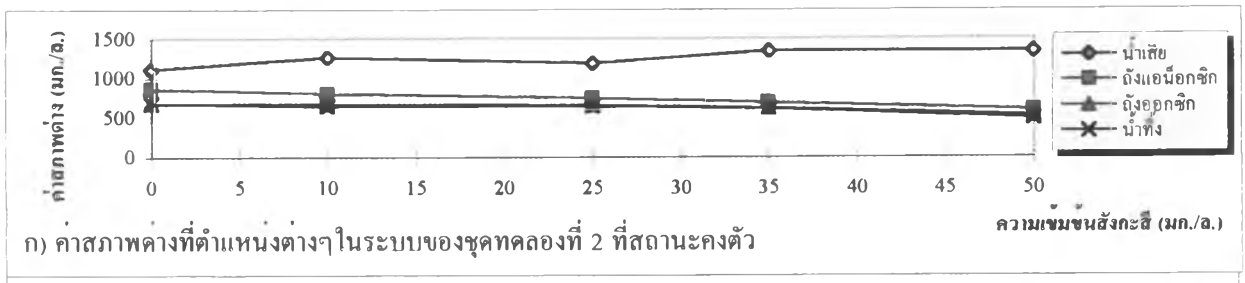
ตารางที่ 4-66 ค่าสภาพด่างโดยเฉลี่ย(มก./ล.)ของชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	น้ำเสีย		ถังแอนีอกซิก		ถังออกซิก		น้ำทิ้ง	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	1106	67.29	861	50.74	678	21.30	677	27.57
10	1263	47.23	801	51.76	676	18.83	645	19.68
25	1191	28.82	744	16.79	656	6.02	644	12.98
35	1342	15.07	690	33.46	616	15.56	616	15.91
50	1342	15.07	596	12.05	523	6.02	495	30.15

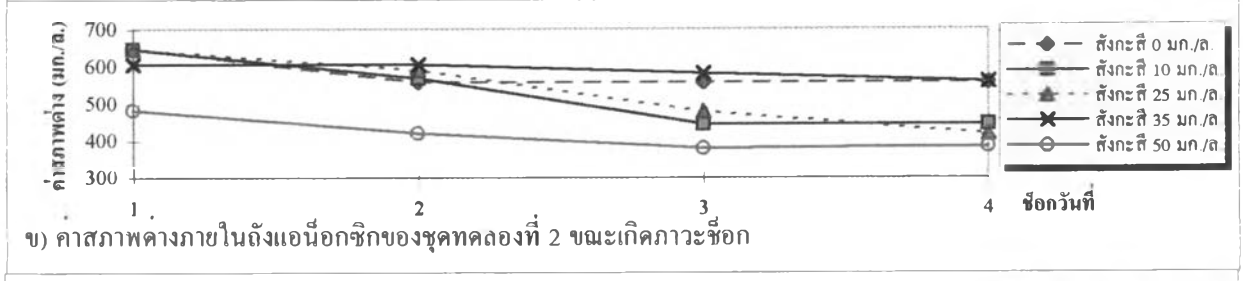
หมายเหตุ จำนวนขอมูล (n) เท่ากับ 5

4.2.8.2 ภาวะช็อก

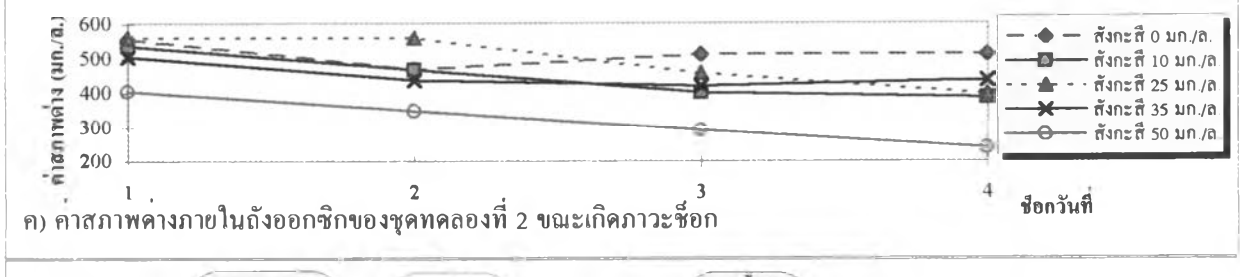
ขณะเกิดภาวะช็อกที่การทดลองสังกะสีเท่ากับ 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ค่าสภาพด่างในถังแอนีอกซิก ถังออกซิก และในน้ำทิ้งลดลงทุกการทดลอง โดยในถังแอนีอกซิกค่าสภาพด่างลดลงเป็น 558 ถึง 648, 446 ถึง 647, 420 ถึง 647, 560 ถึง 606 และ 381 ถึง 482 มก./ล. ตามลำดับ ถังออกซิกค่าสภาพด่างลดลงเป็น 469 ถึง 555, 386 ถึง 535, 398 ถึง 558, 420 ถึง 504 และ 240 ถึง 403 มก./ล. ตามลำดับ และในน้ำทิ้งค่าสภาพด่างลดลงเป็น 469 ถึง



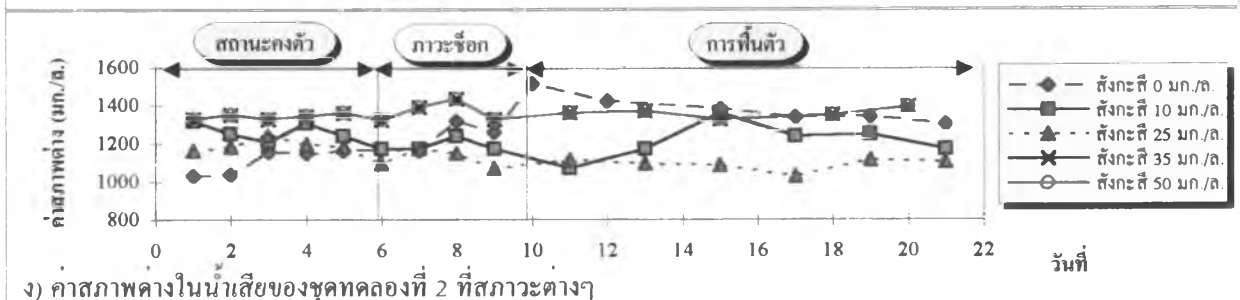
ก) ค่าสภาพด่างที่ตำแหน่งต่างๆในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว



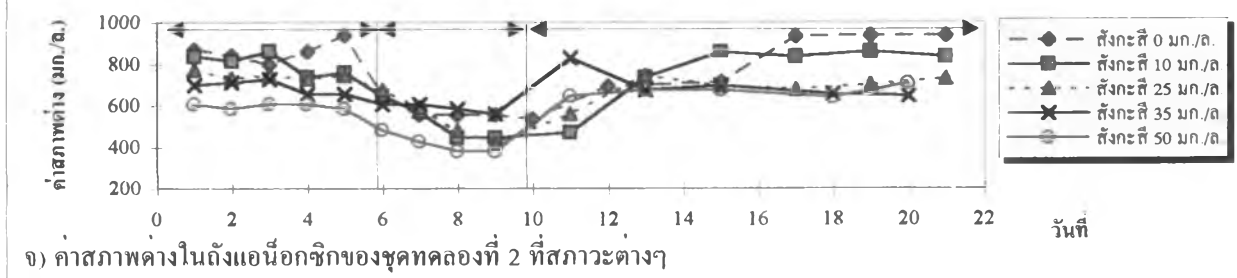
ข) ค่าสภาพด่างภายในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก



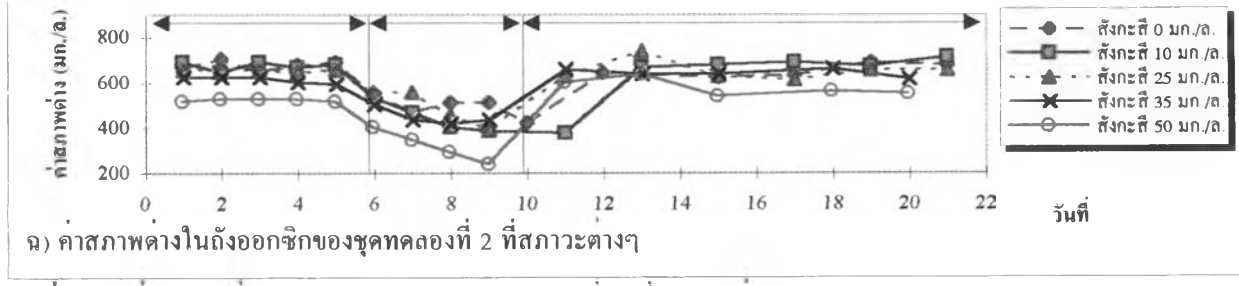
ค) ค่าสภาพด่างภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก



ง) ค่าสภาพด่างในน้ำเสียของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ



จ) ค่าสภาพด่างในถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ



ฉ) ค่าสภาพด่างในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-27 ค่าสภาพด่างในระบบของชุดการทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

513, 368 ถึง 569, 402 ถึง 580, 437 ถึง 504 และ 240 ถึง 403 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-67 และกราฟในรูปที่ 4-27 (ข) ถึง (ค)

การที่สภาพด่างในระบบลดลงขณะเกิดภาวะช็อกนั้นเป็นผลเนื่องมาจากอัตราการเกิดปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะในถังแอน็อกซิกลดลง มีผลให้ค่าสภาพด่างที่ได้จากกระบวนการลดลงด้วย และในขณะเดียวกันมีการเพิ่มปริมาณของสังกะสีมากขึ้นจึงเป็นเพิ่มการทำปฏิกริยากับคาร์บอเนตเกิดเป็นตะกอนมากขึ้น เมื่อทดลองวัดค่าสภาพด่างแบบมีการกรองตัวอย่างน้ำทำให้มีค่าสภาพด่างลดลง

4.2.8.3 การฟื้นตัว

การฟื้นตัวของระบบโดยพิจารณาจากค่าสภาพด่างนี้ สังเกตได้จากค่าสภาพด่างในถังแอน็อกซิก ถังออกซิก และน้ำทิ้ง มีค่าเพิ่มมากขึ้นหลังจากที่ลดลงในขณะเกิดภาวะช็อก จนกระทั่งมีค่าใกล้เคียงกับขณะอยู่ในสถานะคงตัว ซึ่งใช้เวลาประมาณ 6 ถึง 9 วัน ระยะการฟื้นตัวของแต่ละการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-68 และลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟที่ 4-27 (ง) ถึง (ฉ)

4.2.9 ค่าซีโอดี

4.2.9.1สถานะคงตัว

จากผลการทดลองพบว่าซีโอดีในถังแอน็อกซิกมีค่าแปรตามความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละการทดลอง โดยที่ความเข้มข้น 0, 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีค่าซีโอดีกรองเป็น 247, 313, 385, 380 และ 436 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองค่าซีโอดีโดยเฉลี่ยของแต่ละการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-71 และกราฟที่ 4-27 (ก) แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบจากน้ำทิ้งกรองและน้ำทิ้งแล้ว ทุกการทดลองมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ซึ่งการกำจัดซีโอดีกรองมีประสิทธิภาพร้อยละ 98.9 ถึง 99.2 และการกำจัดซีโอดีทั้งหมดมีประสิทธิภาพลดลงเหลือร้อยละ 96.3 ถึง 97.8 ซึ่งเป็นผลจากการที่น้ำทิ้งมีตะกอนแขวนลอยปะปน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแสดงดังตารางที่ 4-69 และกราฟที่ 4-28 (ข)

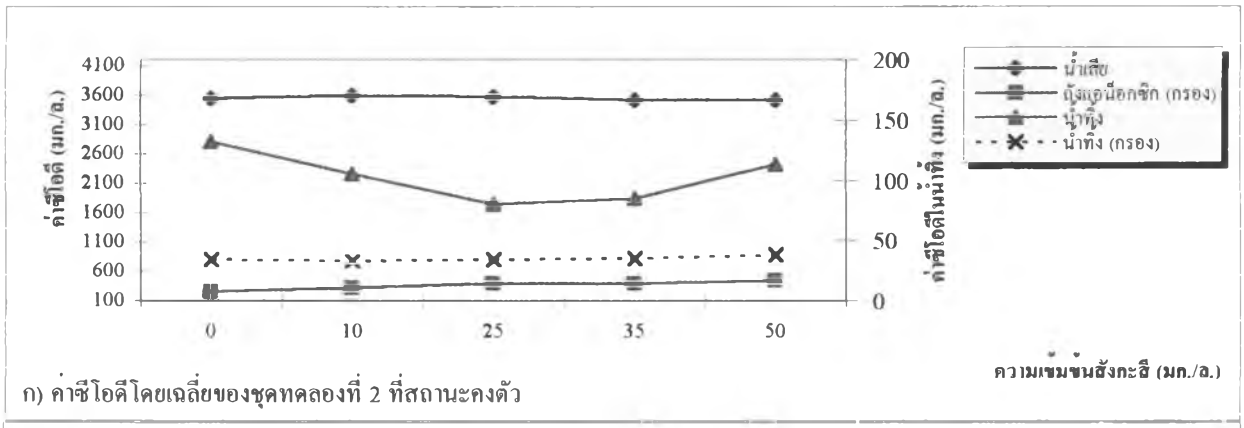
จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า***ซีโอดีส่วนมากถูกกำจัดภายในถังแอน็อกซิกเนื่องจากระบบต้องการสารอินทรีย์คาร์บอนในการการเปลี่ยนไนเทรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจน***ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1.9 ซึ่ง***เมื่อเพิ่มปริมาณสังกะสีเข้าสู่ระบบพบว่าซีโอดีในถังแอน็อกซิกมีค่า***

ตารางที่ 4-67 ค่าสภาพด่าง(มก./ล.)ของชุดการทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

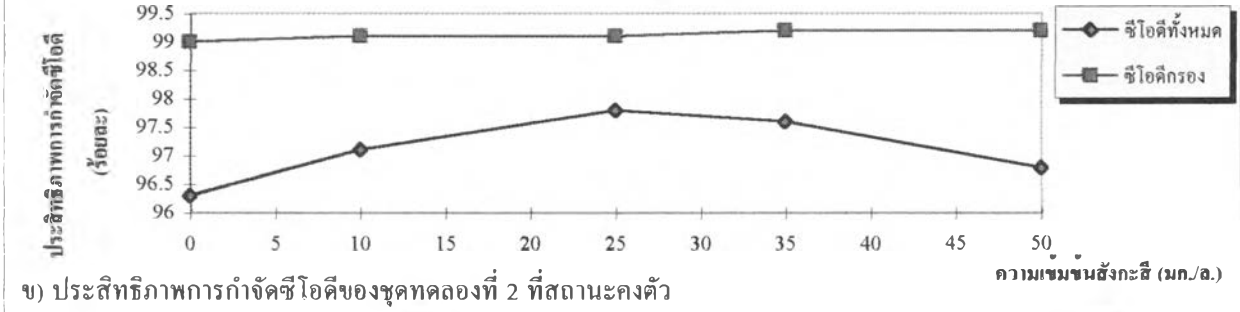
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่งระบุ	ช็อคระยะเข้มข้นสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	น้ำเสีย	1171	1160	1317	1258
	ถังแอนื่อกซิก	648	558	558	558
	ถังออกซิก	555	469	513	513
	น้ำทิ้ง	513	469	491	513
10	น้ำเสีย	1171	1171	1239	1171
	ถังแอนื่อกซิก	647	569	446	446
	ถังออกซิก	535	468	402	386
	น้ำทิ้ง	569	491	402	368
25	น้ำเสีย	1094	1171	1149	1070
	ถังแอนื่อกซิก	647	591	480	420
	ถังออกซิก	558	558	458	398
	น้ำทิ้ง	558	580	458	402
35	น้ำเสีย	1322	1390	1435	1327
	ถังแอนื่อกซิก	606	606	583	560
	ถังออกซิก	504	437	420	437
	น้ำทิ้ง	504	420	437	437
50	น้ำเสีย	1322	1390	1435	1327
	ถังแอนื่อกซิก	482	421	381	386
	ถังออกซิก	403	348	292	240
	น้ำทิ้ง	403	314	292	240

ตารางที่ 4-68 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)ของระบบเมื่อใช้ค่าสภาพด่างในถังแอนื่อกซิก ออกซิก ของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์

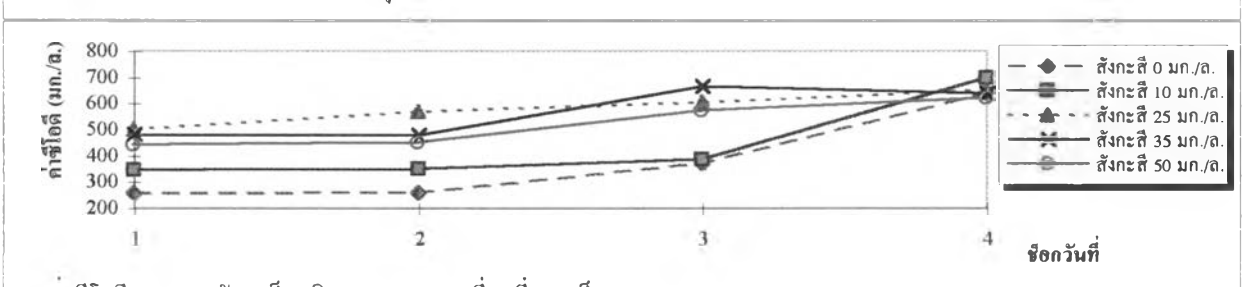
ความเข้มข้นสังกะสี(มก./ล.)	0(ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	8	6	9	6	6



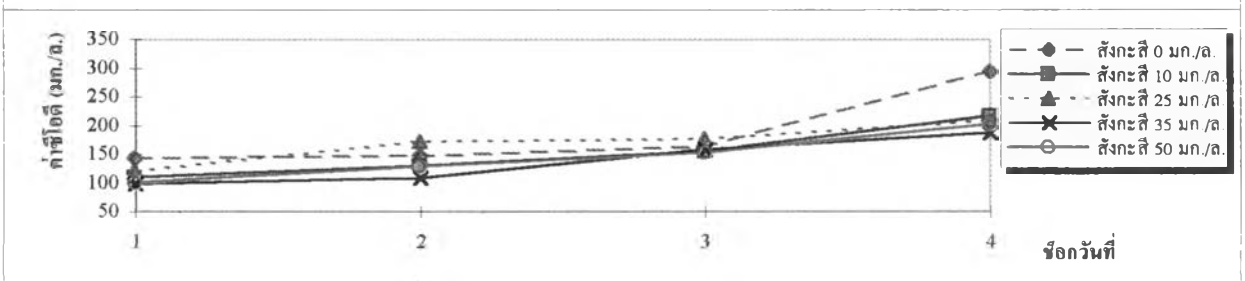
ก) ค่าซีโอดีโดยเฉลี่ยของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว



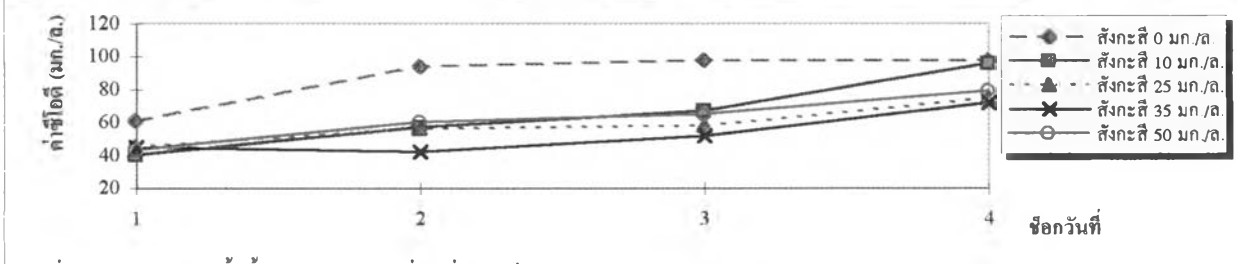
ข) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว



ค) ค่าซีโอดีกรองของถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก



ง) ค่าซีโอดีทั้งหมดของชุดทดลองที่ 2ของน้ำทิ้งที่ภาวะช็อก



จ) ค่าซีโอดีกรองของน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

รูปที่ 4-28 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะต่างๆ

เพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาร่วมกับอัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะพบว่ามีค่าลดลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้นเช่นกัน แสดงถึงภายในถังแอน็อกซิกต้องมีอัตราการใช้สารอินทรีย์คาร์บอนน้อยลงทำให้ภายในถังแอน็อกซิกมีค่าซีโอดีสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มค่าสังกะสีถึง 50 มก./ล.ไม่มีผลต่อระบบโดยรวม อาจเป็นเพราะถังออกซิกของระบบมีขนาดใหญ่และมีค่าเอ็มแอลเอสเอสสูง จึงทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นมาก ทำให้*ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองของทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน*

ตารางที่ 4-69 ค่าซีโอดีโดยเฉลี่ย(มก./ล.)ชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	น้ำเสีย		ถังแอน็อกซิก (กรอง)		น้ำทิ้ง		น้ำทิ้ง (กรอง)	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	3534	70.9	247	12.2	132	20.7	34	8.9
10	3592	187.4	313	22.5	105	12.4	33	7.8
25	3564	149.1	385	37.3	80	6.80	34	10.1
35	3511	122.6	380	17.0	85	5.81	35	4.2
50	3511	122.6	436	21.6	113	11.8	38	5.0

หมายเหตุ จำนวนขอมูล (n) เท่ากับ 5

ตารางที่ 4-70 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (ร้อยละ) ของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	0 (ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ทั้งหมด	96.3	97.1	97.8	97.6	96.8
กรอง	99.0	99.1	99.1	99.2	99.2

4.2.9.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกค่าซีโอดีในระบบเพิ่มขึ้นทุกตำแหน่ง โดยมีอัตราการเพิ่มที่ใกล้เคียงกันของทุกการทดลอง โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการช็อก ซึ่งในถังแอน็อกซิกค่าซีโอดีที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดของแต่ละการทดลองอยู่ในช่วง 623 ถึง 698 มก./ล. ในน้ำทิ้ง

ค่าซีโอดีเพิ่มมากที่สุดอยู่ในช่วง 154 ถึง 294 มก./ล. และในน้ำทิ้ง(กรอง)ค่าซีโอดีเพิ่มมากที่สุดอยู่ในช่วง 72 ถึง 98 มก./ล. ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-71และกราฟในรูปที่ 4-28(ค) ถึง (จ) ซึ่งมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง โดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดของแต่ละการทดลองลดลงมากที่เหลือร้อยละ 91.7 ถึง 95.6 และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองของแต่ละการทดลองลดลงมากที่เหลือร้อยละ 97.2 ถึง 97.8 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-72 และกราฟในรูปที่ 4-28(ซ) ถึง (ญ)

จากผลการทดลองแสดงว่าการช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. มีผลทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลงจากสถานะคงตัวทั้งในถังแอน็อกซิกและออกซิก ซึ่งยังคงลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่ทำการช็อก ซึ่งแต่ละการทดลองได้รับผลกระทบที่ใกล้เคียงกัน แสดงถึง***จุลินทรีย์ที่เคยชินกับน้ำเสียอุตสาหกรรมแต่ไม่เคยชินกับสังกะสีมาก่อนได้รับผลกระทบจากการช็อกระบบได้ใกล้เคียงกับจุลินทรีย์ที่เคยชินกับสังกะสีมาก่อนสำหรับในพารามิเตอร์นี้ ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะพบว่าผลการทดลองมีความสอดคล้องกัน*** โดยเมื่อระบบเกิดภาวะช็อกทุกการทดลองมีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะลดลงใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองพบว่าลดลงในอัตราที่ไม่มากนัก เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าสูงมาก

4.2.9.3 การฟื้นตัว

การฟื้นตัวของระบบในการกำจัดซีโอดีพิจารณาจากค่าซีโอดีในถังแอน็อกซิกและน้ำทิ้ง จากผลการทดลองพบว่าทุกการทดลองสามารถฟื้นตัวได้ใกล้เคียงกัน โดยใช้เวลาระมาณ 6 - 10 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-73 และกราฟในรูปที่ 4-28 (ซ) ถึง (ญ)

จากการผลการทดลองพบว่าคาร์บอนแบกทีเรียของชุดทดลองนี้ทั้งที่เคยชินและไม่เคยชินกับสังกะสีสามารถฟื้นตัวได้ใกล้เคียงกัน

4.2.10 ค่าไนไทรต์

4.2.10.1 สถานะคงตัว

การทดลองทำการวัดไนไทรต์ภายในถังแอน็อกซิกและถังออกซิก ที่สถานะคงตัวไนไทรต์ภายในถังแอน็อกซิกมีค่าใกล้เคียงกันทุกการทดลองมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.04 - 0.06 มก./ล. ส่วนถังออกซิกนั้นในแต่ละการทดลองไนไทรต์มีค่าโดยเฉลี่ยต่างกันโดยที่

ตารางที่ 4-71 ค่าซีโอดีของชุดการทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่งระบบ	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	น้ำเสีย	3580	3676	3550	3529
	ถังแอนื่อกซิก (กรอง)	257	259	371	640
	น้ำทิ้ง	142	147	164	294
	น้ำทิ้ง (กรอง)	61	94	98	98
10	น้ำเสีย	3501	3468	3485	3621
	ถังแอนื่อกซิก (กรอง)	346	349	387	698
	น้ำทิ้ง	108	129	154	116
	น้ำทิ้ง (กรอง)	40	57	67	96
25	น้ำเสีย	3550	3534	3499	3479
	ถังแอนื่อกซิก (กรอง)	500	568	606	652
	น้ำทิ้ง	120	171	176	208
	น้ำทิ้ง (กรอง)	45	56	58	75
35	น้ำเสีย	3466	3520	3533	3485
	ถังแอนื่อกซิก	483	480	666	639
	น้ำทิ้ง	98	108	158	187
	น้ำทิ้ง (กรอง)	45	42	52	72
50	น้ำเสีย	3466	3520	3533	3485
	ถังแอนื่อกซิก (กรอง)	440	452	573	623
	น้ำทิ้ง	100	127	152	202
	น้ำทิ้ง (กรอง)	43	60	65	79

ความเข้มข้นสังกะสี 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ไนไทรต์มีค่า 12.54, 10.04, 7.25, 2.48 และ 0.18 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-74 และกราฟที่ 4-29 (ก)

จากการที่ไนไทรต์ของถังออกซิกมีค่าลดลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่นขึ้นโดยที่แอมโมเนียภายในถังออกซิกยังคงมีใกล้เคียงกันทุกการทดลอง แสดงไนโตรแบกเทอร์สามารถทำงานได้ดีมากขึ้น ซึ่งอาจวิเคราะห์ได้เป็น 2 กรณี คือไนโตรแบกเทอร์ต้องใช้เวลาปรับตัวนานสำหรับน้ำเสียความเข้มข้นสูง(ประมาณ 3 เดือน)ถึงจะเข้าสู่สถานะคงตัว และอีกกรณีหนึ่งไนโตรแบกเทอร์สามารถทำงานได้ดีเมื่อเพิ่มปริมาณสังกะสีเข้าสู่ระบบ(ในงานวิจัยนี้ไม่เกิน 50 มก./ล.)

