บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิจารณ์

การวิจัยเกี่ยวกับระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีการระบายตะกอนนี้ ประกอบไปด้วยการทดลอง 3 ชุด และแต่ละชุดยังประกอบไปด้วยการทดลองย่อยอีกชุดละ 6 การทดลองด้วยรายละเอียดในตารางที่ 3.1 ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดอื่น ๆ ขอชี้แจงให้เข้าใจถึงความหมายของการไม่มีการระบายตะกอน (จุลชีพ) ออกจากระบบเอสบีอาร์ การทดลองครั้งนี้ได้พยายามอย่างยิ่งที่จะรักษาสภาพเงื่อนไขให้เป็นไปตามความตั้งใจที่จะไม่ให้มีการระบายตะกอนส่วนเกินออก - จากระบบเลย แต่จากการทดลองที่เกิดขึ้นจริงนั้นการสูญเสียตะกอนบางส่วนจากระบบนั้นเป็นสิ่งที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ เนื่องจากผู้วิจัยจำเป็นต้องนำน้ำผสมตะกอน (Mixed liquor) จำนวนหนึ่งมาใช้วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญบางตัว เช่น เอมแอลเอสเอส (MLSS) และเอมแอลวีเอสเอส (MLVSS) ทั้งนี้ยังไม่รวมถึงตะกอนจุลชีพบางส่วนที่อาจหลุดไปกับน้ำทิ้งที่ระบายออกจากระบบอย่างช่วยไม่ได้ ดังนั้นจึงขอให้ทำความเข้าใจกับงานวิจัยครั้งนี้ก่อนว่า การที่จะควบคุมให้ระบบเอสบีอาร์มีเวลากักตะกอนยาวนานจนถึงอนันต์ (Infinity) อย่างแท้จริงนั้นเป็นสิ่งที่เป็นไปไม่ได้ แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้พยายามที่จะให้มีการสูญเสียตะกอนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้งานวิจัยนี้มีสภาพสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ให้มากที่สุด

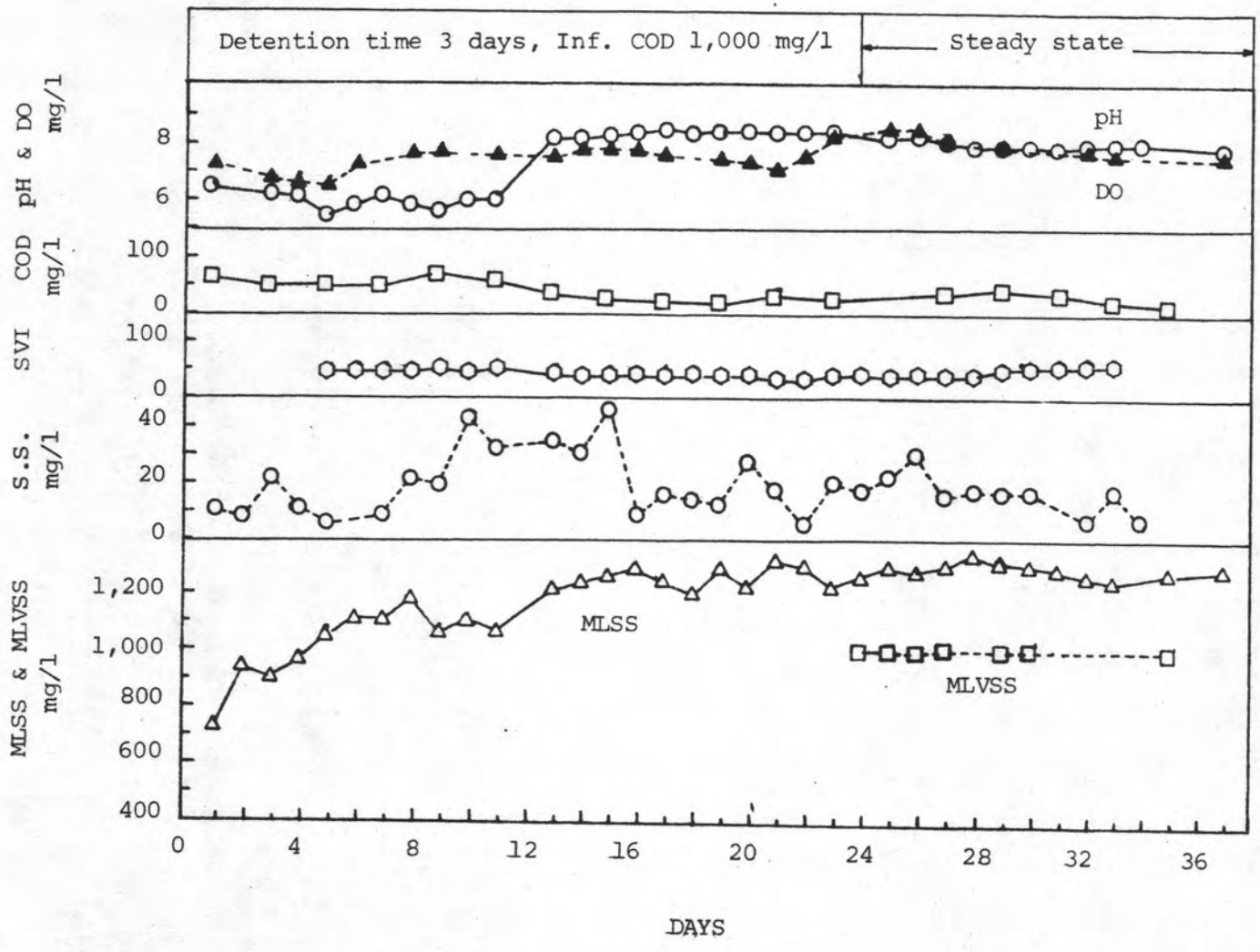
ในการทดลองชุดที่ 1 ซึ่งใช้น้ำเสียที่มีซีโอดี 1,000 มก/ล. กับระบบเอสบีอาร์ที่มีเวลากักน้ำ (Detention time) ต่าง ๆ กัน (ดังแสดงในตารางที่ 3.1) ผู้วิจัยได้นำตัวอย่างน้ำผสมตะกอน (Mixed liquor) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จากทุก ๆ ถัง ๆ ละ 50 มล.ต่อวัน เป็นเหตุให้แต่ละถังของการทดลองชุดนี้มีเวลากักตะกอนแตกต่างกันไป (โดยไม่ตั้งใจ) เท่ากับ 30, 50, 70, 90, 110 และ 130 วันโดยประมาณตามลำดับ ส่วนในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 นั้น ผู้วิจัยได้ชักตัวอย่างน้ำผสมตะกอนเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จากแต่ละถังในปริมาณไม่เท่ากัน โดยจะส่งผลให้ทุก ๆ ถังมีเวลากักตะกอน (Sludge age) ประมาณ 200 วันเท่า ๆ กัน เวลากักตะกอนดังกล่าวนี้จัดได้ว่ามีค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับระบบแอคติเวเตดสลัดจ์โดยทั่วไป ซึ่งมีเวลากักตะกอนระหว่าง 5 ถึง 20 วัน เท่านั้น

จากความแตกต่างกันของเวลากักตะกอนของการทดลองชุดที่ 1 นั้น ทำให้ผู้วิจัยสามารถเสนอผลการทดลองแยกออกจากการทดลองชุดที่ 2 และ 3 (เวลากักตะกอนประมาณ 200 วัน) อันจะเกิดผลดีในการเปรียบเทียบระหว่างระบบเอสบีอาร์ที่มีเวลากักตะกอนต่างๆกัน