ตารางที่ 4-72 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีกรอง (ร้อยละ) ของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

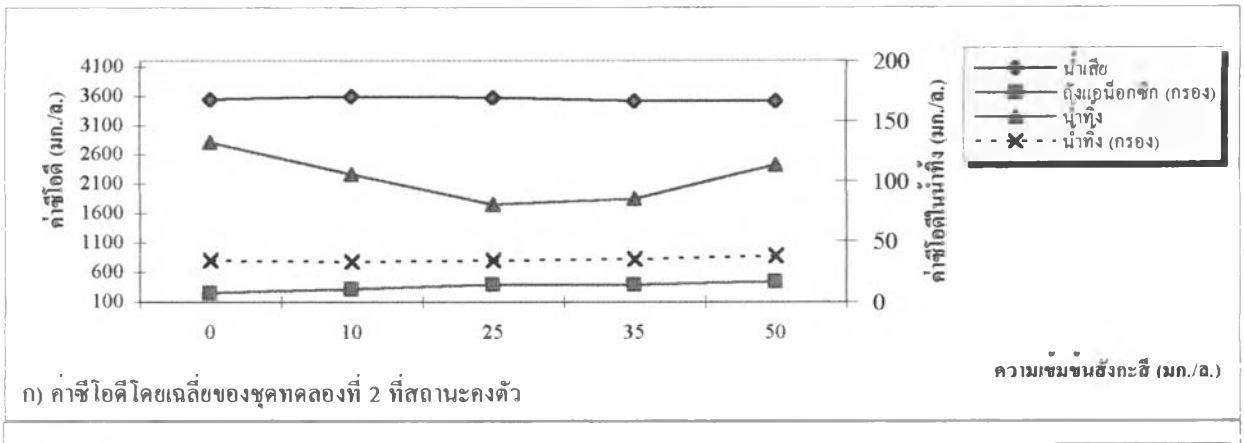
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	เมื่อช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่							
	1		2		3		4	
	ทั้งหมด	กรอง	ทั้งหมด	กรอง	ทั้งหมด	กรอง	ทั้งหมด	กรอง
0 (ชุดควบคุม)	96.0	98.3	96.0	97.4	95.4	97.2	91.7	97.2
10	96.9	98.9	96.3	98.4	95.6	97.3	96.8	98.2
25	96.6	98.7	95.2	98.4	95.0	98.5	94.0	97.8
35	97.2	98.7	96.9	98.8	95.5	98.5	94.6	97.3
50	97.1	98.7	96.4	98.3	95.7	98.2	94.2	97.7

ตารางที่ 4-73 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)ของระบบเมื่อใช้ค่าซีโอดีของชุดการทดลองที่ 2 ที่ตำแหน่งต่างๆของระบบเป็นเกณฑ์

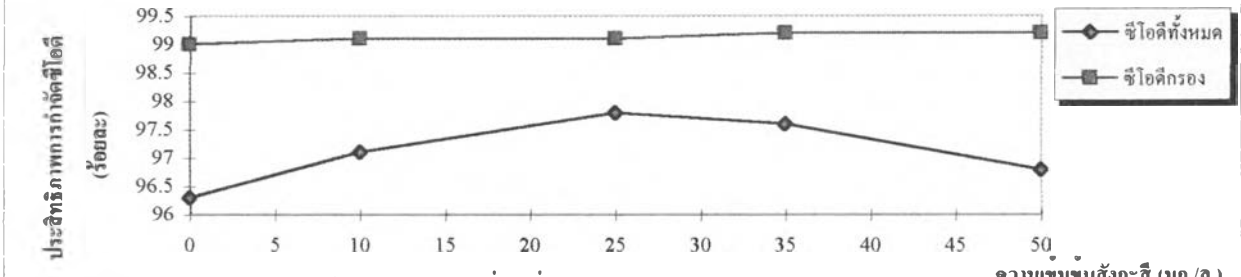
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ถังแอน็อกซิก (กรอง)	น้ำทิ้ง	น้ำทิ้ง (กรอง)
0 (ชุดควบคุม)	10	10	6
10	8	6	6
25	8	8	8
35	9	6	9
50	6	6	9

4.2.10.2 ภาวะช็อก

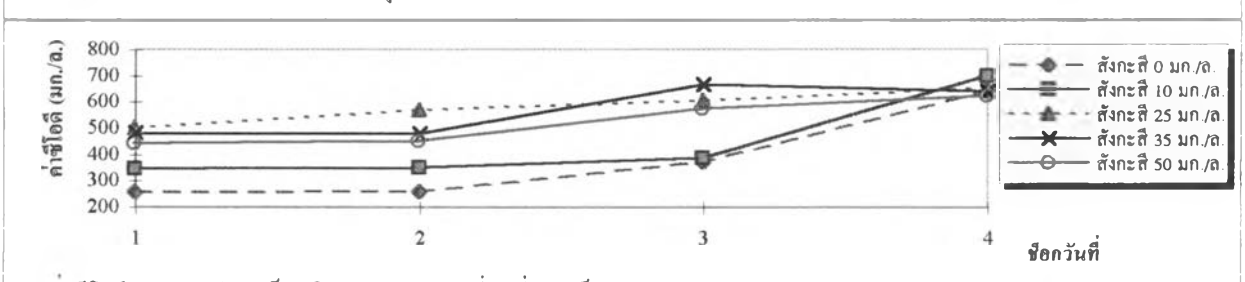
เมื่อเกิดภาวะช็อก ค่าไนไทรต์ของถังแอน็อกซิกไม่เปลี่ยนแปลง ยกเว้นที่กรณีความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม) มก./ล. ในขณะเกิดภาวะช็อกเป็นวันที่ 3 และ 4 ไนไทรต์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 8.26 และ 0.5 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนในถังออกซิกค่าไนไทรต์ลดลงทุกการทดลอง เว้นแต่ที่ความเข้มข้นสังกะสี 50 มก./ล. ค่าไนไทรต์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-75 และกราฟที่ 4-29 (ข) และ (ค)



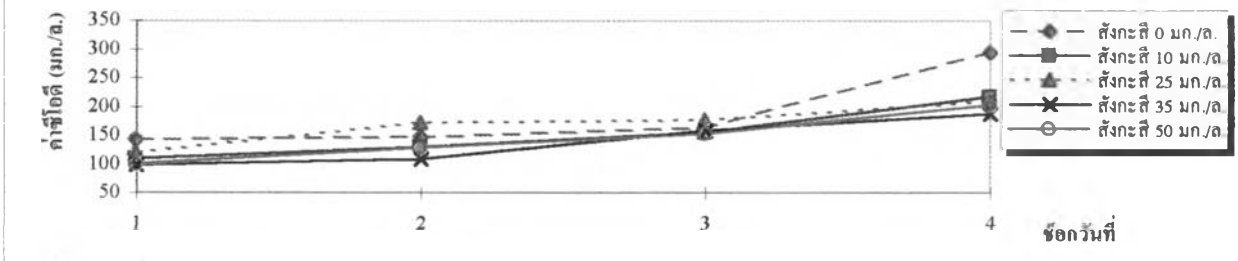
ก) ค่าซีโอดีโดยเฉลี่ยของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว



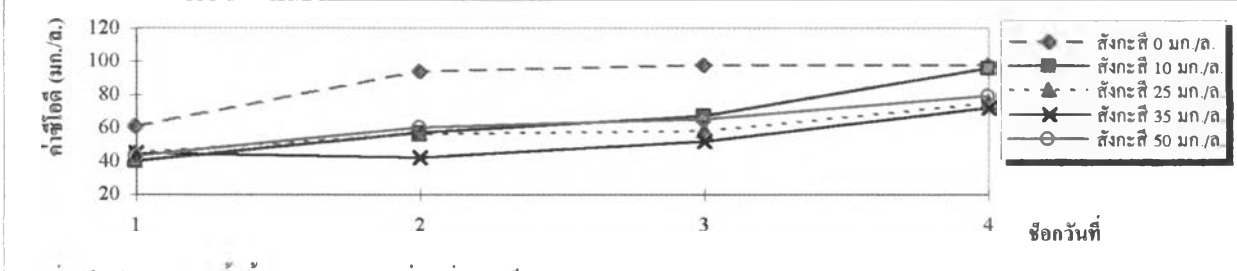
ข) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว



ค) ค่าซีโอดีกรองของถังแอน็อกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก



ง) ค่าซีโอดีทั้งหมดของชุดทดลองที่ 2ของน้ำทิ้งที่ภาวะช็อก



จ) ค่าซีโอดีกรองของน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

รูปที่ 4-28 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะต่างๆ

ตารางที่ 4-75 ค่าไนไทรต์ของชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	0.05	0.01	12.54	1.15
10	0.06	0.10	10.04	0.10
25	0.04	0.10	7.25	0.65
35	0.06	0.20	2.48	0.06
50	0.04	0.10	0.18	0.05

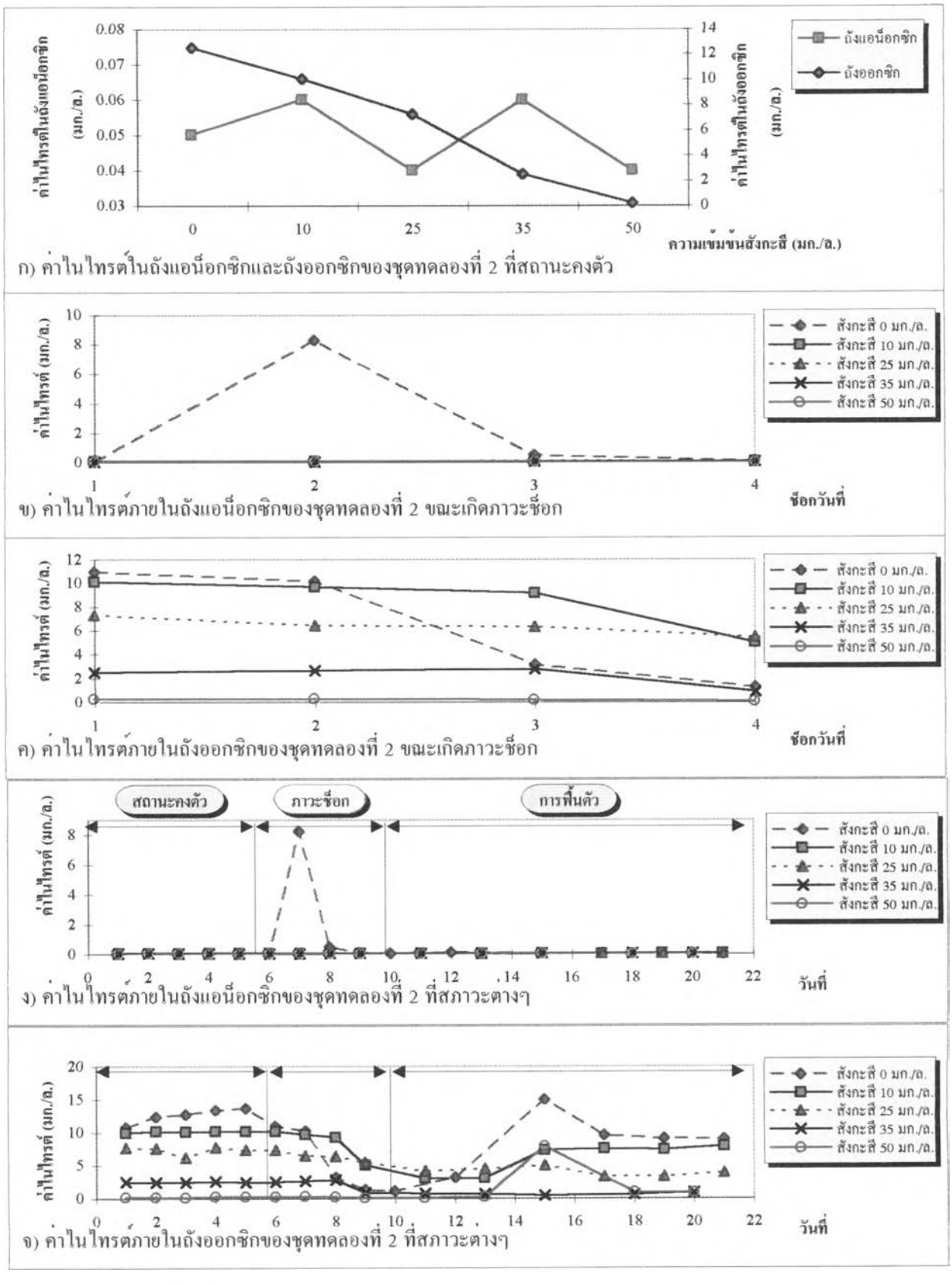
หมายเหตุ จำนวนข้อมูล (n) เท่ากับ 5

การที่ไนไทรต์ภายในถังออกซิกมีค่าลดลง เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแอมโมเนียให้อยู่ในรูปของไนไทรต์ลดลง หรือประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นลดลงนั่นเอง ส่วนความเข้มข้นสังกะสี 50 มก./ล. ค่าไนไทรต์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเพราะที่สถานะคงตัวไนไทรต์ภายในถังออกซิกมีค่าที่ต่ำอยู่แล้ว ฉะนั้นเมื่ออัตราการเปลี่ยนแอมโมเนียให้อยู่ในรูปของไนไทรต์ลดลงจึงไม่เห็นผลการลดลงของไนไทรต์อย่างชัดเจนในการทดลองนี้

4.2.10.3 การฟื้นตัว

การฟื้นตัวของระบบสังเกตได้จากค่าไนไทรต์ของถังออกซิกเพิ่มขึ้นหลังจากลดลงเมื่อเกิดภาวะช็อก จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นสังกะสีที่ 0 (ชุดควบคุม) ถึง 50 มก./ล. ระบบสามารถฟื้นตัวได้ภายใน 6 ถึง 11 วัน ซึ่งในช่วงนี้ไนไทรต์ของถังออกซิกมีค่าน้อยกว่าช่วงสถานะคงตัว การสังเกตการฟื้นตัวจึงใช้วันแรกที่ค่าไนไทรต์ในถังออกซิกเริ่มมีค่าคงที่ ระยะการฟื้นตัวแสดงดังตารางที่ 4-75 ลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟที่ 4-28 (ซ) ถึง (ญ)

จากข้อมูลการฟื้นตัวของค่าไนไทรต์ทำให้ทราบว่าการช็อกระบบมีผลช่วยให้การแปลงรูปของไนไทรต์ให้เป็นรูปไนเทรตดีขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากการที่ไนไทรต์มีค่าลดลงในขณะที่แอมโมเนียถูกใช้จนหมดเช่นเดียวกับช่วงสถานะคงตัว หรืออาจกล่าวได้ว่าการช็อกระบบกระตุ้นให้ไนโตรแบกเทอร์ทำงานได้ดีขึ้น



รูปที่ 4-29 ค่าไนไทรต์ภายในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ตารางที่ 4-75 ค่าไนไทรต์ (มก./ล.)ของชุดการทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่งระบบ	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	ถังแอน็อกซิก	0.04	8.26	0.5	0.09
	ถังออกซิก	10.95	10.20	3.17	1.30
10	ถังแอน็อกซิก	0.06	0.05	0.06	0.06
	ถังออกซิก	10.10	9.70	9.19	5.01
25	ถังแอน็อกซิก	0.06	0.04	0.11	0.07
	ถังออกซิก	7.27	6.41	6.32	5.47
35	ถังแอน็อกซิก	0.04	0.04	0.08	0.06
	ถังออกซิก	2.53	2.69	2.83	0.91
50	ถังแอน็อกซิก	0.06	0.06	0.05	0.03
	ถังออกซิก	0.25	0.27	0.12	0.10

ตารางที่ 4-76 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)ของระบบเมื่อใช้ค่าไนไทรต์ในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี(มก./ล.)	0(ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	6	6	8	6	11

4.2.11 ค่าไนเทรต

4.2.11.1 สถานะคงตัว

การทดลองทำการวัดไนเทรตภายในถังแอน็อกซิกและถังออกซิก ที่สถานะคงตัวไนเทรตภายในถังแอน็อกซิกมีค่าใกล้เคียงกันทุกการทดลองมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.92 - 1.62 มก./ล. ส่วนถังออกซิกนั้นในแต่ละการทดลองไนเทรตมีค่าโดยเฉลี่ยต่างกันโดยที่ความเข้มข้นสังกะสี 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ไนเทรตมีค่า 11.3, 14.8, 17.1, 22.3 และ 25.8 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-77 และกราฟที่ 4-30 (ก)

จากการพิจารณาผลการทดลองของไนเทรตในถังออกซิกที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้น พบว่า***การที่ไนเทรตในถังออกซิกมีค่าเพิ่มขึ้นน่าจะมาจากการที่ไนไทรต์สามารถแปลงรูปมาเป็นไนเทรตได้มากขึ้นเท่านั้นหรืออาจกล่าวได้ว่าไนโตรแบกเทอร์สามารถปรับตัวได้มากขึ้น เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของทุกการทดลองใกล้เคียงกันมาก***

ตารางที่ 4-77 ค่าไนเทรตโดยเฉลี่ย(มก./ล.)ของชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว

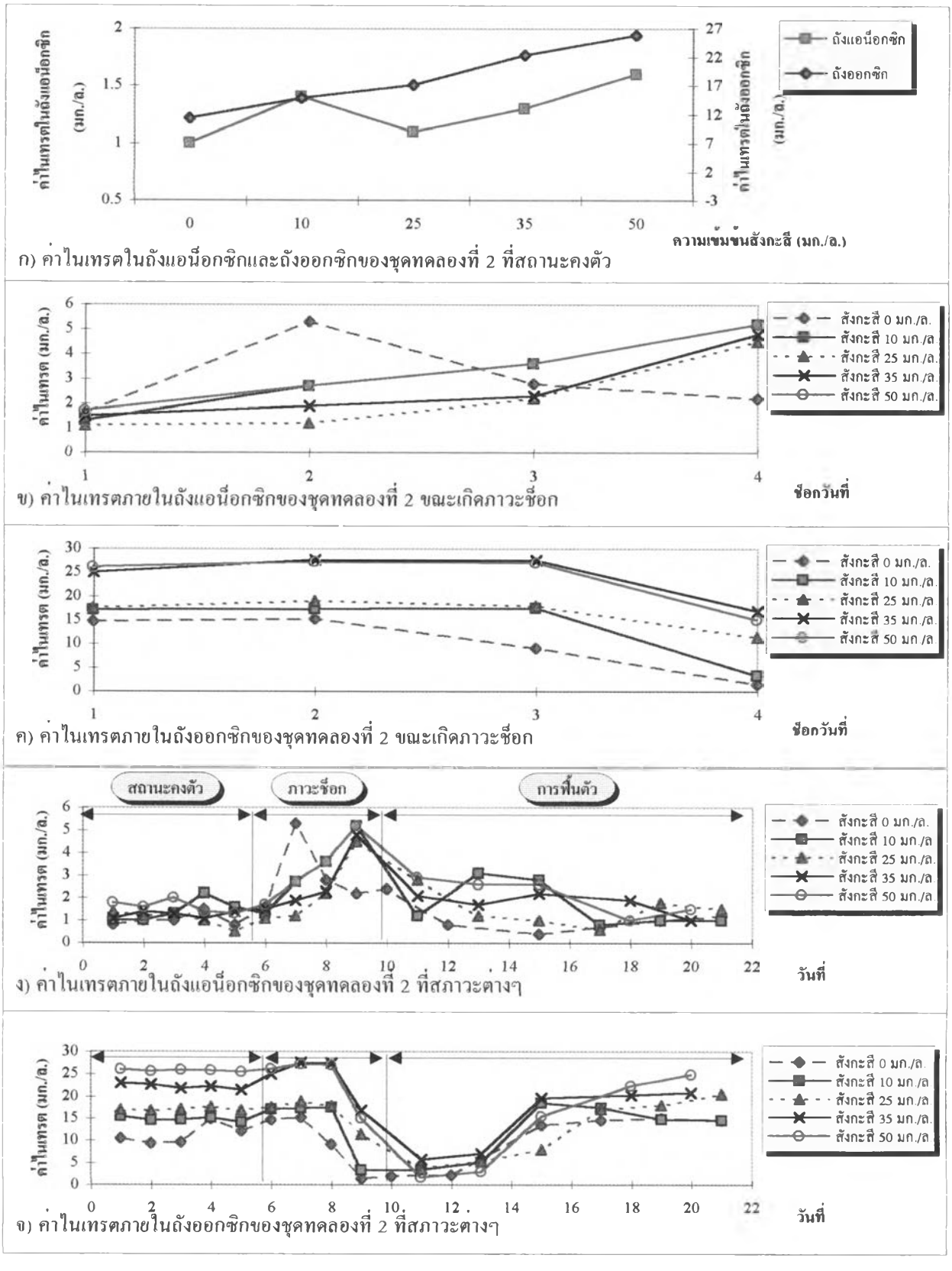
ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	1.0	0.3	11.3	2.3
10	1.4	0.5	14.8	0.5
25	1.1	0.4	17.1	0.4
35	1.3	0.2	22.3	0.6
50	1.6	0.3	25.8	0.2

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล (n) เท่ากับ 5

4.2.6.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกค่าไนเทรตของถังแอน็อกซิกและถังออกซิกมีการเปลี่ยนแปลง โดยที่ภายในถังแอน็อกซิกค่าไนเทรตมีการเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการช็อก ส่วนในถังออกซิกในช่วง 2 วันแรกของการช็อกระบบทำให้ค่าไนเทรตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากนั้นจึงมีค่าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4-78 และกราฟที่ 4-30 (ข) และ (ค)

พิจารณาค่าไนเทรตของถังแอน็อกซิกที่มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราดีไนตริฟิเคชันภายในถังแอน็อกซิกลดลง ทำให้การใช้ไนเทรตภายในถังแอน็อกซิกลดลงด้วย ส่วนค่าไนเทรตของถังออกซิกในช่วง 2 ถึง 3 วันแรกของการช็อกมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งเป็นผลจากภายในถังแอน็อกซิกมีการใช้ไนเทรตน้อยลงดังที่กล่าวมาแล้วและในช่วงเวลานี้อัตราการไนตริฟิเคชันยังมีค่าคงที่(สังเกตได้จากค่าแอมโมเนียภายในถังออกซิกมีค่าเท่ากับช่วงสถานะคงตัว) หลังจากนั้นในการช็อกวันที่ 3 สำหรับการทดลองสังกะสีที่ 0 และ 10 มก./ล. และช็อกเป็นวันที่ 4 สำหรับการทดลองที่ 25 ถึง 50 มก./ล.ไนเทรตและแอมโมเนียภายในถังออกซิกมีค่าลดลงและมากขึ้นตามลำดับอย่างชัดเจนแสดงว่าอัตราการไนตริฟิเคชันลดลง ซึ่งสรุปได้ว่า***การช็อกระบบจะมีผลต่อ***



ก) ค่าไนเทรตในถังแอนีอกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว

ข) ค่าไนเทรตภายในถังแอนีอกซิกของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก

ค) ค่าไนเทรตภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก

ง) ค่าไนเทรตภายในถังแอนีอกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

จ) ค่าไนเทรตภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-30 ค่าไนเทรตภายในถังแอนีอกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

*กระบวนการดีไนตริฟิเคชันมากกว่ากระบวนการไนตริฟิเคชัน*ซึ่งต้องช็อกระบบมากกว่า 2 วัน จึงจะทำให้อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันลดลง

4.2.11.3 การฟื้นตัว

การฟื้นตัวของค่าไนเทรตในระบบสังเกตภายในถังแอน็อกซิกไนเทรตมีค่าลดลงและภายในถังออกซิกไนเทรตมีค่าเพิ่มขึ้น จากการที่มีค่าสูงขึ้นและลดลงตามลำดับในขณะช็อก ความสามารถในการฟื้นตัวของระบบจากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นสังกะสีที่ 0 (ชุดควบคุม) ถึง 50 มก./ล. ระบบสามารถฟื้นตัวได้ภายใน 6 ถึง 11 วัน ระยะเวลาการฟื้นตัวแสดงดังตารางที่ 4-79 ผลการทดลองแสดงดังกราฟผลการทดลองรวมดังรูปที่ 4-30 (ง) และ (จ)

การฟื้นตัวของระบบมีแนวโน้มที่จะใช้เวลามากขึ้นตามความเข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้น แสดงถึงไนโตรแบกเทอร์ต้องใช้เวลาในการฟื้นตัวแปรตามความเข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้น

ตารางที่ 4-78 ค่าไนเทรต (มก./ล.)ของชุดการทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่ง	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	ถังแอน็อกซิก	1.6	5.3	2.8	2.2
	ถังออกซิก	14.7	15.2	9.1	1.4
10	ถังแอน็อกซิก	1.3	2.7	3.6	5.2
	ถังออกซิก	17.1	17.3	12.5	3.3
25	ถังแอน็อกซิก	1.1	1.2	2.2	4.5
	ถังออกซิก	17.5	18.9	17.9	11.4
35	ถังแอน็อกซิก	1.5	1.9	2.3	4.8
	ถังออกซิก	25	27.6	27.5	16.9
50	ถังแอน็อกซิก	1.7	2.7	3.6	5.2
	ถังออกซิก	26.1	27.2	27.0	15.0

ตารางที่ 4-79 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)ของระบบเมื่อใช้ค่าไนเทรตในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี(มก./ล.)	0(ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	6	6	8	6	11

4.2.12 แอมโมเนีย

4.2.12.1 สถานะคงตัว

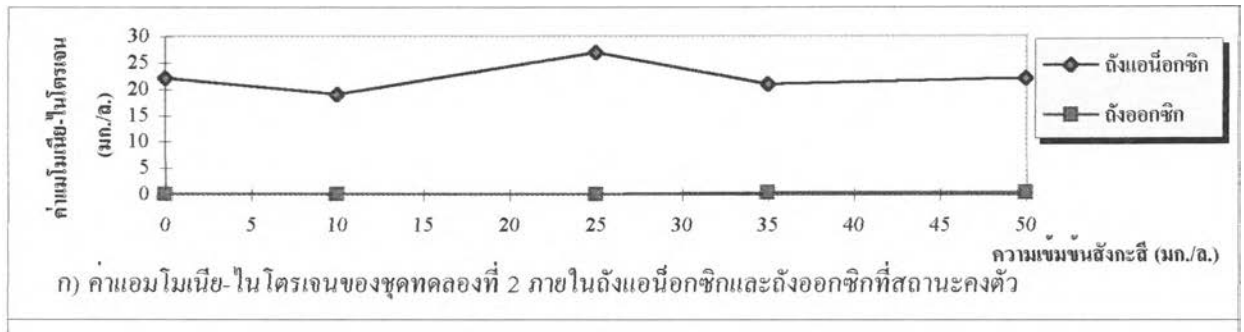
ในการทดลองวัดแอมโมเนียของระบบพบว่าที่ถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยถังแอน็อกซิกมีค่าเฉลี่ยเป็น 19-27 มก./ล. และถังออกซิกมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 มก./ล. ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 4-80 และกราฟในรูปที่ 4-31(ก)

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้พิจารณาร่วมกับค่าไนไทรต์และไนเทรต พบว่า ***การแปรค่าสังกะสีเข้าสู่ระบบถึง 50 มก./ล. ไม่มีผลต่อการทำงานของไนตริไฟเออร์พวกไนโตรโซโมแนสซึ่งสามารถปรับตัวได้ดีกว่าไนโตรแบกเทอร์***มากสำหรับชุดทดลองนี้

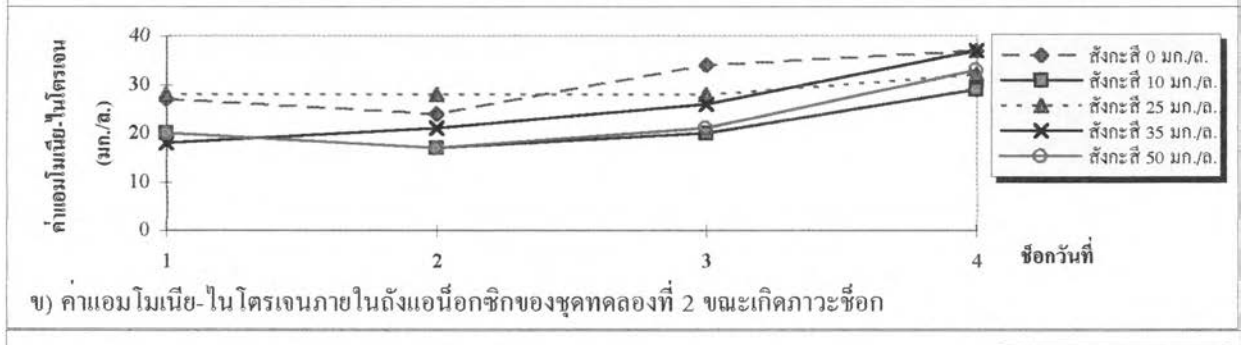
ตารางที่ 4-80 ค่าแอมโมเนียโดยเฉลี่ยของชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	22	4	0	0
10	19	3	0	0
25	27	5	0	0
35	21	4	0	1
50	22	0	0	1

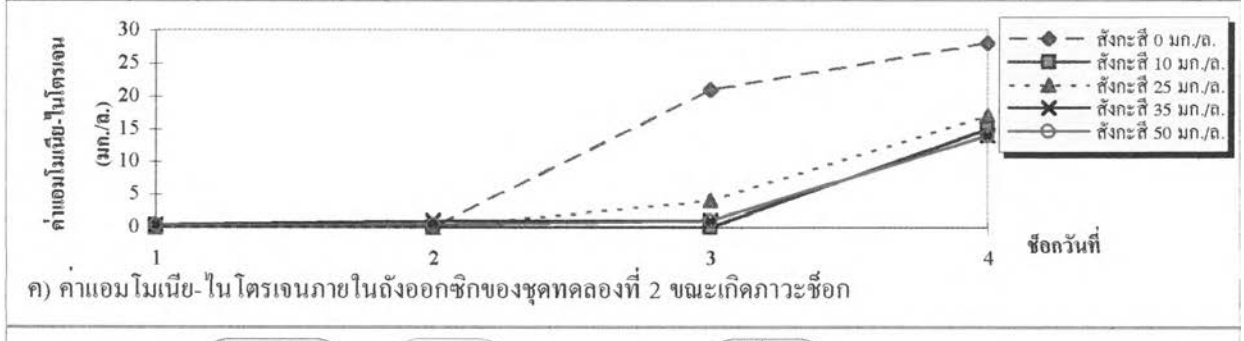
หมายเหตุ จำนวนขอมูล (n) เท่ากับ 5



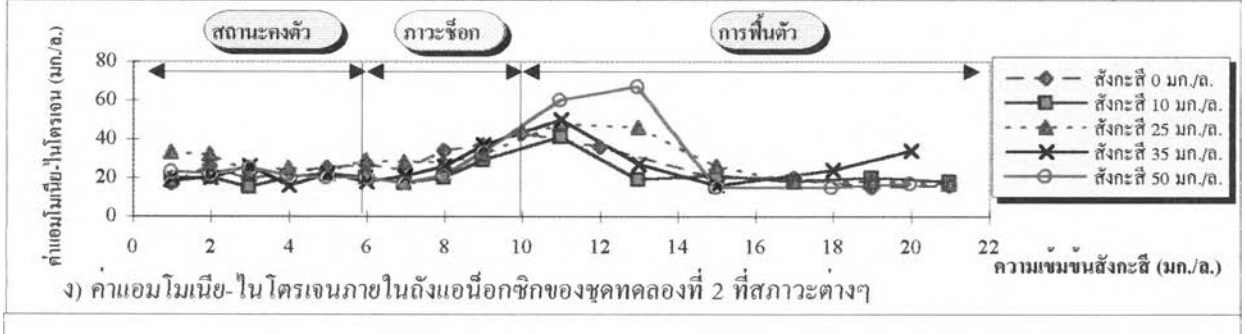
ก) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของชุดทดลองที่ 2 ภายในถังแอนีอกซิกและถังออกซิกที่สถานะคงตัว



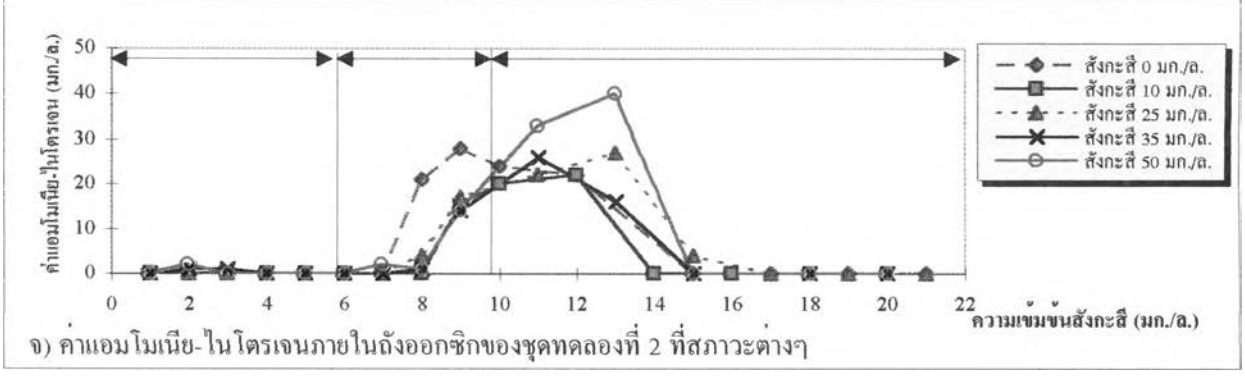
ข) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในถังแอนีอกซิกของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก



ค) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก



ง) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในถังแอนีอกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ



จ) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

รูปที่ 4-31 ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในถังแอนีอกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

4.2.12.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งในถังแอน็อกซิกและออกซิก โดยการทดลองที่สังกะสี 0 ถึง 25 มก./ล.ระบบเริ่มมีค่าแอมโมเนียเพิ่มขึ้นสูงในวันที่ 3 ของการเกิดภาวะช็อก โดยเฉพาะชุดควบคุมมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด ส่วนการทดลองสังกะสีที่ 35 และ 50 มก./ล. เริ่มมีค่าแอมโมเนียเพิ่มขึ้นสูงในวันที่ 4 ของการเกิดภาวะช็อก โดยในวันที่ 4 ของการช็อกระบบแอมโมเนียในถังแอน็อกซิกและออกซิกของแต่ละการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 20 - 37 มก./ล.และ 14 - 28 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-81 และกราฟที่ 4-31 (ข) และ (ค)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า***การช็อกระบบในวันที่ 3 ด้วยสังกะสี 300 มก./ล. มีผลต่อระบบอย่างชัดเจน*** โดยทำให้อัตราการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไทรต์ภายในถังออกซิกลดลงซึ่งเป็นผลจากการทำงานของไนโตรโซโมแนสถูกยับยั้ง ทำให้มีแอมโมเนียเหลืออยู่ภายในถังเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นลดลงด้วย และ***เนื่องจากระบบมีการเวียนน้ำภายในจากถังออกซิกสู่ถังแอน็อกซิกฉะนั้นแอมโมเนียภายในถังออกซิกจึงเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งโดยปกติแอมโมเนียในถังแอน็อกซิกมีค่าลดลงเนื่องจากการเจือจางเท่านั้น***

ตารางที่ 4-81 ค่าแอมโมเนีย (มก./ล.)ของชุดการทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่ง	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	ถังแอน็อกซิก	27	24	34	37
	ถังออกซิก	0	2	21	26
10	ถังแอน็อกซิก	20	17	20	29
	ถังออกซิก	0	0	6	15
25	ถังแอน็อกซิก	29	28	28	32
	ถังออกซิก	0	0	4	17
35	ถังแอน็อกซิก	18	21	26	37
	ถังออกซิก	1	1	1	14
50	ถังแอน็อกซิก	20	17	21	33
	ถังออกซิก	0	2	1	14

4.2.12.3 การฟื้นตัว

ลักษณะการฟื้นของระบบสังเกตได้จากค่าแอมโมเนียภายในถังแอน็อกซิกและถังออกซิก ซึ่งมีค่าลดลงหลังจากที่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อขณะเกิดภาวะช็อก โดยระยะการฟื้นตัวในช่วง 4 วันแรก ค่าแอมโมเนียในระบบของทุกการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าช่วงภาวะช็อกยกเว้นชุดควบคุมเท่านั้น การฟื้นตัวของพารามิเตอร์นี้โดยเฉลี่ยทุกการทดลองมีระยะการฟื้นอยู่ในช่วง 6 วัน ระยะการฟื้นตัวแสดงดังตาราง 4-82 และลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟผลการทดลองรวมในรูปที่ 4-31 (ง) และ (จ)

ตารางที่ 4-82 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)ของระบบเมื่อใช้ประสิทธิภาพการกำจัดค่าทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี(มก./ล.)	0(ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	6	6	6	6	6

4.2.13 ทีเคเอ็น

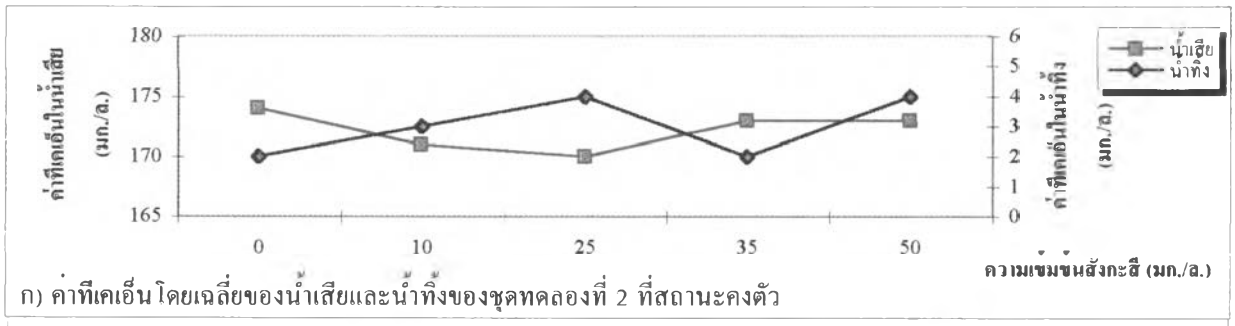
4.2.13.1 สถานะคงตัว

จากวัดค่าทีเคเอ็นของน้ำเสียและน้ำทิ้งพบว่าทุกการทดลองมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 170 - 174 มก./ล. และ 2 - 4 มก./ล. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-83 และกราฟที่ 4-28 (ก) ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นได้ร้อยละ 97.6 ถึง 98.9 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-84 และกราฟที่ 4-32 (ข)

ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าการแปรค่าความเข้มข้นสังกะสีที่ 0 ถึง 50 มก./ล. ไม่มีผลต่อการกำจัดทีเคเอ็นของระบบ สำหรับชุดทดลองนี้

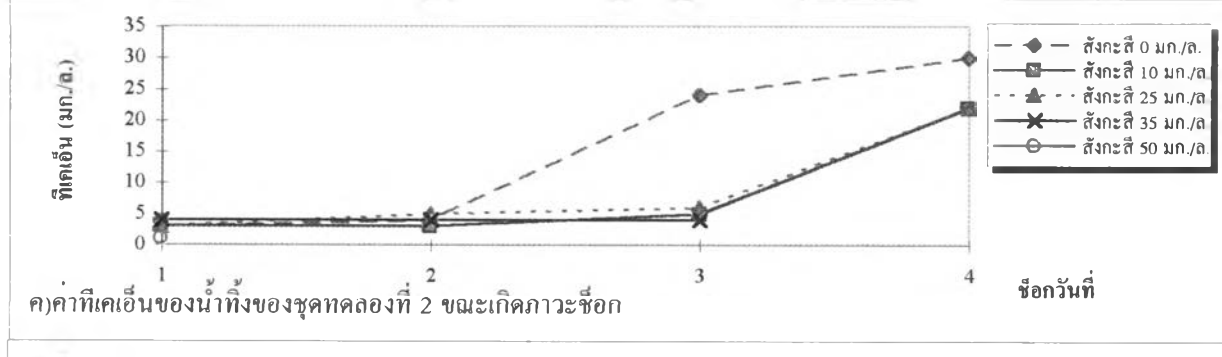
4.2.13.2 ภาวะช็อก

เมื่อระบบเกิดภาวะช็อกพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นลดลงตามระยะเวลาการช็อก ซึ่งประสิทธิภาพลดลงอย่างชัดเจนขณะเกิดภาวะช็อกในวันที่ 3 สำหรับชุดควบคุมและภาวะช็อกในวันที่ 4 สำหรับการทดลองที่สังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. ของการโดยแต่ละการทดลองประสิทธิภาพลดลงเหลือร้อยละ 82.2 ถึง 89.9 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-84 และ 4-85 และกราฟที่ 4-32 (ข) และ (ค)

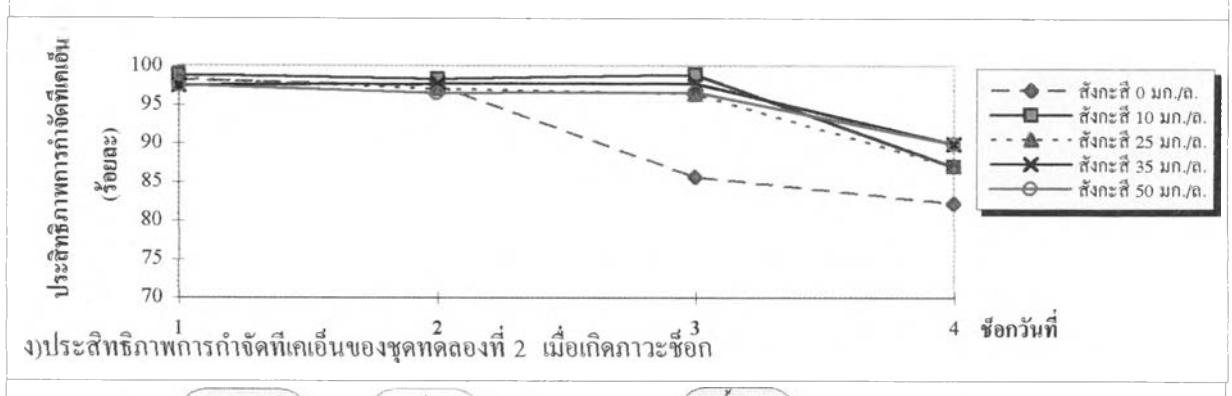


ก) ค่าทีเคเอ็นโดยเฉลี่ยของน้ำเสียและน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว

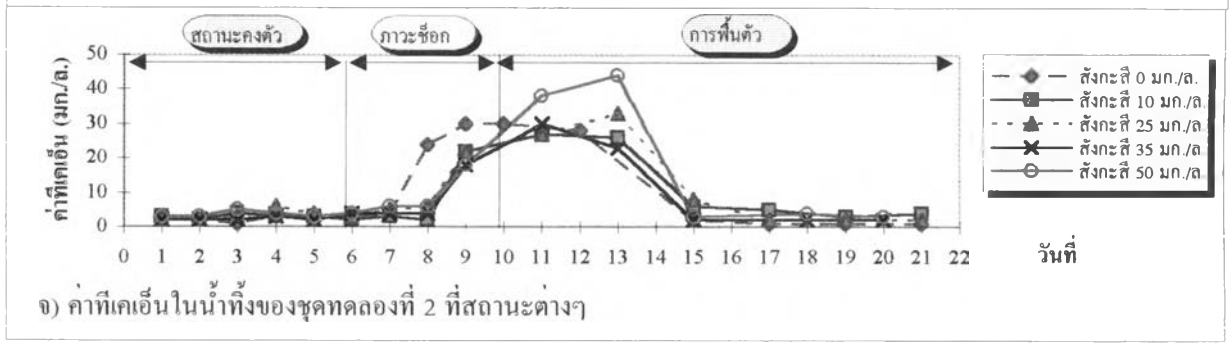
ข) ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว



ค)ค่าทีเคเอ็นของน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 2 ขณะเกิดภาวะช็อก



ง)ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 2 เมื่อเกิดภาวะช็อก



จ) ค่าทีเคเอ็นในน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะต่างๆ

รูปที่ 4-32 ค่าทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะต่างๆ

ตารางที่ 4-83 ค่าทีเคเอ็นโดยเฉลี่ย(มก./ล.)ชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ถังพักน้ำเสีย		ถังตกตะกอน	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0 (ชุดควบคุม)	174	3	2	1
10	171	9	3	1
25	173	9	4	2
35	173	6	2	0
50	170	5	4	1

หมายเหตุ จำนวนข้อมูล (n) เท่ากับ 5

ตารางที่ 4-84 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	0 (ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น (ร้อยละ)	98.9	98.2	97.7	98.8	97.6

จากผลการทดลองพบว่าถ้าทำการช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. มากกว่า 2 วันแล้วจะมีผลต่อการกำจัดทีเคเอ็นของระบบของชุดควบคุม และมากกว่า 3 วัน ของการทดลองที่สังกะสี 10 ถึง 50 มก./ล. ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.12.2

4.2.13.3 การฟื้นตัว

การฟื้นตัวของระบบสังเกตได้จากค่าทีเคเอ็นในน้ำทิ้ง ซึ่งมีค่าลดลงจากที่เพิ่มขึ้นในขณะเกิดภาวะช็อก โดยเฉลี่ยทุกการทดลองมีระยะการฟื้นตัวอยู่ในช่วง 6 วัน เช่นเดียวกับค่าแอมโมเนีย ระยะเวลาการฟื้นตัวของแต่ละการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-86 ลักษณะการฟื้นตัวแสดงดังกราฟที่ 4-32 (ง)และ (จ)

ตารางที่ 4-85 ค่าทีเคเอ็น (มก./ล.)ของชุดการทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	ตำแหน่ง	ช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
		1	2	3	4
0	น้ำเสีย	170	165	167	169
(ชุดควบคุม)	น้ำทิ้ง	3	4	24	30
10	น้ำเสีย	160	175	181	172
	น้ำทิ้ง	2	3	11	22
25	น้ำเสีย	175	171	168	170
	น้ำทิ้ง	3	5	6	22
35	น้ำเสีย	162	171	175	178
	น้ำทิ้ง	4	4	4	18
50	น้ำเสีย	162	171	175	178
	น้ำทิ้ง	4	6	6	18

ตารางที่ 4-86 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	เมื่อช็อกระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นวันที่			
	1	2	3	4
0 (ชุดควบคุม)	98.2	97.5	85.6	82.2
10	98.8	98.3	98.9	87.0
25	98.3	97.1	96.4	87.1
35	97.5	97.7	97.7	89.9
50	97.5	96.5	96.6	89.9

ตารางที่ 4-87 ระยะเวลาการฟื้นตัว(วัน)ของระบบเมื่อใช้ประสิทธิภาพการกำจัดค่าทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์

ความเข้มข้นสังกะสี(มก./ล.)	0(ชุดควบคุม)	10	25	35	50
ระยะเวลาการฟื้นตัว	6	6	6	6	6

4.2.14 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด

4.2.14.1 สถานะคงตัว

เมื่อระบบอยู่ในสถานะคงตัวประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดเป็นร้อยละ 85.1, 84.0, 83.7, 84.6, และ 82.8 ตามลำดับ ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4-88 และกราฟในรูปที่ 4-33

จะเห็นได้ว่าการแปรค่าสังกะสีสู่ระบบถึง 50 มก./ล. ไม่มีผลต่อการกำจัดไนโตรเจน ซึ่งเห็นได้จากประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันดังที่กล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 4-88 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสภาวะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสี (มก/ล.)	สถานะคงตัว	ช็อกวันที่				ระยะการฟื้นตัว
		1	2	3	4	
0 (ชุดควบคุม)	85.1	83.0	83.1	79.2	81.2	85.8
10	84.0	82.6	82.8	81.8	82.6	84.8
25	83.7	84.0	82.6	82.6	77.7	84.8
35	84.6	81.9	80.3	80.3	79.4	86.3
50	82.8	82.6	80.8	80.9	81.0	83.5

4.2.14.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดที่ลดลงมากที่สุดของแต่ละการทดลองเหลือร้อยละ 79.2, 81.8, 77.7, 79.4 ถึง 80.8 ตามลำดับ ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 88 และกราฟในรูปที่ 4-33

เมื่อระบบอยู่ในภาวะช็อกประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนลดลง เนื่องจากอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันลดลง ดังที่จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.2.14.3 การฟื้นตัว

ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบของระยะการฟื้นตัวในวันที่ 11 ถึง 12 การทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 85.8, 87.8, 84.8, 86.3, และ 83.5 ตามลำดับ ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4-88 และกราฟในรูปที่ 4-33

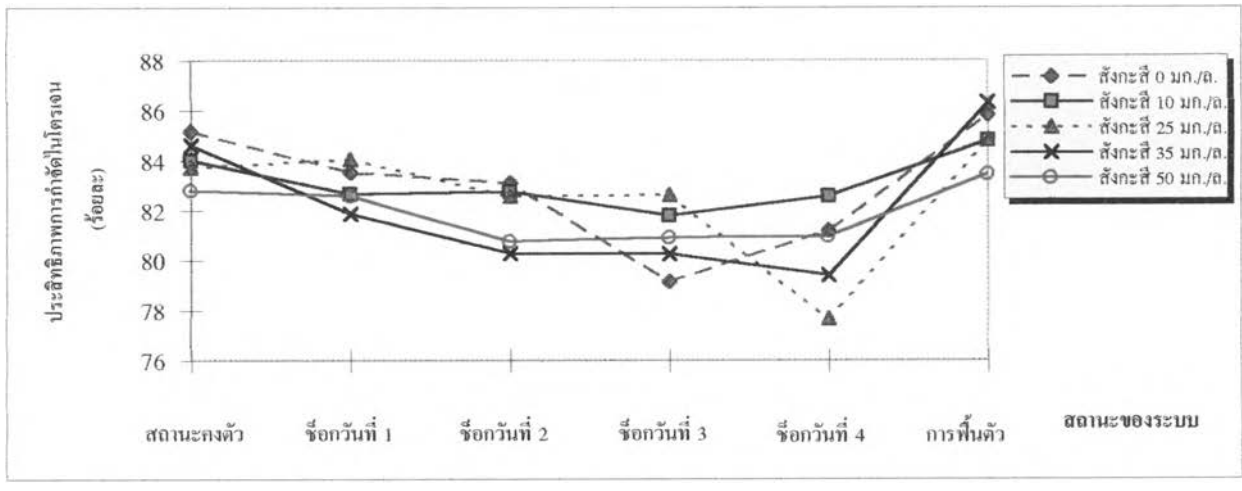
จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในช่วงระยะการฟื้นตัววันที่ 11 และ 12 กับช่วงสถานะคงตัวพบว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าเล็กน้อย เนื่องจากในช่วงนี้ระบบมีอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันมากกว่าช่วงสถานะคงตัว ดังที่จะกล่าวถึงต่อไป

4.2.15 อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะ

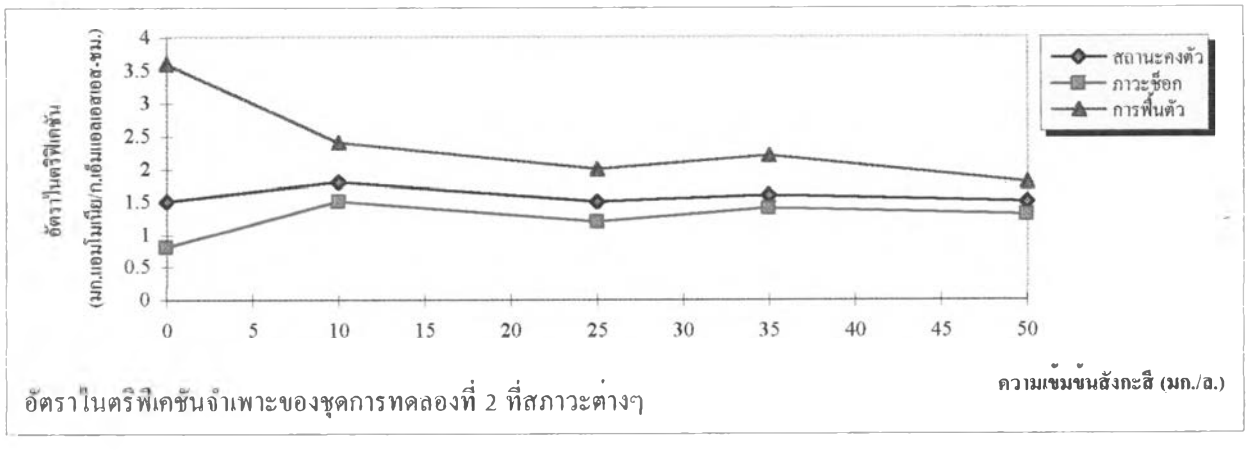
4.2.15.1 สถานะคงตัว

ในการหาอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบโดยพิจารณาจากอัตราการลดลงของแอมโมเนียมต่อเอ็มแอลเอสเอสต่อเวลา ซึ่งในบางงานวิจัยเรียกว่าอัตราการใช้แอมโมเนียมจำเพาะดังที่กล่าวมาแล้วในการทดลองที่ 1 จากผลการทดลองพบว่าทุกการทดลองมีอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะที่ใกล้เคียงกัน โดยการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ค่าเป็น 1.5, 1.8, 1.5, 1.6 และ 1.5 มก.แอมโมเนียม/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-89 และกราฟในรูปที่ 4-34

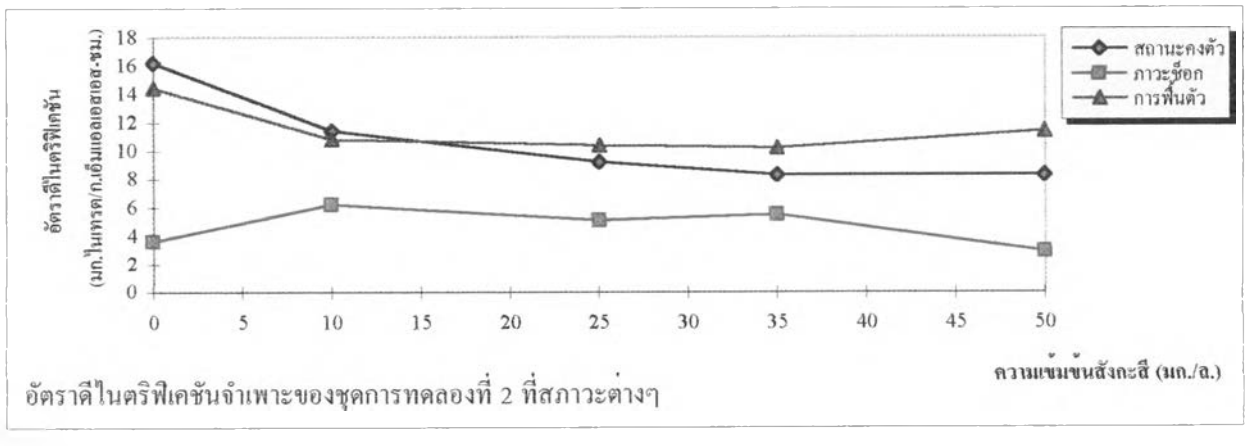
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า***การเติมสังกะสีเข้าสู่ระบบถึง 50 มก./ล. ไม่มีผลต่ออัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะ หรืออาจในที่นี้อาจกล่าวได้ว่าระบบมีอัตราการใช้แอมโมเนียที่ใกล้เคียงกันทุกการทดลอง เนื่องจากระบบมีอัตราส่วนซีโอดีต่อสังกะสีที่สูงมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดพบว่ามีผลการทดลองที่สอดคล้องกัน*** และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่าอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะที่ทดลองได้ของชุดทดลองนี้มีค่า***ต่ำกว่างานวิจัยของ Su และ Ouyang และ ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Eckenfelder การที่อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองนี้มีค่าต่ำเนื่องจากค่าซีโอดีที่เข้าสู่ถังแอนอ็อกซิกมีค่าสูงซึ่งมีผลต่อการลดอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะ*** เนื่องจากถ้าในระบบยังคงมีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในปริมาณมาก ไนตริฟายอิงแบกทีเรียจะทำงานได้ไม่ดีเท่าคาร์บอนแบกทีเรียผลการเปรียบเทียบอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะแสดงดังตารางที่ 4-90



รูปที่ 4-33 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ 4-34 อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดการทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ 4-35 อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดการทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ตารางที่ 4-89 อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะ (มก.แอมโมเนียม/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม.)		
	สถานะคงตัว	ภาวะช็อก	การฟื้นตัว*
0 (ชุดควบคุม)	1.5	0.8	3.6
10	1.8	1.5	2.4
25	1.5	1.2	2.0
35	1.6	1.4	2.2
50	1.5	1.3	1.8

หมายเหตุ * ทำการทดลองหลังจากเลิกช็อกระบบเป็นเวลา 11 หรือ 12 วัน

ตารางที่ 4-90 อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เมื่อแปรค่าเอสอาร์ที

System	SRT (d)	Temp°C	Specific Nitrification Rate (mg NH_3-N/g VSS/hr)	Reference
Conventional	5	20	3.11	
Conventional	10	20	5.01	
Conventional	15	20	4.13	Su และ Ouyang (1997)
AA/O	5	20	3.76	
AA/O	10	20	5.78	
AA/O	15	20	4.96	
Conventional SBR	12	20	0.91	Eckenfelder (1994)
System	SRT (d)	Temp°C	Specific Nitrification Rate (mg NH^+_4-N/g MLSS/hr)	Reference
An/O	10	26.5	1.50	
An/O(Zn 10 mg/l)	10	28.3	1.80	
An/O(Zn 25 mg/l)	10	29.6	1.50	งานวิจัยนี้
An/O(Zn 35 mg/l)	10	28.6	1.60	
An/O(Zn 50 mg/l)	10	29.0	1.50	

4.2.15.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกพบว่าอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของแต่ละการทดลองมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย(ทำการทดลองในวันที่ 3 ของการช็อกระบบ)โดยการทดลองที่สังกะสี 0, 10, 25, 35 และ 50 มก./ล.อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะมีค่าเป็น 0.8, 1.5, 1.2, 1.4 และ 1.3 มก.แอมโมเนียม/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-89 และกราฟในรูปที่ 4-34

จากผลการทดลองดังกล่าวเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าแอมโมเนียของถังออกซิกของการทดลองที่สังกะสี 0 ถึง 25 มก./ล.จะเห็นได้ว่าผลการทดลองมีความขัดแย้งกัน เนื่องจากในวันที่ 3 ของการช็อกระบบพบว่าแอมโมเนียมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจนเป็นครั้งแรก แสดงถึงอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะต้องน้อยกว่าช่วงสถานะคงตัวพอควร แต่จากการทดลองค่าที่ได้กลับมีความใกล้เคียงกันมาก เนื่องอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะในช่วงสถานะคงตัวมีอัตราต่ำอยู่แล้ว ฉะนั้นในการหาความแตกต่างของอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะจึงทำได้ยาก ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเกิดจากการที่ผู้วิจัยขาดความแม่นยำในการทดลอง ส่วนการทดลองที่สังกะสี 35 และ 50 มก./ล. พบว่าในการช็อกระบบเป็นวันที่ 3 ยังไม่มีผลต่ออัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะ ซึ่งสังเกตได้จากค่าแอมโมเนียในระบบยังมีค่าใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัว

4.2.15.3 การฟื้นตัว

ในช่วงการฟื้นตัวการทดลองที่สังกะสี 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะมีค่า 3.6, 2.4, 2.0, 2.2 และ 1.8 มก.แอมโมเนียม/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ซึ่งมากกว่าขณะอยู่ในสถานะคงตัว แสดงถึงการช็อกระบบผลทำให้อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบดีขึ้น ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-89 และกราฟในรูปที่ 4-34

4.2.16 อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ

4.2.16.1 สถานะคงตัว

ในการหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบโดยพิจารณาจากอัตราการลดลงของไนเทรตต่อเอ็มแอลเอสเอสต่อเวลา เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 1 โดยการทดลองที่สังกะสีเท่ากับ 0 (ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ค่าเป็น 10.2, 11.4, 9.2, 8.3 และ 8.3 มก.ไนเทรต/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-91 และกราฟในรูปที่ 4-35

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก อาจกล่าวได้ว่าการแปรค่าสังกะสีระบบถึง 50 มก./ล. มีผลต่อแบกทีเรียพวกดีไนตริฟายเออร์น้อย และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นได้ดังตารางที่ 4-92 จากตารางพบว่าอัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่างานวิจัยอื่นๆเมื่อเปรียบเทียบอายุสลัดจ์ที่เท่ากัน ซึ่งอาจเป็นเพราะงานวิจัยนี้ทำการทดลองที่อุณหภูมิที่สูงกว่างานวิจัยอื่น

ตารางที่ 4-91 อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (มก.ไนเทรต/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม.)		
	สถานะคงตัว	ภาวะช็อก	การฟื้นตัว*
0 (ชุดควบคุม)	16.2	3.6	14.4
10	11.4	6.2	10.8
25	9.2	5.1	10.4
35	8.3	5.5	10.2
50	8.3	2.9	11.4

หมายเหตุ * ทำการทดลองหลังจากเลิกช็อกระบบเป็นเวลา 11 หรือ 12 วัน

4.2.16.2 ภาวะช็อก

ขณะเกิดภาวะช็อกพบว่าอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของแต่ละการทดลองมีค่าลดลงอย่างชัดเจน(ทำการทดลองในวันที่ 3 ของการช็อกระบบ)โดยมีค่าเป็น 3.6, 6.2, 5.1, 5.5 และ 2.9 มก.ไนเทรต/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-91 และกราฟในรูปที่ 4-35

การช็อกระบบมีผลต่อการทำงานของดีไนตริฟายเออร์ทุกการทดลอง ทำให้การรีดิวส์ไนเทรตถูกยับยั้ง อัตราการดีไนตริฟิเคชันจึงลดลง

4.2.16.3 การฟื้นตัว

ในช่วงการฟื้นตัวการทดลองที่สังกะสี 0(ชุดควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะมีค่า 14.4, 10.8, 10.4, 10.2 และ 11.4 มก.ไนเทรต/ก.เอ็มแอลเอสเอส-ชม. ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4-91 และกราฟในรูปที่ 4-35

จากผลการทดลองอัตราดีไนตริฟิเคชันมีค่าใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัว แสดงถึงไนตริฟายเออร์สามารถฟื้นตัวได้หลังจากเกิดภาวะช็อกกับระบบ

ตารางที่ 4-92 อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เมื่อแปรค่าเอสอาร์ที

System	SRT (d)	Temp°C	Specific Nitrification Rate (mg NO_3-N/g VSS/hr)	Reference
An/O	2	20	34.2	
An/O	3	20	24.2	
An/O	4	20	19.2	Randall และคณะ (1992
An/O	5	20	16.7	
An/O	6	20	13.8	
An/O	8	20	11.3	
AA/O	5	20	6.89	
AA/O	10	20	5.54	Su และ Ouyang (1997)
AA/O	15	20	4.79	
An/O	5		8.3	Kim และ คณะ (1997)
System	SRT (d)	Temp°C	Specific Nitrification Rate (mg NO_3-N/g MLSS/hr)	Reference
An/O	10	27.0	16.20	
An/O(Zn10 mg/l)	10	29.9	11.40	
An/O(Zn25 mg/l)	10	30.4	9.20	งานวิจัยนี้
An/O(Zn35 mg/l)	10	30.3	8.30	
An/O(Zn50 mg/l)	10	30.3	8.30	

4.2.17 สังกะสี

4.2.17.1 ภาวะการณ์ที่การทดลอง ณ สถานะคงตัว

การทดลองที่สังกะสี 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีสังกะสีในน้ำเสียประมาณ 11, 24, 38 และ 47 มก./ล.ตามลำดับ ในของเหลวผสมของถังแอน็อกซิก 31, 113, 127 และ 187 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากของเหลวผสมของถังแอน็อกซิก 0.4, 0.2, 0.5 และ 0.5 มก./ล. ตามลำดับ ของเหลวผสมของถังออกซิก 30, 128, 130 และ 167 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากของเหลวผสมของถังออกซิก 0.2, 0.1, 0.5 และ 0.4 มก./ล. ตามลำดับ ในน้ำทิ้ง

0.8, 0.4, 0.8 และ 0.9 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากน้ำทิ้ง 0.2, 0.2, 0.5 และ 0.4 มก./ล. ตามลำดับ และความเข้มข้นของสังกะสีในสลัดจ์ที่จมตัวอยู่ในถังตกตะกอนมีค่า 48, 198, 211 และ 293 มก./ล. ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 4-93 และกราฟในรูปที่ 4-36

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า***เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสังกะสีในน้ำเสียถึง 50 มก./ล. ของเหลวผสมในถังแอนอ็อกซิกและถังออกซิกมีการสะสมของสังกะสีเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 1 แต่มีค่าน้อยกว่ามากเนื่องจากอัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสน้อยกว่าชุดทดลองที่ 1 นั่นเอง หรือคิดเทียบเป็นอัตราส่วนสังกะสีต่อซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะได้ว่าชุดทดลองที่ 1 มีอัตราส่วนอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.1(กก.สังกะสีต่อกก.ซีโอดี) และชุดทดลองที่ 2 มีอัตราส่วนอยู่ในช่วง 0.003 ถึง 0.014 (กก.สังกะสีต่อกก.ซีโอดี) ซึ่งชุดทดลองที่ 2 มีอัตราส่วนดังกล่าวน้อยกว่าชุดทดลองที่ 1 ประมาณ 7 เท่า ส่วนน้ำส่วนที่กรองได้มีความเข้มข้นสังกะสีน้อยและใกล้เคียงกันทุกการทดลอง แสดงว่าสังกะสีถูกดูดซับสู่เซลล์และตกตะกอนได้เกือบทั้งหมด เหลือเป็นสารละลายเพียงเล็กน้อย*** ซึ่งความสามารถในการดูดซับของสังกะสีในระบบสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nelson และ คณะ (1981) เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 1 ส่วนในน้ำทิ้งนั้นค่าสังกะสีที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม(ประเทศไทย)ซึ่งกำหนดให้ไม่เกิน 5.0 มก./ล. และค่าสังกะสีในน้ำทิ้งดังกล่าวยังมีค่าใกล้เคียงกับแต่น้อยกว่าน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 1 ด้วย เนื่องจากประสิทธิภาพการสะสมสังกะสีของทั้ง 2 ชุดทดลองมีค่าสูงดีมาก แต่ในชุดทดลองที่ 2 มีภาระสังกะสีเทียบต่อมวลในระบบน้อยกว่าในชุดทดลองที่ 1 ฉะนั้นสังกะสีจึงมีผลต่อระบบน้อยกว่าดังที่แสดงไว้ และจากกราฟในรูปที่ 4-36 พบว่าสังกะสีในเซลล์ในถังปฏิกิริยามีค่าน้อยกว่าในสลัดจ์(ซึ่งผ่านการจมตัวในถังตกตะกอน)เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 1 โดยส่วนต่างนี้(Δ)มีค่ามากขึ้นเมื่อมีการป้อนสังกะสีเข้าสู่ระบบมากขึ้น

เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนของสังกะสี(กรัม)ต่อเอ็มแอลเอสเอส(กรัม)จะสรุปได้ดังตารางที่ 4-94 จากตารางจะพบว่า***ที่สถานะคงตัวเมื่อเพิ่มค่าสังกะสีปริมาณการสะสมของสังกะสีในเอ็มแอลเอสเอสจะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน*** โดยการทดลองที่สังกะสี 11, 24, 38 และ 47 มก./ล. ในถังแอน็อกซิกมีอัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสคิดเป็นร้อยละ 0.7, 2.6, 2.8 และ 4.0 ตามลำดับ ส่วนในถังออกซิกคิดเป็นร้อยละ 0.7, 3.1, 3.1 และ 3.9 ตามลำดับ ***ซึ่งการเพิ่มขึ้นของการสะสมสังกะสีในฟล็อกหรือเซลล์ในถังออกซิกจากถังแอน็อกซิกไม่ชัดเจนเหมือนชุดทดลองที่ 1 เนื่องจากชุดทดลองนี้มีอัตราการป้อนสังกะสีที่ต่ำกว่ามาก***

เมื่อทำการดุลมวลของสังกะสีทั้งระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4-20 พบว่าในสถานะคงตัวนี้ในแต่ละวันการทดลองสังกะสีที่ 11, 24, 38 และ 47 มก./ล. มีการสะสมของสังกะสี

เป็น 17, -50, 29 และ 27 มก./วัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-95 จะเห็นได้ว่าผลการคำนวณที่ได้ค่า Δx มีค่าเป็นบวก(ยกเว้นการทดลองที่สังกะสี 24 มก./ล.) แสดงว่า***ระบบมีการสะสมสังกะสีในฟล็อกที่สร้างขึ้นมาใหม่ในแต่ละวัน*** เช่นเดียวกับชุดทดลองที่ 1

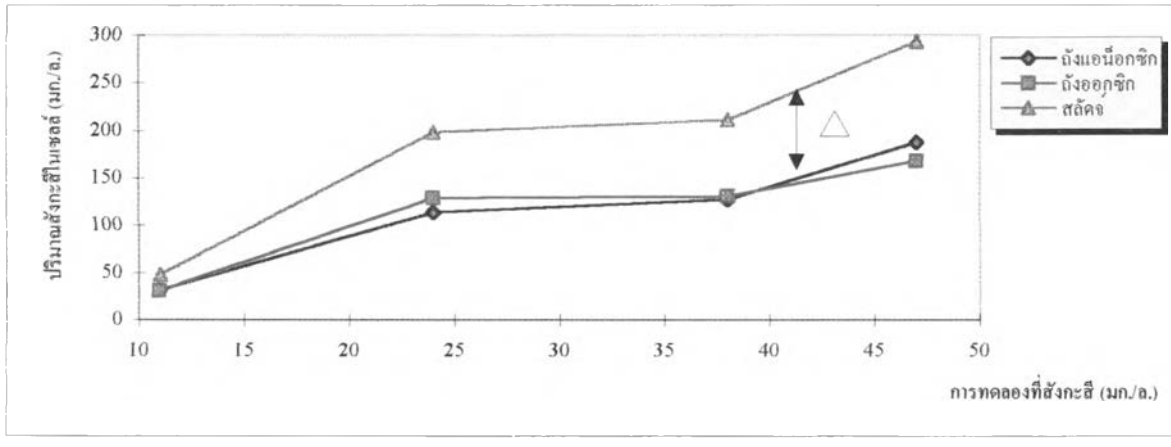
ตารางที่ 4-93 ความเข้มข้นสังกะสี(มก./ล.)สีในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสี	สภาวะระบบ	น้ำเสีย	ถังแอน็อกซิก		ถังออกซิก		สลัดจ์	น้ำทิ้ง	น้ำทิ้ง (กรอง)
			ของเหลวผสม	กรอง	ของเหลวผสม	กรอง			
0	สถานะคงตัว	-	-	-	-	-	-	-	-
10		11	31	0.4	30	0.2	48	0.8	0.2
25		24	113	0.2	128	0.1	198	0.4	0.2
35		38	127	0.5	130	0.5	211	0.8	0.5
50		47	187	0.5	167	0.4	293	0.9	0.4
0	ช็อกระบบ	311	496	35	490	18	787	13	8
10		308	498	4.2	454	11.1	778	13	11
25		300	502	16	498	15	801	16.4	14
35		316	538	19.8	514	15.4	830	14.4	12.2
50		306	541	16.4	552	15.5	853	9.9	6.2
0	การฟื้นตัว	-	98	0.5	110	0.2	176	0.9	0.5
10		12	159	0.5	164	0.3	253	0.3	0.3
25		25	177	0.2	178	0.1	284	0.3	0.1
35		32	184	0.3	183	0.2	293	0.4	0.2
50		52	194	0.3	196	0.2	298	1.4	0.2

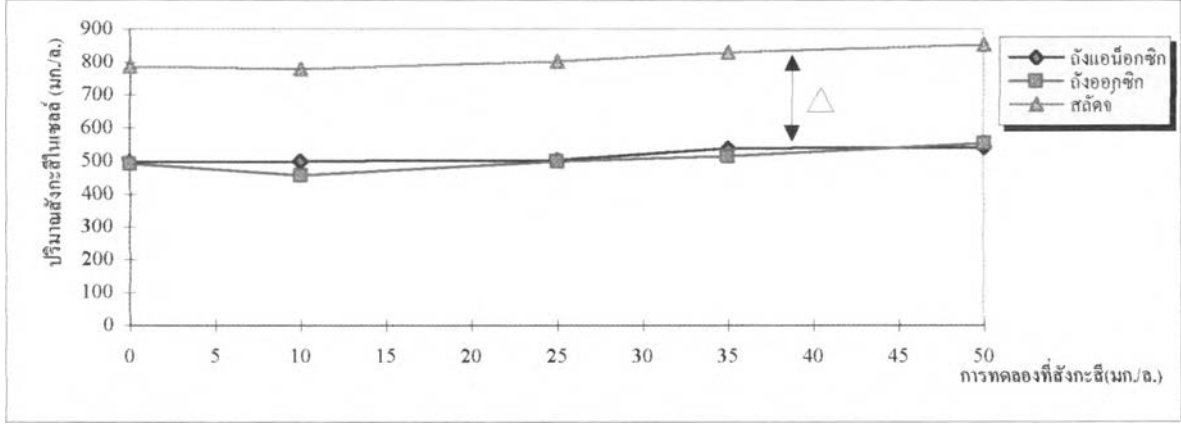
หมายเหตุ ในการหาค่าความเข้มข้นสังกะสีที่สถานะคงตัวกระทำการวัดเป็นเวลา 3 วัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ส่วนที่ภาวะช็อกกระทำการวัดในวันที่ 4 ของการเกิดภาวะช็อก และในช่วงการฟื้นตัวทำการวัดค่าสังกะสีในวันที่ 10 ถึง 12 ของระยะนั้นและนำมาหาค่าเฉลี่ย

4.2.17.2 ภาวะช็อก

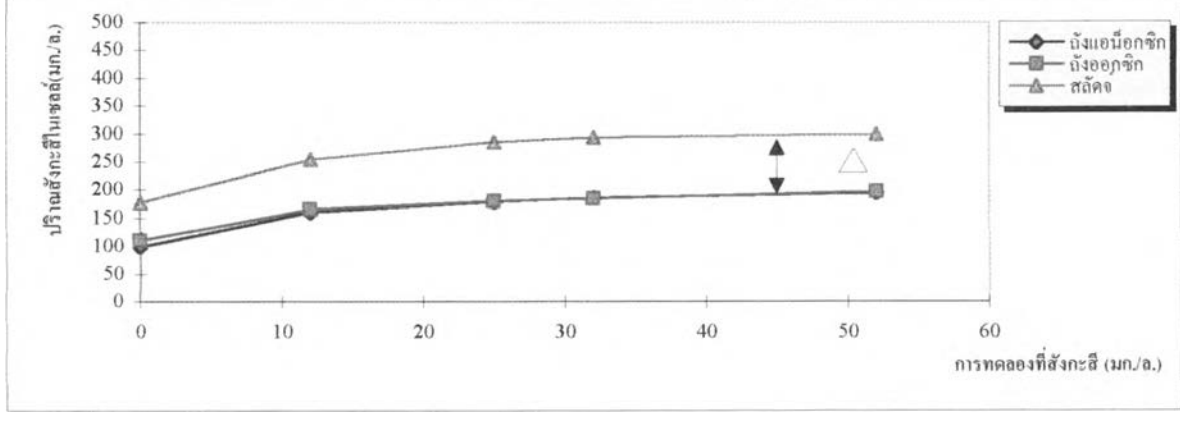
จากการวัดค่าความเข้มข้นสังกะสีที่ตำแหน่งต่างๆ ในวันที่ 3 ของการช็อกระบบของการทดลองที่สังกะสี 0, 12, 25, 38 และ 52 มก./ล. พบว่าในน้ำเสียมีค่าสังกะสีประมาณ 311, 308, 300, 316 และ 306 มก./ล. ตามลำดับ ในของเหลวผสมของถังแอน็อกซิก 496, 498, 502, 538 และ 541 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากของเหลวผสมของถังแอน็อกซิก



รูปที่ 4-36 ปริมาณสังกะสีในเซลล์ภายในถังแอน็อกซิก ถังออกซิก และสลัดจ์ ของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว



รูปที่ 4-37 ปริมาณสังกะสีในเซลล์ภายในถังแอน็อกซิก ถังออกซิก และสลัดจ์ ของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก



รูปที่ 4-38 ปริมาณสังกะสีในเซลล์ภายในถังแอน็อกซิก ถังออกซิก และสลัดจ์ ของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะการฟื้นตัว

ตารางที่ 4-94 อัตราส่วนของสังกะสี(กรัม)ต่อเอ็มแอลเอสเอส(กรัม)ในถังแอนีอกซิกและถังออกซิก ของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	สภาวะระบบ	สังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสในถังแอนีอกซิก (ร้อยละ)	สังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสในถังออกซิก (ร้อยละ)
11	สถานะคงตัว	0.7	0.7
24		2.6	3.1
38		2.8	3.1
47		4.0	3.9
311	ภาวะช็อก	8.1	9.7
308		9.8	9.9
300		9.1	10.9
316		10.4	109
306		10.7	11.1
0	การฟื้นตัว	2.3	3.0
12		3.8	4.2
25		3.9	4.3
32		4.1	4.4
52		4.3	5.6

35, 14.2, 16, 19.8 และ 16.4 มก./ล. ตามลำดับ ของเหลวผสมของถังออกซิก 490, 454, 498, 514 และ 552 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากของเหลวผสมของถังออกซิก 18, 11.1, 15, 15.4 และ 15.5 มก./ล. ตามลำดับ ในน้ำทิ้ง 13, 13, 16.4, 14.4 และ 9.9 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากน้ำทิ้ง 8, 11, 14, 12.2 และ 6.2 มก./ล. ตามลำดับ และความเข้มข้นของสังกะสีในสลัดจ์ที่จมตัวอยู่ในถังตกตะกอนมีค่า 787, 778, 801, 830 และ 853 มก./ล. ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 4- 93 กราฟในรูปที่ 4-36

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเมื่อช็อกระบบด้วยสังกะสีประมาณ 300 มก./ล. ของเหลวผสมและน้ำส่วนที่กรองได้ในถังแอนีอกซิกและถังออกซิกมีความเข้มข้นของสังกะสีเพิ่มขึ้นอย่างมากทุกการทดลองแต่ยังคงน้อยกว่าชุดทดลองที่ 1 แสดงว่าสังกะสีถูกดูดซับสู่เซลล์และตกตะกอนมากขึ้น ในขณะเดียวกันสังกะสีบางส่วนอยู่ในรูปของสารละลายเพิ่มมากกว่า

ตารางที่ 4-95 การคำนวณการสะสมสังกะสีในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

ความเข้มข้นสังกะสี (มก./ล.)	สภาวะระบบ	สังกะสีน้ำเสียจริง (มก./ล.)	ถังแอนีอกซิกของเหลวผสม (มก./ล.)	ถังออกซิกของเหลวผสม (มก./ล.)	น้ำทิ้งทั้งหมด (มก./ล.)	ปริมาณสังกะสีที่เข้าสู่ระบบ Xin x Qin (มก./วัน)	ปริมาณสังกะสีที่ออกจากระบบ			สังกะสีสะสมในระบบ(Δ X) (มก./วัน)
							Xox x Vexcess (มก./วัน)	Xout x Qout (มก./วัน)	Total (มก./วัน)	
		①	②	③	④	⑤ = ① X 6	⑥ = ③ X 1.5	⑦ = ④X(6-1.5)	⑧ = ⑥ + ⑦	⑨ = ⑤ - ⑧
10	สถานะคงตัว	11	31	30	0.8	66	45.0	3.6	49	17
25		24	113	128	0.4	144	192.0	1.8	194	-50
35		38	127	130	0.8	228	195.0	3.6	199	29
50		47	187	167	0.9	282	250.5	4.1	255	27
0	ช็อกระบบ	311	496	490	13	1866	735.0	58.5	794	1072
10		308	498	454	13	1848	681.0	58.5	740	1109
25		300	502	498	16.4	1800	747.0	73.8	821	979
35		316	538	514	14.4	1896	771.0	64.8	836	1060
50		306	541	552	9.9	1836	828.0	44.6	873	963
10	การฟื้นตัว	12	159	164	0.3	72	246.0	1.4	247	-175
25		25	177	178	0.3	150	267.0	1.4	268	-118
35		32	184	183	0.4	192	274.5	1.8	276	-84
50		52	194	196	1.4	312	294.0	6.3	300	12

หมายเหตุ (1) Qin 6 ลิตร/วัน ; Vexcess 1.5 ลิตร/วัน (รวมตัวอย่างน้ำที่เก็บมาวิเคราะห์ด้วยแล้ว) ; Qout = Qin - Vexcess

(2) ที่สถานะคงตัว, เป็นค่าเฉลี่ย 3 วันสุดท้าย

ที่ภาวะช็อก, เป็นค่าของวันที่ 4

ในช่วงสถานะคงตัว เนื่องจาก*ในช่วงนี้เซลล์ดูดซับสังกะสีได้ไม่ทันกับปริมาณสังกะสีที่มากขึ้นอย่างทันทีจึงทำให้มีสังกะสีอยู่ในรูปของสารละลาย* โดยปริมาณสังกะสีในของเหลวผสมของแต่ละการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วน*ในน้ำทิ้งค่าสังกะสีที่วัดได้มีค่ามากขึ้น*และมากกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม แต่ก็มีค่าน้อยกว่ากรณีชุดทดลองที่ 1 มากๆ เนื่องจากชุดทดลงที่ 2 มีฟล็อกปริมาณมากกว่ากรณีชุดทดลองที่ 1 จึงยังมีความสามารถจับสังกะสีได้มากกว่าชุดทดลงที่ 1 (แม้จะจับไม่หมดก็ตาม)

เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนของสังกะสี(กรัม)ต่อเอ็มแอลเอสเอส(กรัม)พบว่าที่ภาวะช็อกการสะสมของสังกะสีในเอ็มแอลเอสเอสจะเพิ่มมากขึ้นกว่าช่วงสถานะคงตัว โดยการทดลองที่สังกะสี 0, 11, 24, 38 และ 47 มก./ล. ในถังแอน็อกซิกมีอัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสคิดเป็นร้อยละ 8.1, 9.8, 9.1, 10.4 และ 10.7 ตามลำดับ และในถังออกซิกคิดเป็นร้อยละ 9.7, 9.9, 10.9, 10.9 และ 11.1 ตามลำดับ ดังสรุปได้ในตารางที่ 4-94 จากผลการทดลองดังกล่าวจะสังเกตได้ว่าอัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสทั้งในถังแอน็อกซอกและออกซิกเพิ่มมากขึ้นกว่าช่วงสถานะคงตัวมากแสดงว่า ***ในช่วงสถานะคงตัวเซลล์มีการดูดซับสังกะสียังไม่อิ่มตัวและเนื่องจากระบบมีค่าเอ็มแอลเอสเอสสูงแต่ละเซลล์จึงดูดซับสังกะสีไว้ไม่มาก เมื่อเกิดภาวะช็อกเซลล์เหล่านี้จึงสามารถดูดซับสังกะสีได้เพิ่มมากขึ้น***ซึ่งทำให้ระบบมีค่าอัตราส่วนสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสเพิ่มขึ้นและใกล้เคียงกันทุกการทดลอง

และจากการดุลมวลสังกะสีทั้งระบบดังแสดงในตารางที่ 4-95 พบว่า ***ระบบมีการสะสมของสังกะสีเพิ่มมากขึ้นดังที่กล่าวมาแล้ว แต่น้อยกว่าชุดทดลองที่ 1*** โดยการทดลองที่สังกะสี 0, 11, 24, 38 และ 47 มก./ล. มีการสะสมสังกะสีเป็น 1073, 1109, 979, 1060 และ 963 มก./วัน ตามลำดับ เมื่อเกิดภาวะช็อกการสะสมของสังกะสีในระบบเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งเกิดจากการสะสมสังกะสีในเซลล์และการตกตะกอนของสังกะสีคาร์บอเนต(ΔX เป็นบวก) ในขณะเดียวกัน*ปริมาณสังกะสีที่ระบายออกจากระบบเพิ่มขึ้นสูงเช่นกันเนื่องจากฟล็อกหรือเซลล์จุลชีพไม่สามารถดึงและสะสมสังกะสีที่เพิ่มในปริมาณมากอย่างทันทีไว้ได้ทันเนื่องจากฟล็อกมีอัตราการดูดซับที่ต่ำกว่าอัตราการป้อนสังกะสีเข้าสู่ระบบดังที่กล่าวมาแล้ว*

4.2.17.2 การฟื้นตัว

การวัดความเข้มข้นสังกะสีโดยเฉลี่ยในระบบของช่วงการฟื้นตัวต่างจากการวัดที่สถานะคงตัว โดยทำการวัดสังกะสีในระบบของชุดควบคุมด้วย ยกเว้นในน้ำเสียเท่านั้นซึ่งพบว่าการทดลองที่สังกะสีในน้ำเสีย 0, 12, 25, 32 และ 52 มก./ล. ของเหลวผสมของถังแอน็อกซิก

มีค่าสังกะสีเท่ากับ 98 , 159, 177, 184และ 194 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากของเหลวผสมของถังแอนีอกซิกมีค่าสังกะสีเท่ากับ 0.5, 0.5, 0.2, 0.3 และ 0.3 มก./ล. ตามลำดับ ของเหลวผสมของถังออกซิกมีค่าสังกะสีเท่ากับ 110, 164, 178, 183 และ 196 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากของเหลวผสมของถังออกซิกมีค่าสังกะสีเท่ากับ 0.2, 0.3, 0.1, 0.2 และ 0.2 มก./ล. ตามลำดับ ในน้ำทิ้งมีค่าสังกะสีเท่ากับ 0.9, 0.3, 0.3, 0.4 และ 1.4 มก./ล. ตามลำดับ น้ำส่วนที่กรองจากน้ำทิ้งมีค่าสังกะสีเท่ากับ 0.5, 0.3, 0.1, 0.2 และ 0.2 มก./ล. ตามลำดับ และความเข้มข้นของสังกะสีในสลัดจ์ที่จมตัวอยู่ในถังตกตะกอนมีค่ามีค่าสังกะสีเท่ากับ 176, 253, 284, 293 และ 298 มก./ล. ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 4-93 กราฟในรูปที่ 4-36

ผลการทดลองพบว่า***ของเหลวผสมในถังแอนีอกซิกและถังออกซิกมีความเข้มข้นของสังกะสีมากกว่าที่สถานะคงตัว ซึ่งเกิดจากปริมาณสังกะสีที่มีจำนวนมากจากช่วงช็อกยังคงสะสมในระบบ ในขณะที่น้ำส่วนที่กรองได้มีความเข้มข้นสังกะสีลดลงใกล้เคียงกับที่สถานะคงตัว แสดงว่าระบบสามารถฟื้นตัวได้สมบูรณ์แล้วภายใน 10 ถึง 12 วัน*** ส่วนในน้ำทิ้งนั้นค่าสังกะสีที่วัดได้มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม(ประเทศไทย)ที่กำหนดไว้

เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนของสังกะสี(กรัม)ต่อเอ็มแอลเอสเอส(กรัม)พบว่าที่การฟื้นตัวการสะสมของสังกะสีในเอ็มแอลเอสเอสจะมีค่าน้อยกว่าที่ภาวะช็อกแต่เพิ่มมากขึ้นกว่าช่วงสถานะคงตัว ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสังกะสีที่มีจำนวนมากจากช่วงช็อกยังคงสะสมในระบบหรือยังไม่ถูกชะล้างออกไปจากเซลล์จนหมดดังที่กล่าวมาแล้ว โดยการทดลองที่สังกะสี 0, 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ในถังแอนีอกซิกมีอัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสคิดเป็นร้อยละ 2.3, 3.8, 3.9, 4.1 และ 4.3 ตามลำดับ และในถังออกซิกคิดเป็นร้อยละ 3.0, 4.2, 4.3, 4.4 และ 5.6 ตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ในตารางที่ 4-94 ซึ่งจะเห็นว่ามีการสะสมสังกะสีเพิ่มมากขึ้นในถังออกซิก

และจากการดุลมวลสังกะสีพบว่า***เมื่อระบบอยู่ในช่วงการฟื้นตัวปริมาณสังกะสีที่ออกจากระบบมีค่ามากกว่าปริมาณสังกะสีที่เข้าสู่ระบบ***(ยกเว้นการทดลองที่สังกะสี 52 มก./ล.ซึ่งจากการคำนวณมีการสะสมสังกะสี 10 มก./วัน) โดยมีอัตราการชะล้างสังกะสีออกจากเซลล์ที่การทดลองสังกะสี 12 , 25 และ 32 มก./ล. มีค่าเป็น 176 , 119 , 85 มก./วัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-95 ที่เป็นเช่นนี้***เนื่องจากระบบมีการสะสมสังกะสีปริมาณมากในช่วงเกิดภาวะช็อก ช่วงนี้จึงเกิดการระบายสังกะสีส่วนเกินออกจากระบบ***เพื่อปรับตัวเข้าสู่สถานะคงตัวอีกครั้ง ซึ่งถ้าพิจารณาการฟื้นตัวของระบบโดยใช้พารามิเตอร์นี้แล้วจะพบว่าระบบยังไม่ฟื้นตัว ส่วนการทดลองที่สังกะสี 52 มก./ล. คาดว่าระบบมีการคายสังกะสีจนเข้าสู่สถานะคงตัว (Δx เป็นศูนย์) แล้วและในช่วงเวลาที่ทำการเก็บผลการทดลองระบบเริ่มมีการสะสมสังกะสีอีกครั้ง

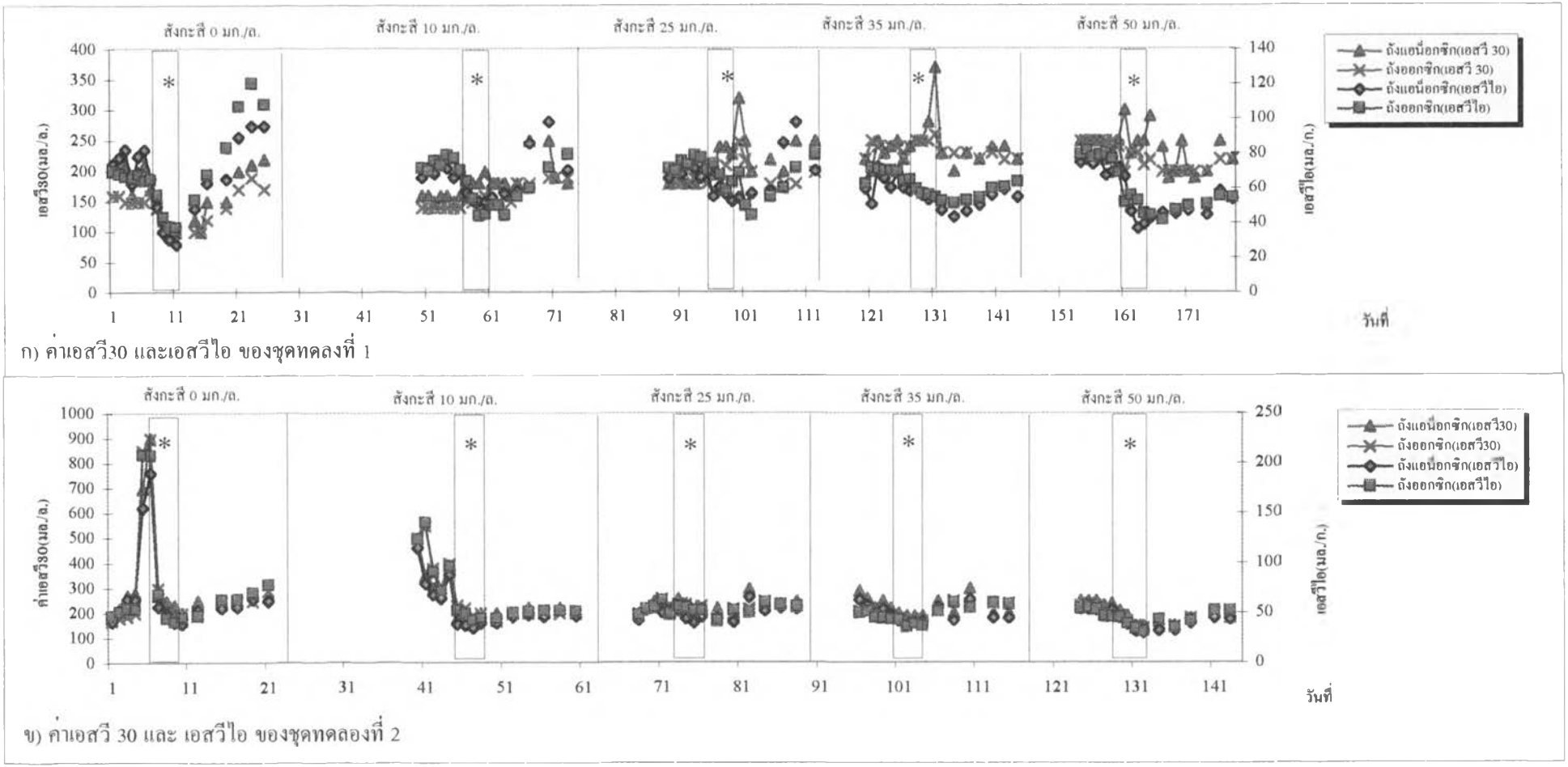
4.3 เปรียบเทียบผลของสังกะสีที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆของชุดทดลองที่ 1 และ ชุดทดลองที่ 2

ชุดทดลองที่ 1 และ 2 มีอัตราส่วนของซีโอดีต่อสังกะสีอยู่ในช่วง 10 ถึง 50 กรัม/กรัม (500:50 ถึง 500:10) และ 70 ถึง 350 กรัม/กรัม(3500:50 ถึง 3500:10) ตามลำดับ เมื่อนำผลการทดลองของชุดทดลองทั้ง 2 ชุดมาเปรียบเทียบกันได้ผลสรุปดังนี้
(หมายเหตุ : จากกราฟในรูปที่ 4-39ถึง 4-54จะพบว่ามีบางช่วงไม่มีข้อมูลในกราฟเนื่องจากในช่วงนั้นเป็นช่วงการเริ่มเดินระบบของการทดลองถัดไปและยังไม่เข้าสู่สถานะคงตัวจึงยังไม่มีการเก็บผลการทดลอง)

4.3.1 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าเอสวี 30 และค่าเอสวีไอ

การแปรค่าสังกะสีในน้ำป้อนสูงถึง 50 มก./ล. มีผลทำให้*การจมตัวของสลัดจ์ของชุดทดลองที่ 2 ดีขึ้นอย่างชัดเจนโดยค่าเอสวี30 ของระบบลดลง ในขณะเดียวกันมีผลทำให้ค่าเอสวี30 ของชุดทดลองที่ 1 เพิ่มขึ้น* ทั้งนี้เนื่องจาก*ชุดทดลองที่ 2 มีอัตราส่วนของซีโอดีต่อสังกะสีในอัตราที่สูง อัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณสังกะสีเซลล์ในระบบจึงสามารถดูดซับสังกะสีได้มากขึ้นทำให้การตกตะกอนเร็วขึ้นค่าเอสวี 30 จึงลดลง* และเมื่อพิจารณาค่าเอสวีไอของชุดทดลองที่ 1 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากอัตราการเพิ่มของเอ็มแอลเอสเอสมีค่าใกล้เคียงกับการเพิ่มของค่าเอสวี 30 ส่วนชุดทดลองที่ 2 นั้น ค่าเอสวีไอลดลงเนื่องจากสลัดจ์มีความหนาแน่นมากขึ้น และเมื่อเกิดภาวะช็อกมีผลทำให้การจมตัวของสลัดจ์ของทั้ง 2 ชุดทดลองดีขึ้นโดยเฉพาะชุดควบคุม และเมื่อระบบฟื้นตัวค่าเอสวี 30 ของทั้ง 2 ชุดทดลองมีค่ามากขึ้นและใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัวหลังจากที่ลดลงขณะเกิดภาวะช็อกในก่อนหน้านี้ เนื่องจากในช่วงนี้ระบบไม่มีสังกะสีเข้าสู่ระบบทำให้น้ำหนักของสลัดจ์ลดลงหลังจากที่เพิ่มขึ้นในช่วงช็อก ส่วนการทดลองอื่นๆนั้นค่าเอสวี 30 ยังคงใกล้เคียงกับช่วงช็อกระบบเนื่องจากระบบยังคงมีสังกะสีป้อนเข้าสู่ระบบ

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.2 และ 4.2.2 และกราฟแสดงผลการทดลองของค่าเอสวี 30 และค่าเอสวีไอของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-39



* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-39 ผลการทดลองค่าเอสวี30 และ เอสวีไอ ของชุดทดลองที่ 1 และ 2

4.3.2 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง และเอ็มแอลเอสเอส

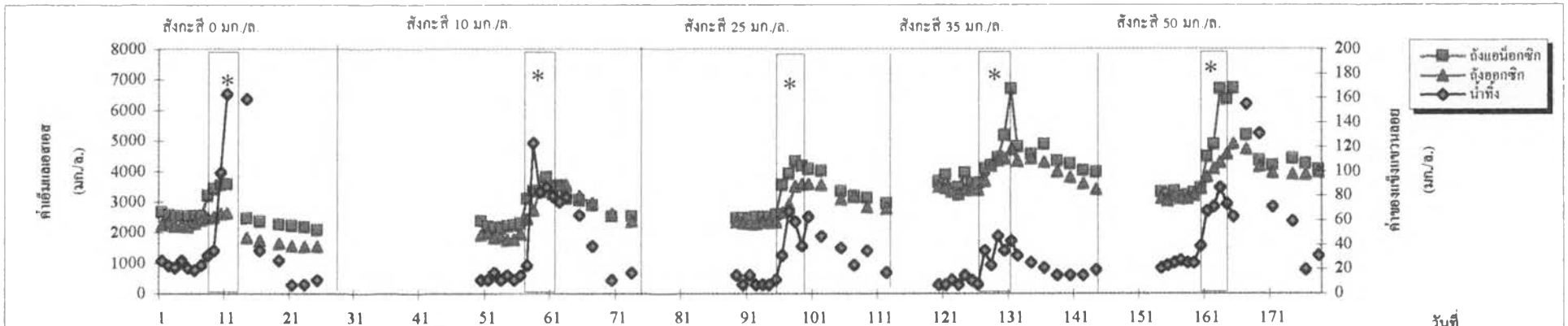
ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 1 มีค่าลดลง เมื่อแปรค่าสังกะสีตั้งแต่ 0 ถึง 35 มก./ล. และการทดลองที่สังกะสี 50 มก./ล. ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งกลับมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันการแปรค่าสังกะสีถึง 50 มก./ล. ไม่มีผลต่อค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 2 และเมื่อเกิดภาวะช็อกมีผลทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของทั้ง 2 ชุดทดลองมีค่ามากขึ้น เนื่องจากสังกะสีมีผลต่อการลดการสร้างฟล็อก สุดท้ายเมื่อระบบอยู่ในช่วงการฟื้นตัวพบว่าชุดทดลองที่ 2 ฟื้นตัวได้ดีกว่า

ส่วนค่าเอ็มแอลเอสเอสของชุดทดลองที่ 1 มีค่าน้อยกว่าชุดทดลองที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากค่าซีโอดีที่เข้าสู่ระบบของชุดทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่าและระบบมีค่าเอชอาร์ทีที่สูงกว่า และ***เมื่อมีการแปรค่าสังกะสีเข้าสู่ระบบพบว่า ค่าเอ็มแอลเอสเอสของทั้ง 2 ชุดทดลองมีค่ามากขึ้นโดยแปรตามความเข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้น และชุดทดลองที่ 1 มีอัตราการเพิ่มที่มากกว่า เนื่องจากอัตราการป้อนของสังกะสีของชุดทดลองนี้ต่ออัตราการป้อนซีโอดีมีค่าสูงกว่าชุดทดลองที่ 2 มาก*** และเมื่อเกิดภาวะช็อกพบว่าค่าเอ็มแอลเอสเอสในระบบของทั้ง 2 ชุดทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมีปริมาณสังกะสีเข้าสู่ระบบมากขึ้น สุดท้ายเมื่อระบบในช่วงการฟื้นตัวชุดทดลองที่ 2 สามารถฟื้นตัวได้ดีกว่าชุดทดลองที่ 1ซึ่งยกเว้นชุดควบคุมเท่านั้น

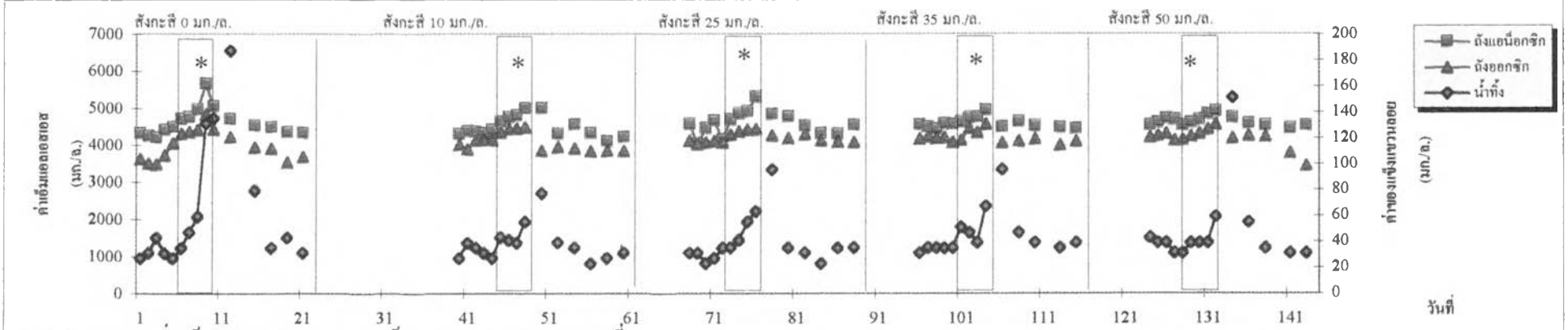
รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.3 และ 4.2.3 และกราฟแสดงผลการทดลองของค่าของแข็งแขวนลอยและเอ็มแอลเอสเอสของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-40

4.3.3 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าโอออาร์พี

จากผลการทดลองพบว่าค่าโอออาร์พีในถังแอน็อกซิกและถังออกซิกของชุดลองที่ 1 มีมากกว่าชุดทดลองที่ 2 ทุกการทดลอง เนื่องจากลักษณะน้ำเสียที่ต่างกันของทั้ง 2 ชุดทดลอง ซึ่ง***ชุดทดลองที่ 2 มีค่าซีโอดีสูงกว่าจึงมีอัตราการใช้ออกซิเจนมากกว่า และเมื่อเกิดภาวะช็อกมีผลต่อค่าโอออาร์พีในถังแอน็อกซิกของทั้ง 2 ชุดทดลอง โดยค่าโอออาร์พีมีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งชุดทดลองที่ 1 มีอัตราการเพิ่มมากกว่า***ทั้งนี้เป็น***เพราะชุดทดลองที่ 1 มีอัตราส่วนของซีโอดีต่อสังกะสีน้อยกว่าชุดทดลองที่ 2*** ฉะนั้นการช็อกระบบจึงมีผลต่อชุดทดลองที่ 1 มากกว่าชุดทดลองที่ 2 สำหรับพารา



ก ค่าเอ็มแอลเอสเอส และ ค่าของแข็งแขวนลอยของชุดทดลองที่ 1



ข) ผลการทดลองค่าเอ็มแอลเอสเอสและของแข็งแขวนลอยของชุดทดลองที่ 2

* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-40 ผลการทดลองค่าเอ็มแอลเอสเอสและของแข็งแขวนลอย ของชุดทดลองที่ 1 และ 2

มิเตอร์นี้ สุดท้ายเมื่อระบบอยู่ในช่วงการฟื้นตัวพบว่าทั้ง 2 ชุดทดลองมีระยะการฟื้นตัวที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นชุดควบคุมของชุดทดลองที่ 2 เทานั้น ที่มีระยะเวลาการฟื้นตัวที่เร็วกว่าการทดลองอื่นๆ มาก

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.4 และ 4.2.4 และกราฟแสดงผลการทดลองของค่าโออาร์พีของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-41

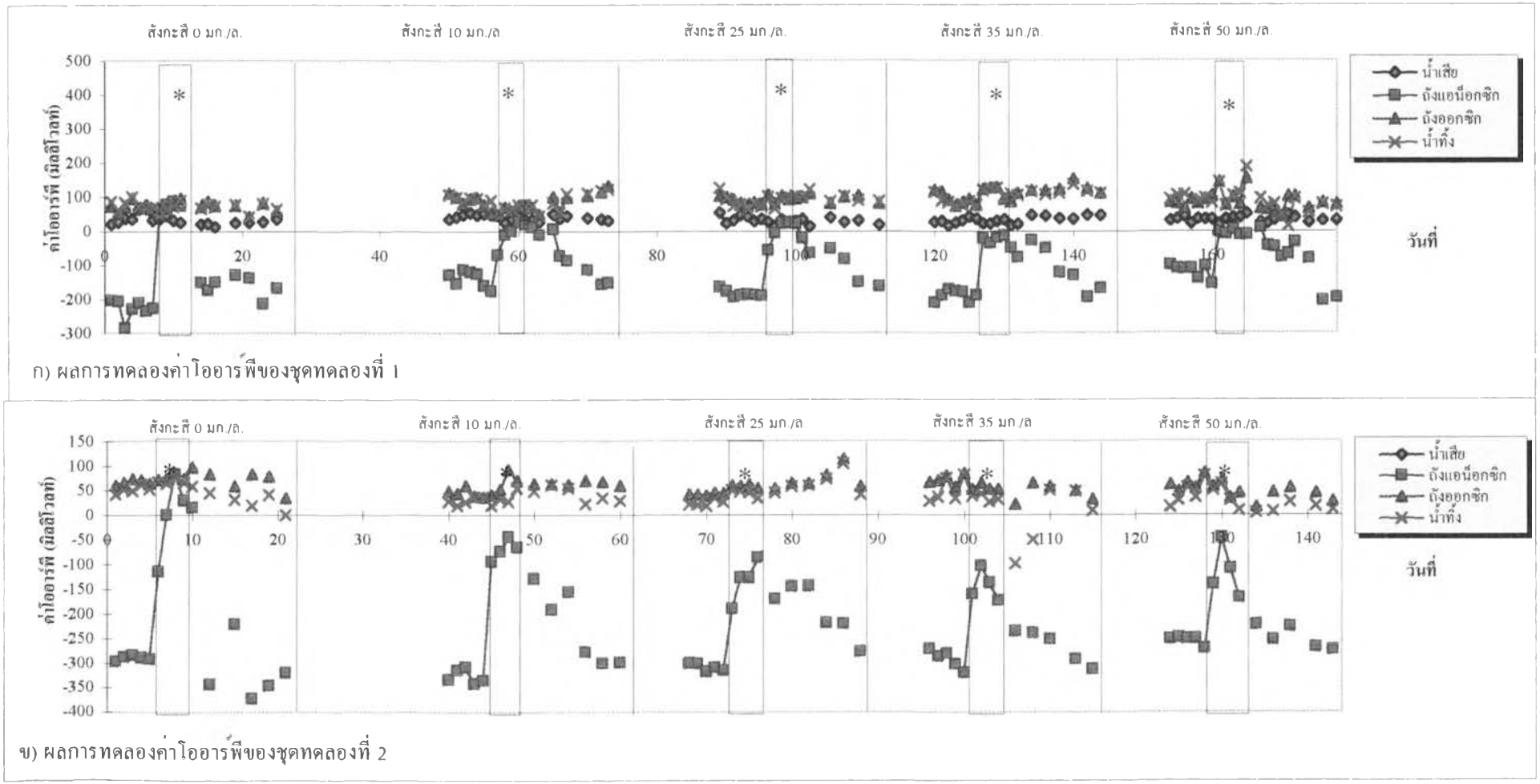
4.3.4 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำ

เมื่อแปรค่าสังกะสีถึง 50 มก./ล. พบว่าไม่มีผลต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำในถังแอน็กซิกของทั้ง 2 ชุดทดลอง ส่วนในถังออกซิกพบว่ามีผลบ้างแต่ไม่ชัดเจนเนื่องจากมีผลกระทบจากการที่ไม่สามารถควบคุมอัตราการการเติมอากาศของเครื่องที่แม่นยำได้ และเมื่อระบบเกิดภาวะช็อกค่าออกซิเจนละลายน้ำในถังออกซิกของทั้ง 2 ชุดทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะชุดควบคุมของชุดทดลองที่ 1 ค่าออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้นมากที่สุดโดยเพิ่มทั้งในถังแอน็อกซิกและถังออกซิก สำหรับระยะเวลาการฟื้นตัวของพารามิเตอร์นี้ชุดทดลองที่ 1 ต้องใช้เวลามากกว่า ชุดทดลองที่ 2 มาก

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.5 และ 4.2.5และกราฟแสดงผลการทดลองของค่าออกซิเจนละลายน้ำของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-42

4.3.5 ผลของสังกะสีที่มีต่ออัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ

การแปรค่าสังกะสีถึง 50 มก./ล. พบว่าไม่มีผลต่ออัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของทั้ง 2 ชุดทดลอง และ***เมื่อนำอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 ในแต่ละการทดลองมาเปรียบเทียบกับของชุดทดลองที่ 2 พบว่ามีค่าน้อยกว่าทุกการทดลอง เนื่องจากชุดทดลองที่ 2 มีอัตราสารอาหารต่อมวลจุลชีพที่สูงกว่าชุดทดลองที่ 1 ทำให้ระบบมีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่มากกว่า*** ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Daukss และ คณะ (1994) และเมื่อเกิดภาวะช็อกอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของทุกการทดลองมีค่าลดลงทั้ง 2 ชุด ซึ่งอัตราการลดลงของชุดทดลองที่ 2 น้อยกว่าชุดทดลองที่ 1 เนื่องจากชุดทดลองที่ 2 มีอัตราส่วนของซีโอดีต่อ

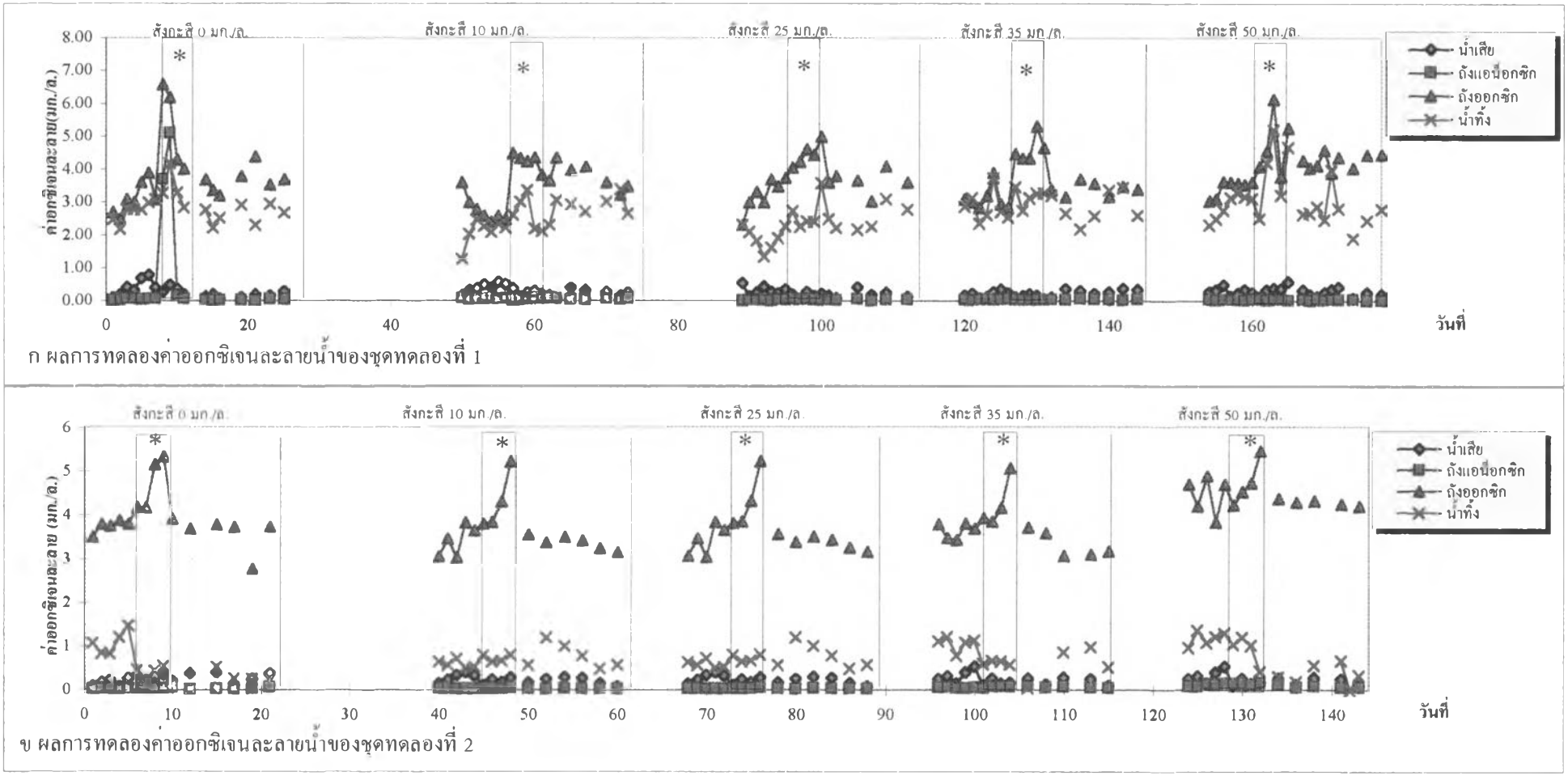


ก) ผลการทดลองค่าโออาร์พีของชุดทดลองที่ 1

ข) ผลการทดลองค่าโออาร์พีของชุดทดลองที่ 2

* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-41 ผลการทดลองของค่าโออาร์พีของชุดทดลองที่ 1 และ 2



* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-42 ผลการทดลองค่าออกซิเจนละลายน้ำของการทดลองชุดที่ 1 และ 2

สังกะสีสูงกว่าจึงได้รับผลกระทบจากการช็อกระบบน้อยกว่า และชุดทดลองที่ 2 สามารถฟื้นตัวได้เร็วกว่าชุดทดลองที่ 1 เมื่อระบบฟื้นตัวแล้วพบว่าชุดทดลองที่ 2 มีอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่สูงกว่าช่วงสถานะคงตัว

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.6 และ 4.2.6 และกราฟแสดงผลการทดลองของค่าออกซิเจนละลายน้ำของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-43

4.3.6 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าพีเอช

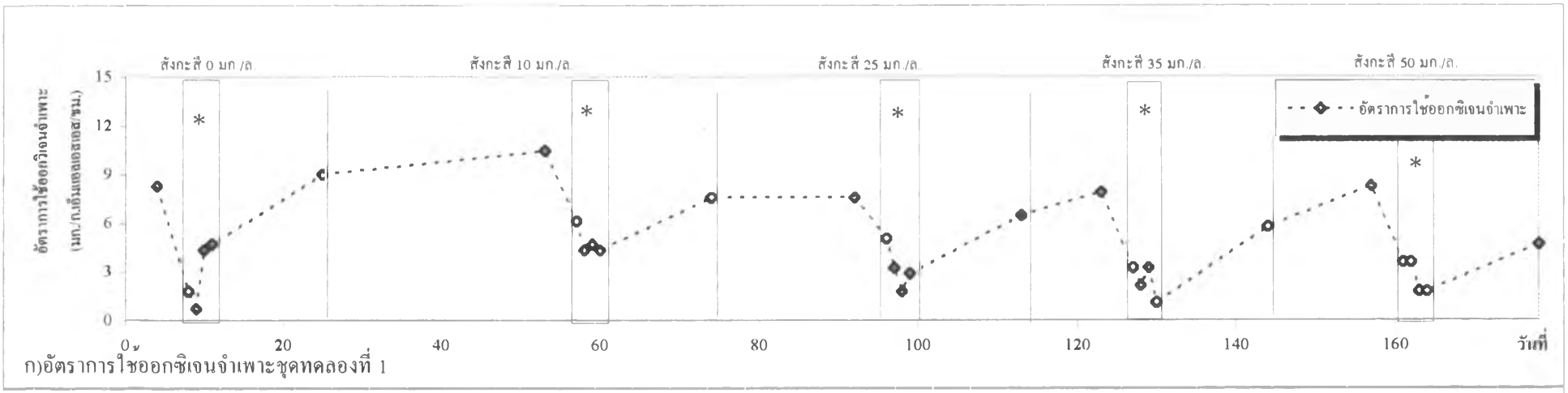
ค่าพีเอชในถังแอน็อกซิกของทุกการทดลองของทั้ง 2 ชุดทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนในถังออกซิกพบว่าค่าพีเอชของชุดทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่าเนื่องจากการมีสภาพด่างที่สูงกว่า และเมื่อเกิดภาวะช็อกพบว่าค่าพีเอชในระบบของทั้ง 2 ชุดทดลองลดลงเนื่องจากน้ำเสียมีค่าพีเอชลดลง และเมื่อนำค่าพีเอชของชุดทดลองที่ 1 มาเปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ 2 พบว่ามีอัตราการลดมากกว่าทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสังกะสีที่เข้าสู่ระบบของชุดทดลองที่ 1 มีมากกว่าชุดทดลองที่ 2 ในปริมาณมาก ส่วนระยะการฟื้นตัวของทั้ง 2 ชุดทดลองใช้เวลาใกล้เคียงกัน

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.7 และ 4.2.7และกราฟแสดงผลการทดลองของค่าพีเอชของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-44

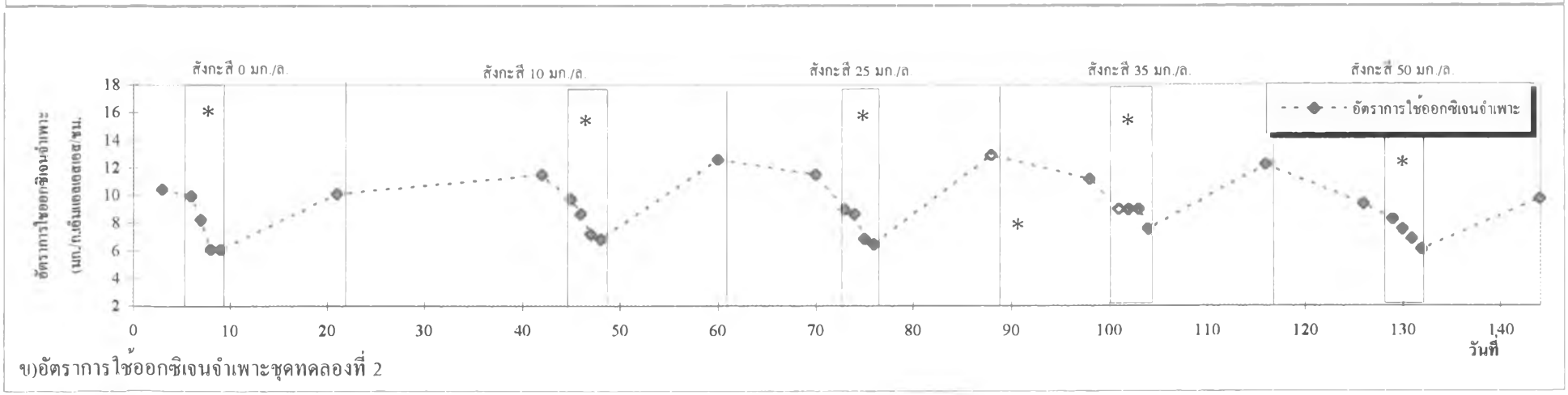
4.3.7 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าสภาพด่าง

จากการดุลมวลค่าสภาพด่างในถังแอน็อกซิกพบว่า ปริมาณสภาพด่างที่ได้จากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันมีค่าลดลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่มมากขึ้นทั้ง 2 ชุดทดลอง ส่วนในถังออกซิกปริมาณสภาพด่างที่หายไปเนื่องจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันลดน้อยลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่มมากขึ้นทั้ง 2 ชุดทดลองเช่นกัน และเมื่อเกิดภาวะช็อกพบว่าค่าสภาพด่างของทั้ง 2 ชุดทดลองลดลงทั้งระบบ และในช่วงการฟื้นตัวพบว่าชุดทดลองที่ 1 ต้องใช้เวลามากกว่าชุดทดลองที่ 2

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.8 และ 4.2.8และกราฟแสดงผลการทดลองของค่าสภาพด่างของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-45



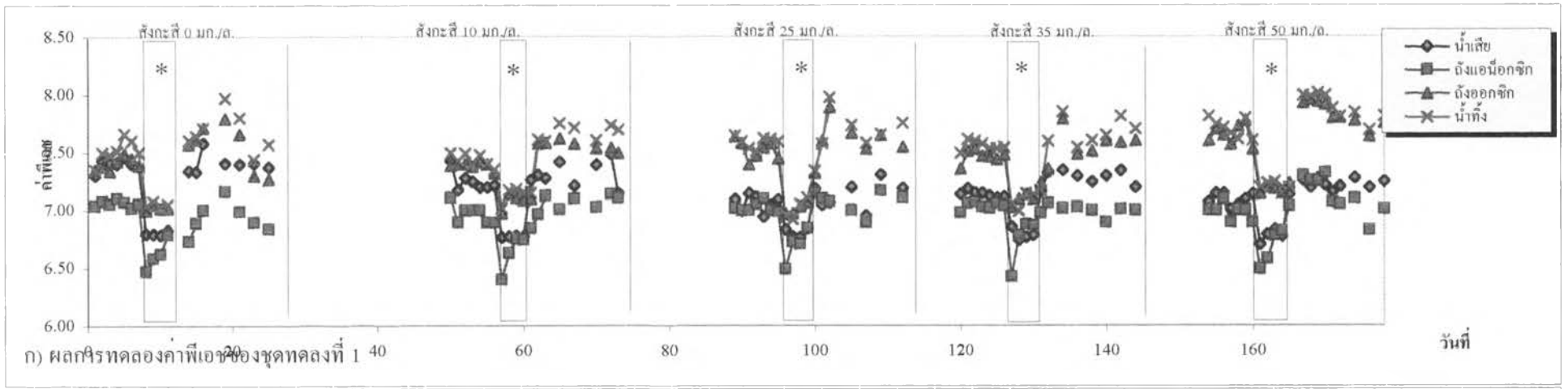
ก)อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะชุดทดลองที่ 1



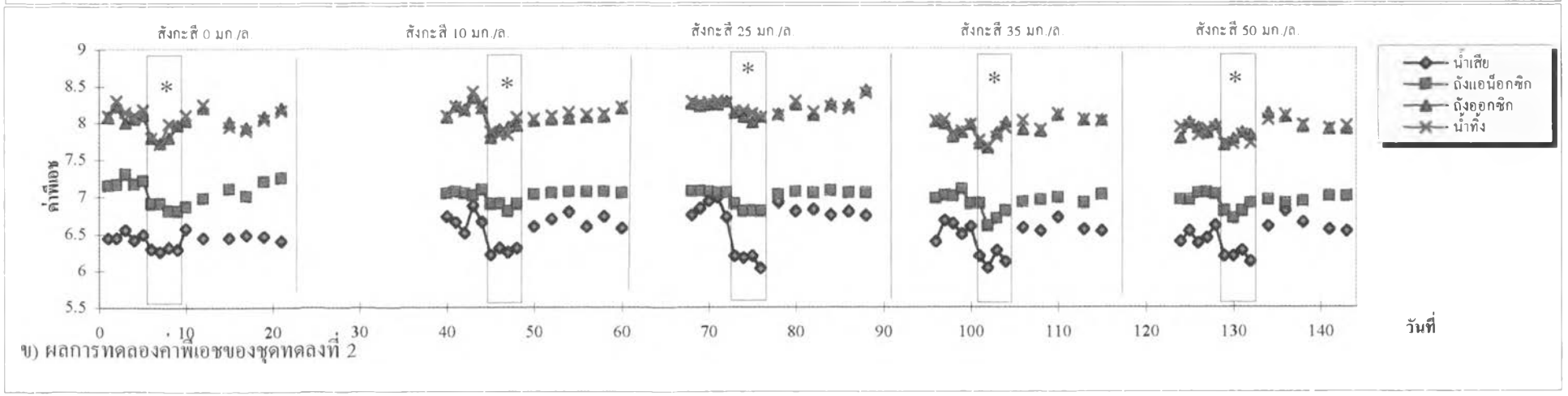
ข)อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะชุดทดลองที่ 2

* = ภาวะชื่อก

รูปที่ 4-43 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 และ 2



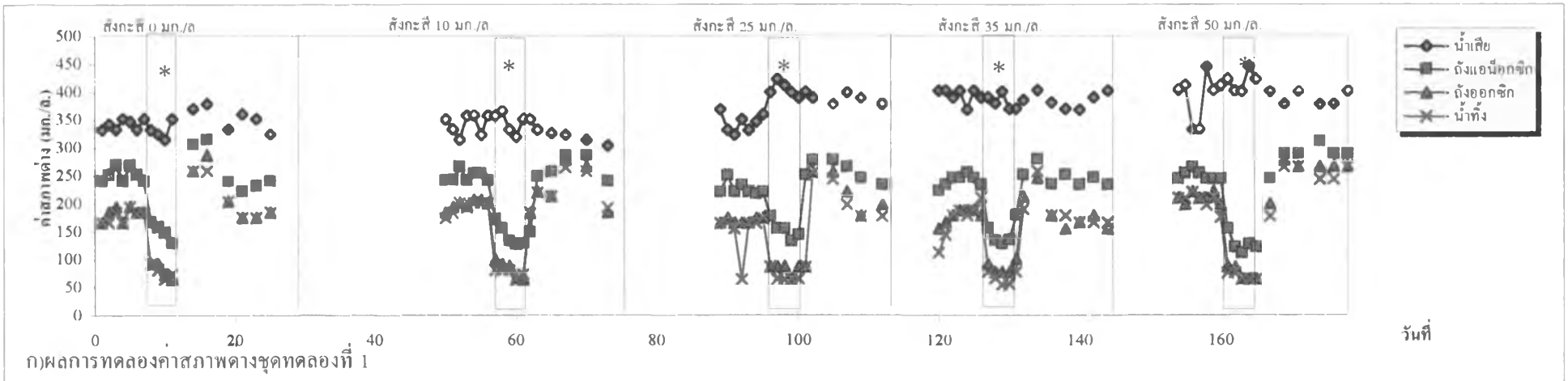
ก) ผลการทดลองค่าพีเอชของชุดทดลองที่ 1



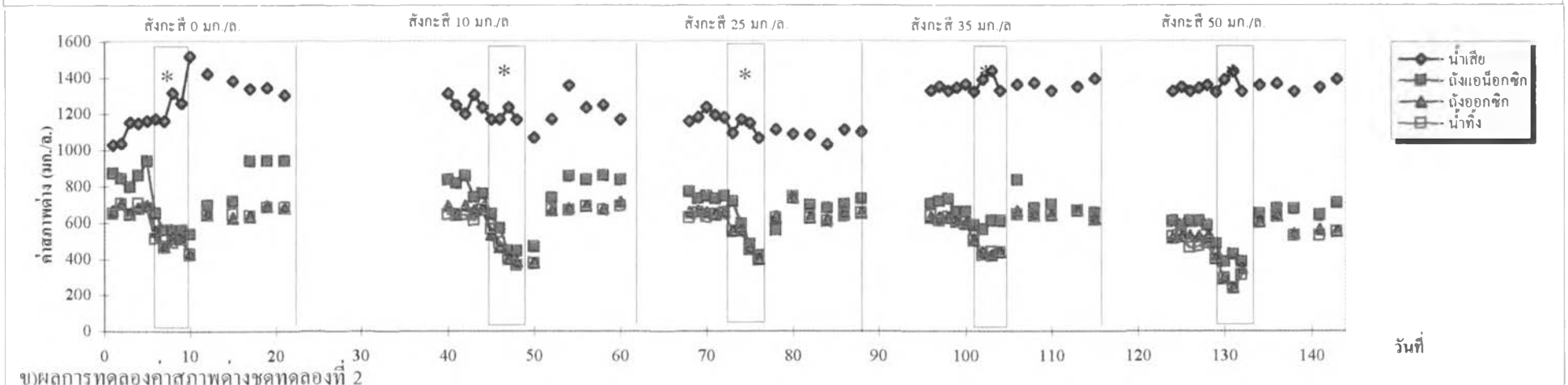
ข) ผลการทดลองค่าพีเอชของชุดทดลองที่ 2

* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-44 ผลการทดลองค่าพีเอชของชุดทดลองที่ 1 และ 2



ก)ผลการทดลองค่าสภาพด่างชุดทดลองที่ 1



ข)ผลการทดลองค่าสภาพด่างชุดทดลองที่ 2

* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-45 ผลการทดลองค่าสภาพด่างของชุดทดลองที่ 1 และ 2

4.3.8 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าซีโอดี

การแปรค่าสังกะสีถึง 50 มก./ล. ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองของระบบของทั้ง 2 ชุดทดลอง เมื่อเกิดภาวะช็อกพบว่าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองของชุดทดลองที่ 1 ยกเว้นชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองลดลงอย่างมาก ส่วนชุดทดลองที่ 2 พบว่าการช็อกระบบมีผลต่อทุกการทดลองในการลดประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองเล็กน้อย ***ฉะนั้นการช็อกระบบมีผลต่อคารบอนแบกทีเรียของชุดทดลองที่ 2 มากกว่าชุดทดลองที่ 1*** (ยกเว้นชุดควบคุม) เนื่องจากชุดทดลองที่ 2 มีปริมาณซีโอดีเข้าสู่ระบบมากว่าชุดทดลองที่ 1 เมื่อระบบมีอัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะและอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะลดลงจึงมีผลต่อการกำจัดซีโอดีกรองที่ชัดเจนมากกว่า การสังเกตการฟื้นตัวของระบบจึงใช้ค่าซีโอดีทั้งหมดในน้ำทิ้งเป็นเกณฑ์ซึ่งพบว่าทั้ง 2 ชุดทดลองใช้เวลาที่ใกล้เคียงกัน

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.9 และ 4.2.9และกราฟแสดงผลการทดลองของค่าซีโอดีของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-46

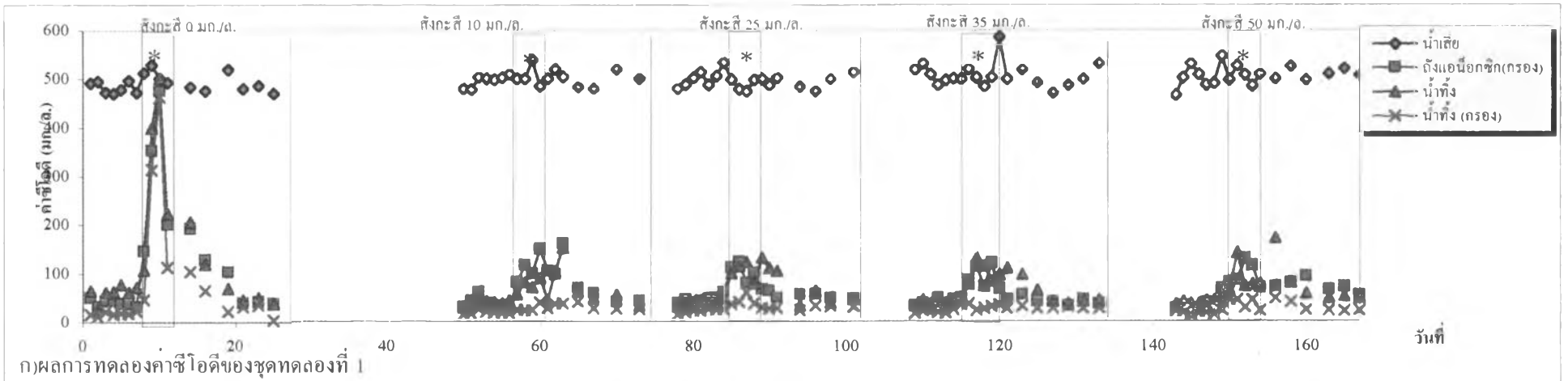
4.3.9 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าไนไทรต์

การทดลองที่สังกะสี 50 มก./ล. มีผลต่อไนตริฟายเออร์ของชุดทดลองที่ 1 โดยค่าไนไทรต์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนชุดทดลองที่ 2 นั้น เมื่อแปรค่าสังกะสีมากขึ้นค่าไนไทรต์ในถังออกซิกกลับมีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจากแบกทีเรียพวกไนโตรแบกเทอร์ของชุดทดลองนี้มีการปรับตัวช้ากว่าชุดทดลองที่ 1 มาก เมื่อเกิดภาวะช็อกค่าไนไทรต์ในถังออกซิกมีค่าลดลงเนื่องจากไนตริฟายเออร์ถูกยับยั้งการทำงานและเมื่อเข้าสู่ช่วงการฟื้นตัวพบว่าชุดทดลองที่ 1 ใช้เวลามากกว่าชุดทดลองที่ 2

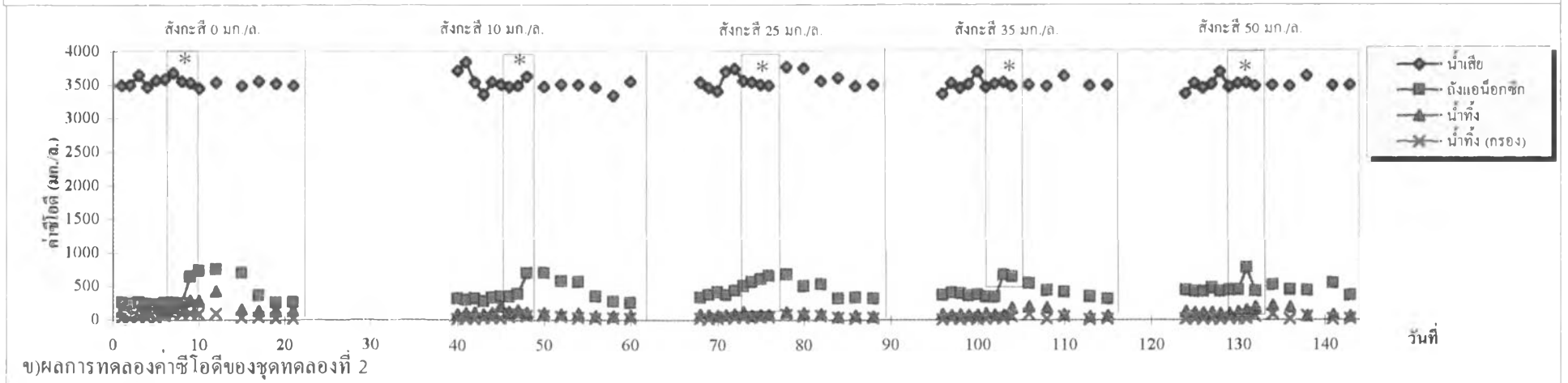
รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.10 และ 4.2.10และกราฟแสดงผลการทดลองของค่าไนไทรต์ของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-47

4.3.10 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าไนเทรต

ค่าไนเทรตภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 มีแนวโน้มที่จะมากขึ้นตามความ



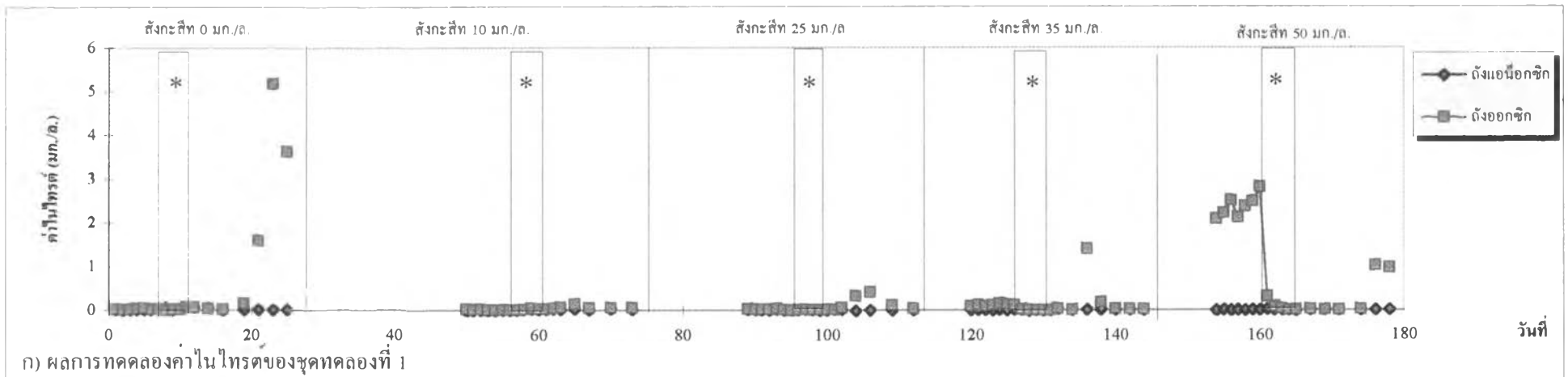
ก)ผลการทดลองค่าซีโอดีของชุดทดลองที่ 1



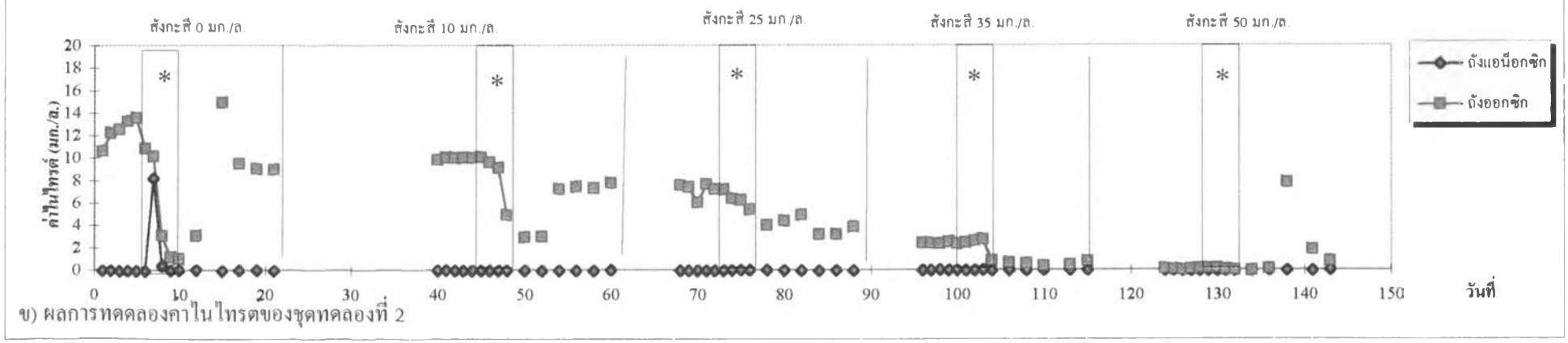
ข)ผลการทดลองค่าซีโอดีของชุดทดลองที่ 2

* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-46 ผลการทดลองค่าซีโอดีของชุดทดลองที่ 1 และ2



ก) ผลการทดลองค่าไนไทรต์ของชุดทดลองที่ 1



ข) ผลการทดลองค่าไนไทรต์ของชุดทดลองที่ 2

* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-47 ผลการทดลองค่าไนไทรต์ของชุดทดลองที่ 1 และ 2

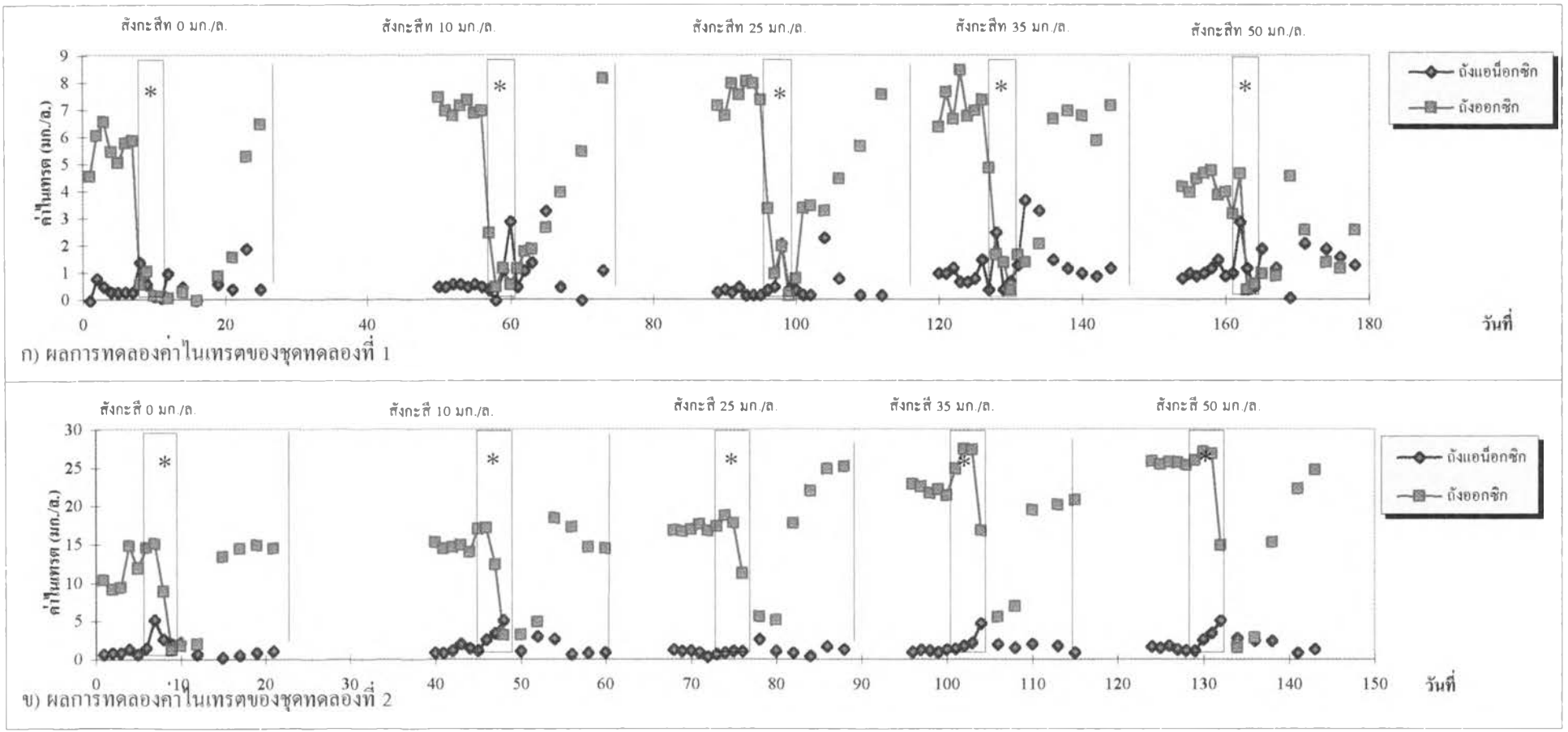
เข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้น (อัตราดีไนตริฟิเคชันลดลง) ยกเว้นการทดลองที่สังกะสี 50 มก./ล. ค่าไนเทรตกลับมีค่าลดลงเนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแอมโมเนียมให้เป็นไนไทรต์และไนเทรตลดลง ส่วนชุดทดลองที่ 2 ค่าไนเทรตภายในถังออกซิกมีค่ามากขึ้นตามความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน 1 แต่เป็นผลเนื่องจากอัตราดีไนตริฟิเคชันที่ลดลงและระบบมีอัตราการเปลี่ยนไนไทรต์เป็นไนเทรตมากขึ้นประกอบกัน และจากผลการทดลองจะพบว่าค่าไนเทรตภายในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่าชุดทดลองที่ 1 เนื่องจากค่าทีเคเอ็นที่เข้าสู่ระบบของชุดทดลองที่ 2 มีมากกว่าชุดทดลองที่ 1 เมื่อเกิดภาวะช็อกค่าไนเทรตภายในระบบลดลงทั้ง 2 ชุดทดลอง เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบถูกยับยั้ง และเมื่อระบบมีกรฟื้นตัวพบว่าชุดทดลองที่ 2 สามารถฟื้นตัวได้ดีกว่าชุดทดลงที่ 1

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.11 และ 4.2.11และกราฟแสดงผลการทดลองของค่าไนเทรดของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-48

4.3.11 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าแอมโมเนีย

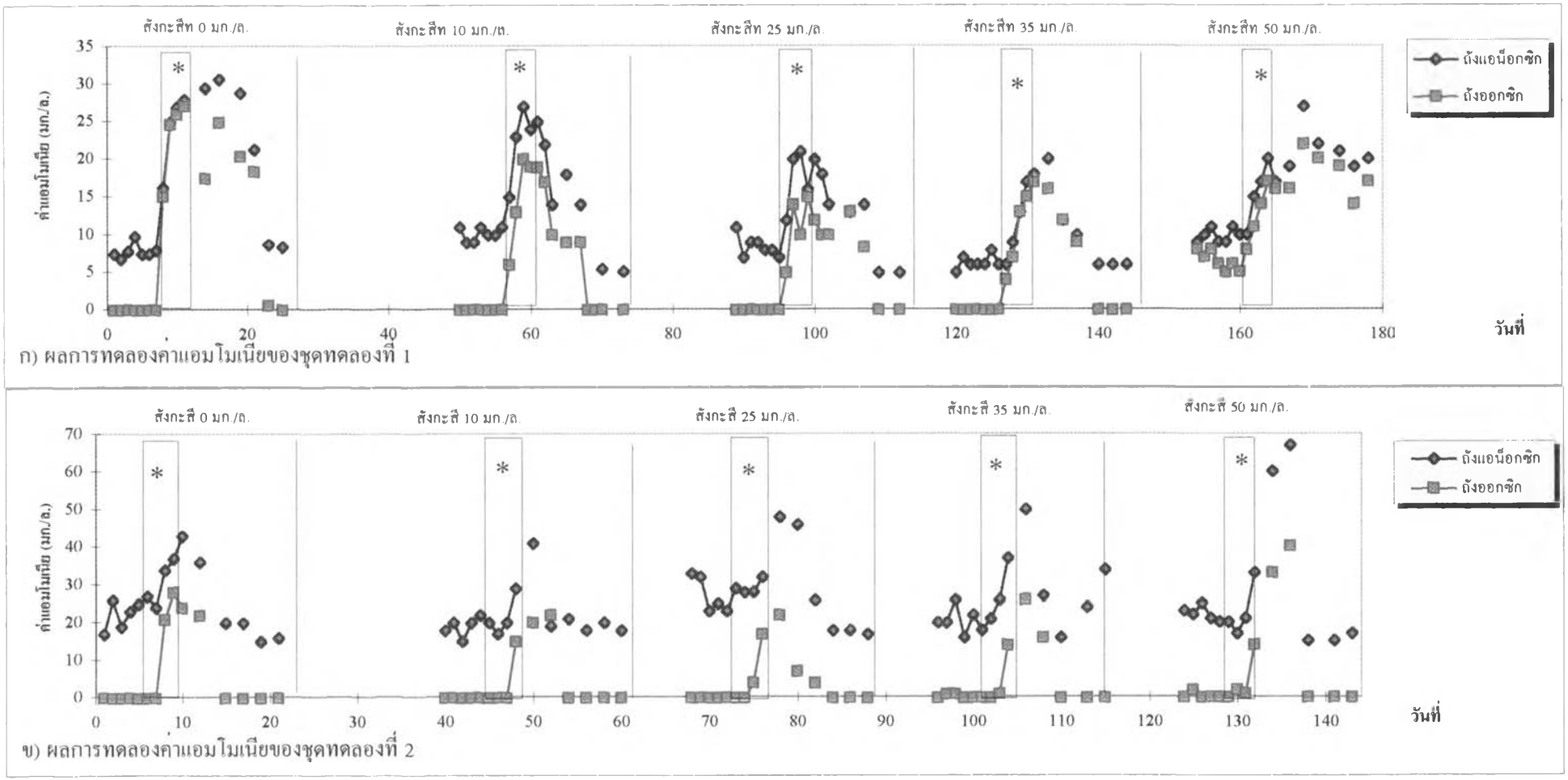
จากผลการทดลองพบว่าการแปรค่าสังกะสีถึง 50 มก./ล. ไม่มีผลต่อค่าแอมโมเนียในถังออกซิกของทั้ง 2 ชุดทดลอง (แอมโมเนียถูกใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชันจนหมด) ยกเว้นการทดลองที่สังกะสี 50 มก./ล. ของชุดทดลองที่ 1 ที่ค่าแอมโมเนียเพิ่มขึ้นอย่างมาก แสดงถึง ***สังกะสีที่ 50 มก./ล.มีผลต่อการทำงานของไนโตรโซโมนัสในชุดทดลองที่ 1*** และเกิดภาวะช็อก พบว่าค่าแอมโมเนียในระบบของทั้ง 2 ชุดทดลองมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยชุดทดลองที่ 1 แอมโมเนียในถังออกซิกจะเพิ่มทันทีที่เกิดการช็อก ส่วนชุดทดลองที่ 2 ค่าแอมโมเนียในถังออกซิกจะเพิ่มขึ้นเมื่อช็อกระบบเป็นวันที่ 3 แสดงถึงการช็อกระบบมีผลต่อไนตริฟายเออร์ของชุดทดลองที่ 1 มากกว่าชุดทดลองที่ 2 ***ทั้งนี้เป็นเพราะเอ็มแอลเอสเอสของชุดทดลองที่ 2 มีมากกว่าชุดทดลองที่ 1 จึงสามารถทนต่อภาวะช็อกได้ดีกว่า*** และอาจเกิดจากปริมาณสังกะสีที่เข้าสู่ระบบของชุดทดลองที่ 1 มีมากกว่าชุดทดลองที่ 2 ด้วยเช่นกัน ในช่วงการฟื้นตัวพบว่าชุดทดลองที่ 2 สามารถฟื้นตัวได้ดีกว่าชุดทดลองที่ 1

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.12 และ 4.2.12และกราฟแสดงผลการทดลองของค่าแอมโมเนียของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-49



* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-48 ผลการทดลองค่าไนเทรตของชุดทดลองที่ 1 และ 2



* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-49 ผลการทดลองของค่าแอมโมเนียของชุดทดลองที่ 1 และ 2

4.3.12 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าทีเคเอ็น

จากผลการทดลองพบว่าทั้ง 2 ชุดทดลองมีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นการทดลองที่สังกะสี 50 มก./ล. ของชุดทดลองที่ 1 ที่พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นได้ลดต่ำลงอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากชุดทดลองที่ 1 มีอัตราส่วนของซีโอดีต่อสังกะสีต่ำและสังกะสีเริ่มมีผลในการยับยั้งการกำจัดทีเคเอ็นที่อัตราส่วนซีโอดีต่อสังกะสีที่เท่ากับ 10 เมื่อเกิดภาวะช็อกประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นได้ลดลงทั้ง 2 ชุดทดลอง ซึ่งเป็นผลอันเกิดจากการเพิ่มขึ้นของค่าแอมโมเนียในระบบดังที่กล่าวมาแล้ว โดยระยะการฟื้นตัวเป็นในลักษณะเดียวกับการฟื้นตัวของค่าแอมโมเนีย

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.13 และ 4.2.13และกราฟแสดงผลการทดลองของค่าทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-50

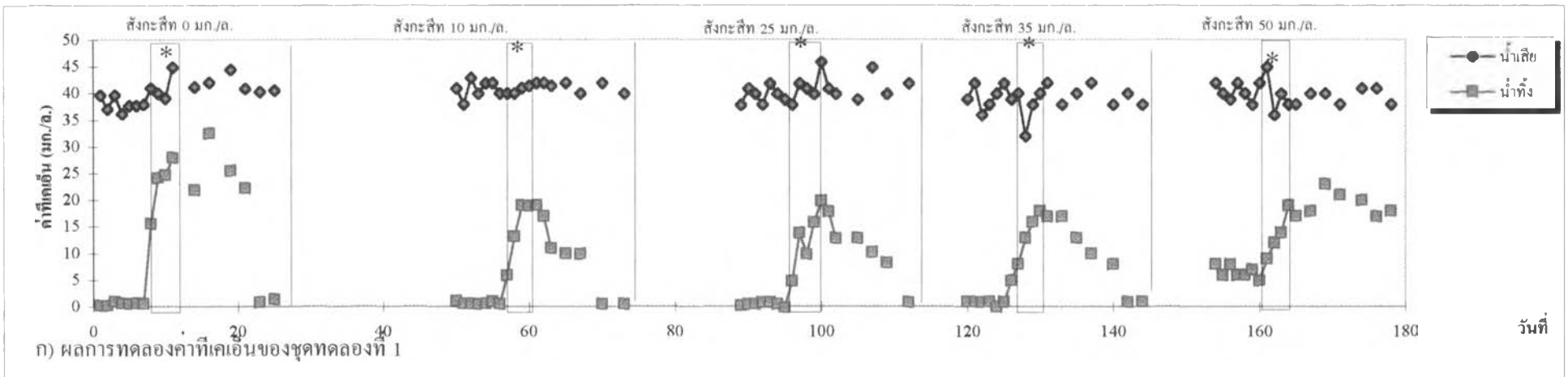
4.3.13 ผลของสังกะสีที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด

ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของชุดทดลองที่ 1 ลดลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้น ส่วนชุดทดลองที่ 2 พบว่าทุกการทดลองมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของทั้ง 2 ชุดทดลองมาเปรียบเทียบกัน จะได้ว่า***ชุดทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีกว่า เนื่องจากระบบมีอัตราส่วนของซีโอดีต่อสังกะสีที่มากกว่า*** และเมื่อเกิดภาวะช็อกประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ลดลงทั้ง 2 ชุดทดลอง โดยชุดทดลองที่ 1 มีอัตราการลดลงมากกว่า เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะการฟื้นตัว พบว่าชุดทดลองที่ 1 ต้องใช้เวลาการฟื้นตัวมากกว่าชุดทดลองที่ 2

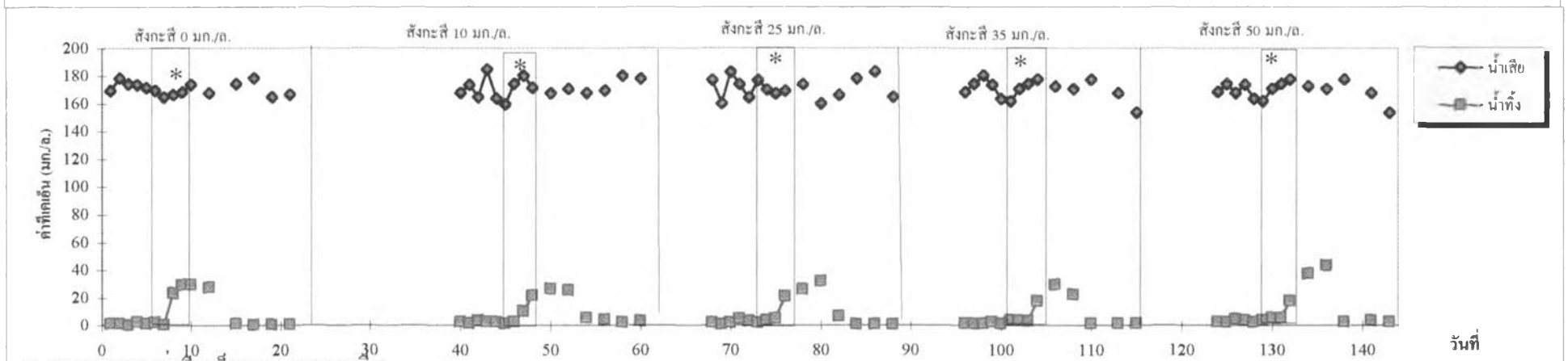
รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.14 และ 4.2.14และกราฟแสดงผลการทดลองของปรสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-51

4.3.14 ผลของสังกะสีที่มีต่ออัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะ

จากการทดลองวัดอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะ พบว่าชุดทดลองที่ 1 มีอัตราการเกิด



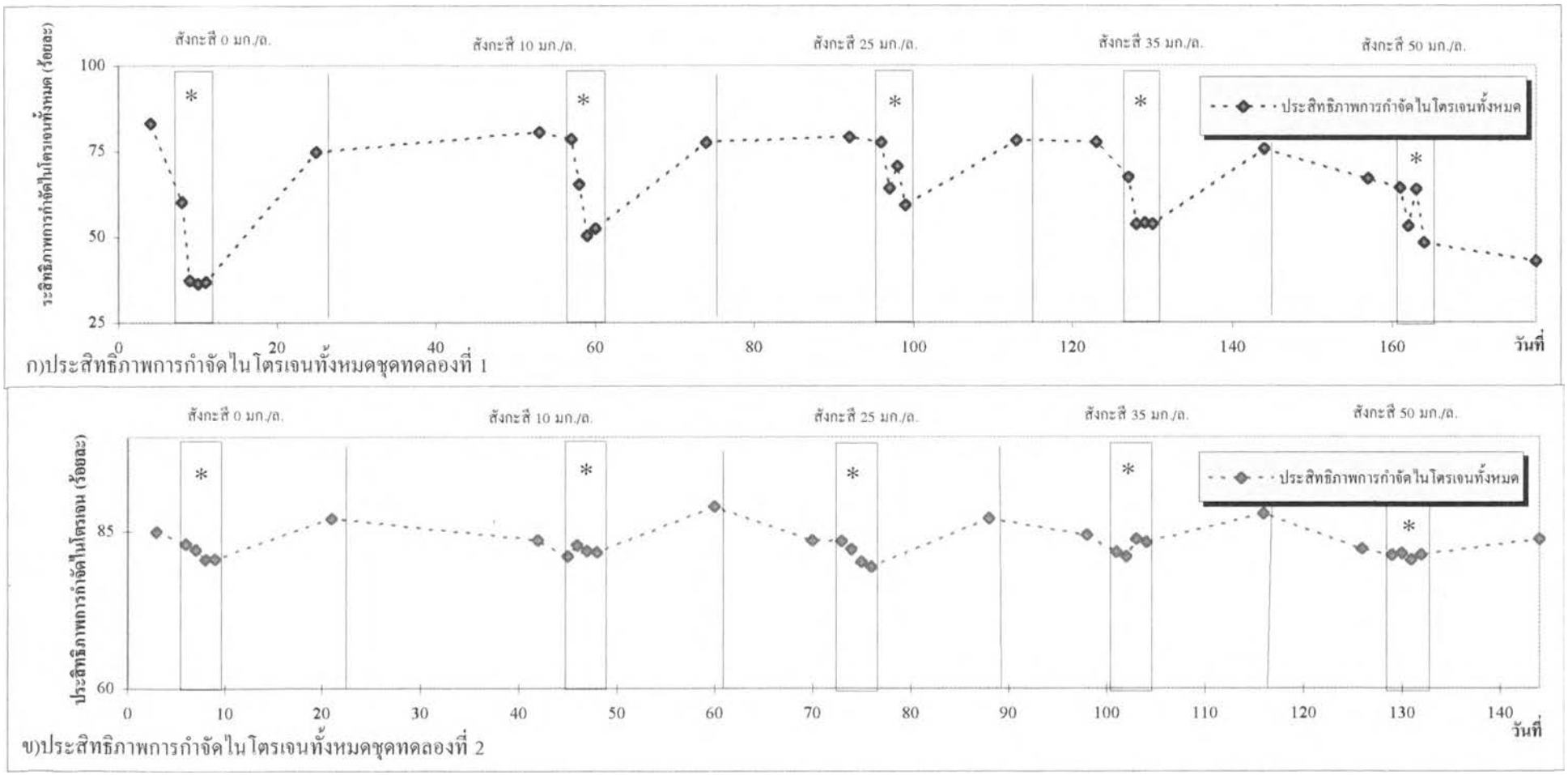
ก) ผลการทดลองค่าทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 1



ข) ผลการทดลองค่าทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 2

* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-50 ผลการทดลองของค่าทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 1 และ 2



* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-51 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของชุดทดลองที่ 1 และ 2

ไนตริฟิเคชันจำเพาะลดลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่มากขึ้น ส่วนชุดทดลองที่ 2 อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่า***การแปรค่าสังกะสีมีผลต่ออัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 เท่านั้น เนื่องจากชุดทดลองที่ 1 มีอัตราส่วนของซีโอดีต่อสังกะสีต่ำกว่าชุดทดลองที่ 2 มาก*** การแปรค่าสังกะสีเข้าสู่ระบบจึงมีผลกระทบอย่างชัดเจน และเมื่อนำอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของทั้ง 2 ชุดทดลองมาเปรียบเทียบกันพบว่า***ชุดทดลองที่ 1 มีอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะที่มากกว่า*** ซึ่งจากงานวิจัยของ Hanaki และคณะ (1990) พบว่า ***เมื่อระบบมีปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากขึ้นจะทำให้อัตราไนตริฟิเคชันลดลง*** จากการทดลองนี้ชุดทดลองที่ 2 จะมีค่าซีโอดีที่เข้าสู่ถังออกซิกมากกว่าชุดทดลองที่ 1 จึงทำให้อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 2 มีค่าน้อยกว่าซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hanaki และคณะ (1990)

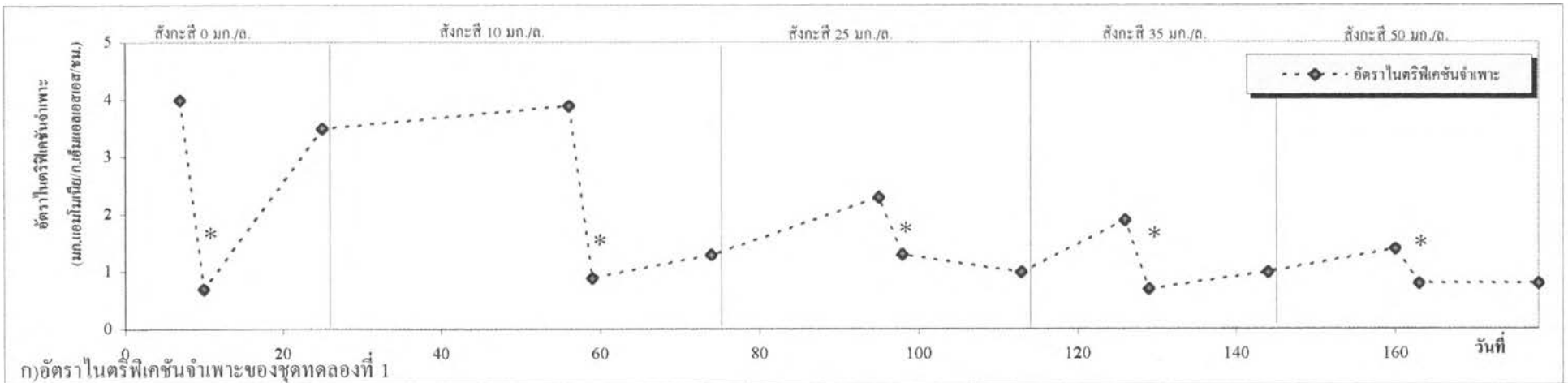
เมื่อระบบเกิดภาวะช็อกพบว่าอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 มีค่าลดต่ำลง ในขณะที่ชุดทดลองที่ 2 อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะยังคงมีค่าเท่าเดิมดังอธิบายให้ไว้แล้วในหัวข้อ 4.2.15 ซึ่งผลการทดลองในส่วนนี้ของชุดทดลองที่ 2 มีความขัดแย้งกับผลการทดลองของค่าไนไทรต์ ไนเทรต แอมโมเนีย และทีเคเอ็น

และเมื่อระบบของชุดทดลองที่ 1 เข้าสู่ภาวะการฟื้นตัวเป็นวันที่ 13 หรือ 14 ได้ทดลองวัดอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะพบว่ามีค่าน้อยกว่าช่วงสถานะคงตัว ส่วนชุดทดลองที่ 2 เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะการฟื้นตัวเป็นวันที่ 11 หรือ 12ได้ทดลองวัดอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะพบว่ามีค่ามากกว่าช่วงสถานะคงตัว แสดงถึงชุดทดลองที่ 2 สามารถฟื้นตัวได้ดีกว่า

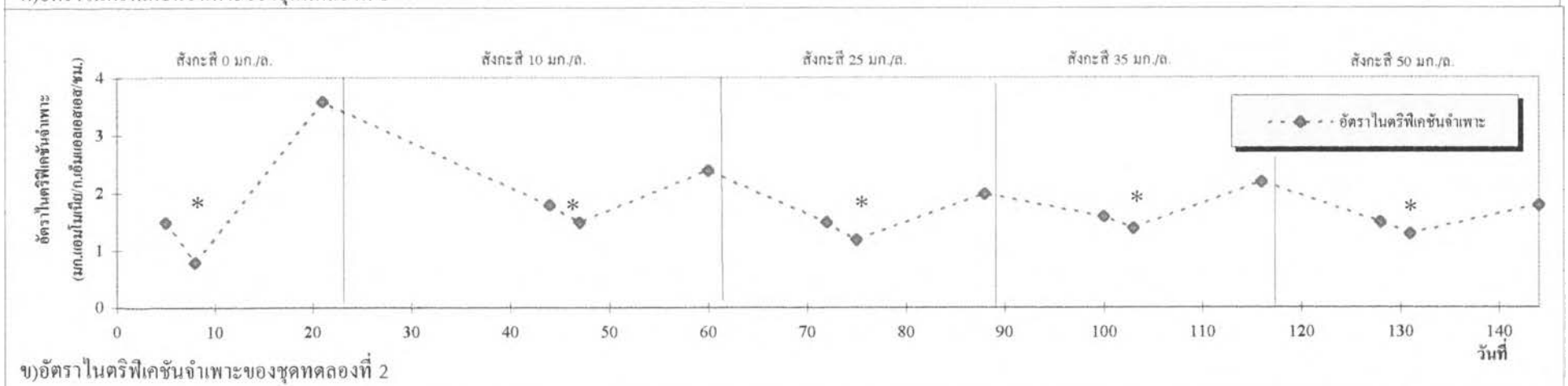
รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.15 และ 4.2.15และกราฟแสดงผลการทดลองของอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-52

4.3.15 ผลของสังกะสีที่มีต่ออัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ

จากการทดลองวัดอัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ พบว่าอัตราดังกล่าวมีค่าลดลงตามความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่มมากขึ้นทั้ง 2 ชุดทดลอง และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันพบว่า ***อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของแต่ละการทดลองของชุดทดลองที่ 1 มีมากกว่าชุดทดลองที่ 2*** ทั้งนี้เนื่องจากชุดทดลองที่ 2 มีค่าเอสอาร์ทีของพวกดีไนตริฟายเออร์ มากกว่าชุดทดลองที่ 1 โดยใช้การคำนวณดังสมการที่ 4.4 (Jones และ Sabra, 1980) ซึ่งมีผลให้อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ ของชุด



ก)อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1



ข)อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 2

* = ภาวะชื่อก

รูปที่ 4-52 อัตราการไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 และ 2

ทดลองที่ 1 มีค่ามากกว่าชุดทดลองที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Jones และ Sabra (1980)

และเมื่อระบบของชุดทดลองที่ 1 เข้าสู่ภาวะการฟื้นตัวเป็นวันที่ 13 หรือ 14 ได้ทดลองวัดอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัว ส่วนชุดทดลองที่ 2 เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะการฟื้นตัวเป็นวันที่ 11 หรือ 12 ได้ทดลองวัดอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับช่วงสถานะคงตัวเช่นกัน

$$(SA)_{dn} = \frac{(SA) \times \text{volume of denitrification reactor}}{\text{total volume of the system}} \quad \text{---------- 4.4)}$$

โดยที่ $(SA)_{dn}$ Denitrification Sludge Age

(SA) Total Systems Solids Retention Time

ชุดทดลองที่ 1

$(SA)_{dn1} = (10 \times 1) / 11 = 0.9$ วัน

โดยที่ อายุสลัดจ์ทั้งระบบของชุดทดลองที่ 1 10 วัน

ปริมาตรถังแอนื่อกซิกของชุดทดลองที่ 1 1 ลิตร

ปริมาตรถังปฏิกิริยาโดยรวมทั้งระบบของชุดทดลองที่ 1 11 ลิตร

ชุดทดลองที่ 2

$(SA)_{dn2} = (10 \times 3) / 15 = 2$ วัน

โดยที่ อายุสลัดจ์ทั้งระบบของชุดทดลองที่ 2 10 วัน

ปริมาตรถังแอนื่อกซิกของชุดทดลองที่ 2 3 ลิตร

ปริมาตรถังปฏิกิริยาโดยรวมทั้งระบบของชุดทดลองที่ 2 15 ลิตร

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.16 และ 4.2.16และกราฟแสดงผลการทดลองของอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-53

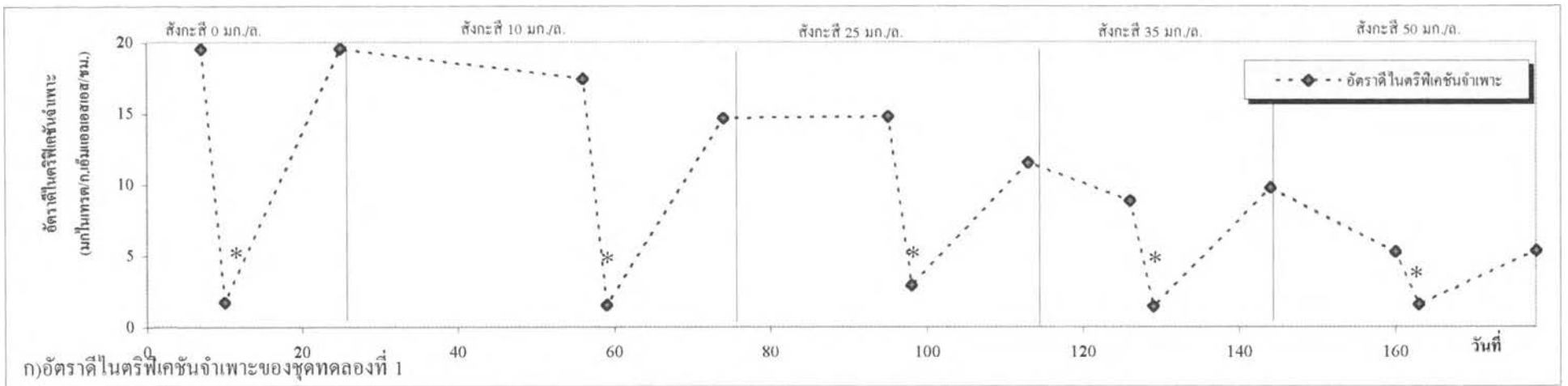
4.3.16 ผลของสังกะสีที่มีต่อการสะสมของสังกะสีในระบบ

จากผลการทดลอง พบว่าฟล็อกในระบบทั้ง 2 ชุดสามารถสะสมสังกะสีได้มากขึ้นตามความเข้มข้นของสังกะสีที่เพิ่มขึ้น โดย***อัตราส่วนของสังกะสีที่ป้อนเข้าสู่ระบบต่อปริมาตรของถังปฏิกิริยาของชุดทดลองที่ 1*** (18 ถึง 91 มก./ลิตร-วัน) ***จะมากกว่าชุดทดลองที่ 2*** (4 ถึง 20 มก./ลิตร-วัน) ทั้งนี้เนื่องจากชุดทดลองที่ 1 มีปริมาณของสังกะสีที่เข้าสู่ระบบ(200 ถึง 1000 มก./วัน)มากกว่าชุดทดลองที่ 2 (60 ถึง 300 มก./วัน)และในขณะเดียวกันชุดทดลองที่ 1 มีค่าเอ็มแอลเอสเอส น้อยกว่าชุดทดลองที่ 2 และอัตราส่วนของซีโอดีต่อสังกะสีของชุดทดลองที่ 1(10 ถึง 50 ก./ก.) มีค่าน้อยกว่าชุดทดลองที่ 2 (70 ถึง 350 ก./ก.) ***ฉะนั้นชุดทดลองที่ 1 จึงได้รับผลกระทบมากกว่าชุดทดลองที่ 2 แต่อย่างไรก็ตามค่าสังกะสีในน้ำทิ้งของทั้ง 2 ชุดทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม*** เนื่องจากการแปรค่าสังกะสีถึง 50 มก./ล.ระบบยังสามารถดูดซับและสะสมสังกะสีไว้ได้ทั้ง 2 ชุดทดลอง

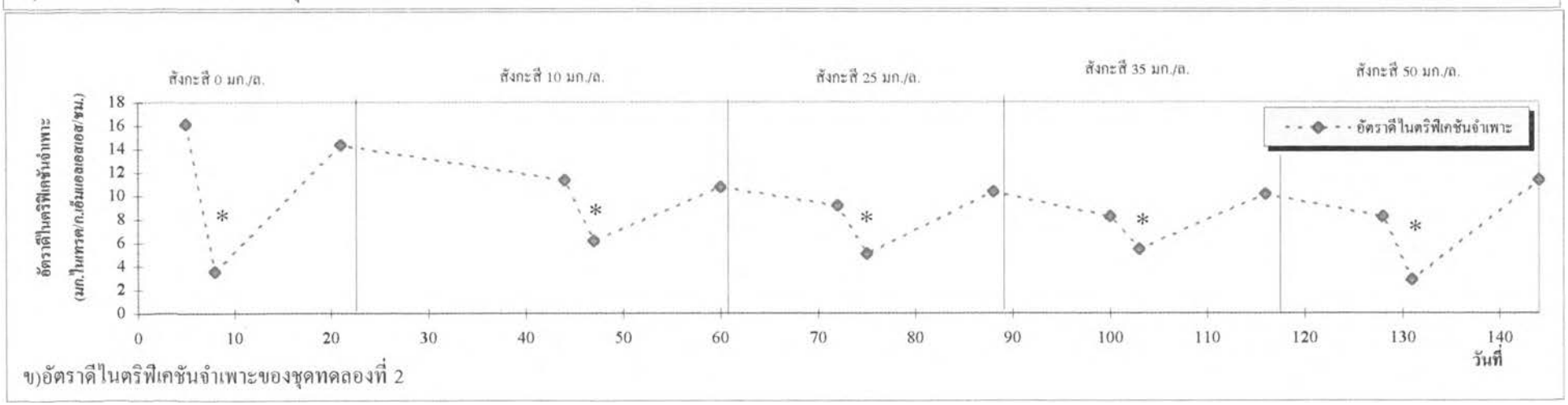
เมื่อเกิดภาวะช็อกการสะสมของสังกะสีในระบบของทั้ง2ชุดทดลองเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งเกิดจากการสะสมสังกะสีในเซลล์และการตกตะกอนของสังกะสีคาร์บอเนตเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันปริมาณสังกะสีที่ระบายออกจากระบบเพิ่มขึ้นสูงเช่นกันเนื่องจากระบบไม่สามารถสะสมสังกะสีที่เพิ่มในปริมาณมากอย่างทันทีไว้ได้ทัน ***โดยชุดทดลองที่ 1 มีปริมาณสังกะสีปนเปื้อนอยในน้ำทิ้งมากกว่าชุดทดลองที่ 2*** เนื่องจากชุดทดลองที่ 1 มีปริมาณสังกะสีเข้าสู่ระบบมากกว่าและมีค่าเอ็มแอลเอสเอสที่น้อยกว่าอัตราการดูดซับสังกะสีจึงเกิดได้น้อยกว่าชุดทดลองที่ 2

เมื่อระบบอยู่ใน***ช่วงการฟื้นตัว ทั้ง 2 ชุดทดลองเกิดการระบายสังกะสีส่วนเกินออกจากระบบเพื่อปรับตัวเข้าสู่สถานะคงตัวอีกครั้ง*** โดยผลการทดลองที่ได้มีค่าโดดไปมาจึงไม่สามารถเปรียบเทียบอัตราการคายของสังกะสีระหว่างชุดทดลองทั้ง 2 ชุดที่ชัดเจนได้

รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงดังหัวข้อ 4.1.17 และ 4.2.17และกราฟแสดงผลการทดลองการวัดค่าสังกะสีของชุดทดลองที่ 1 และ 2 แสดงดังกราฟในรูปที่ 4-54



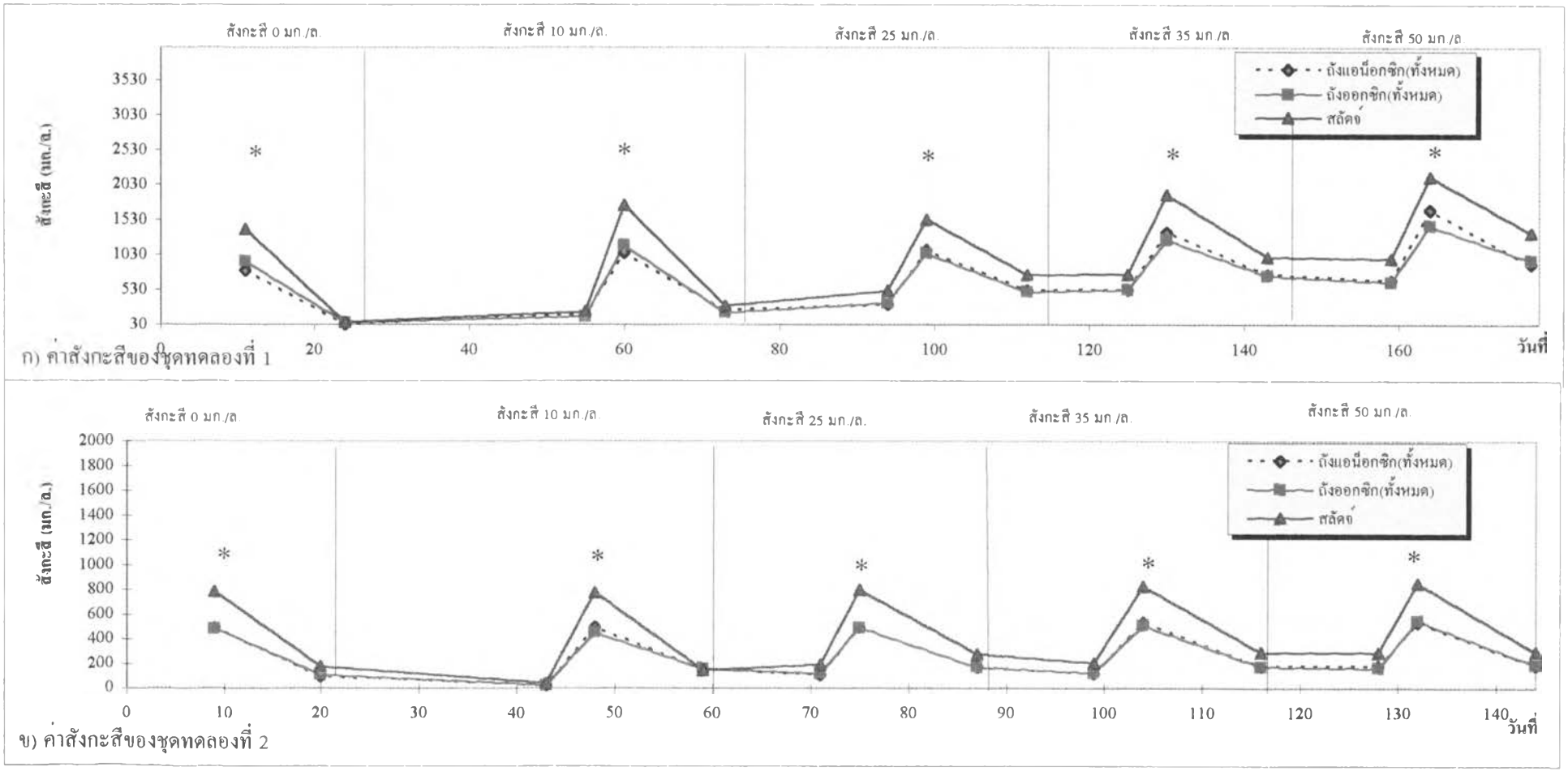
ก)อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1



ข)อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 2

* = ภาวะชื้อก

รูปที่ 4-53 อัตราการดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 และ 2



* = ภาวะช็อก

รูปที่ 4-54 ค่าสังกะสีในระบบของชุดทดลองที่ 1 และ 2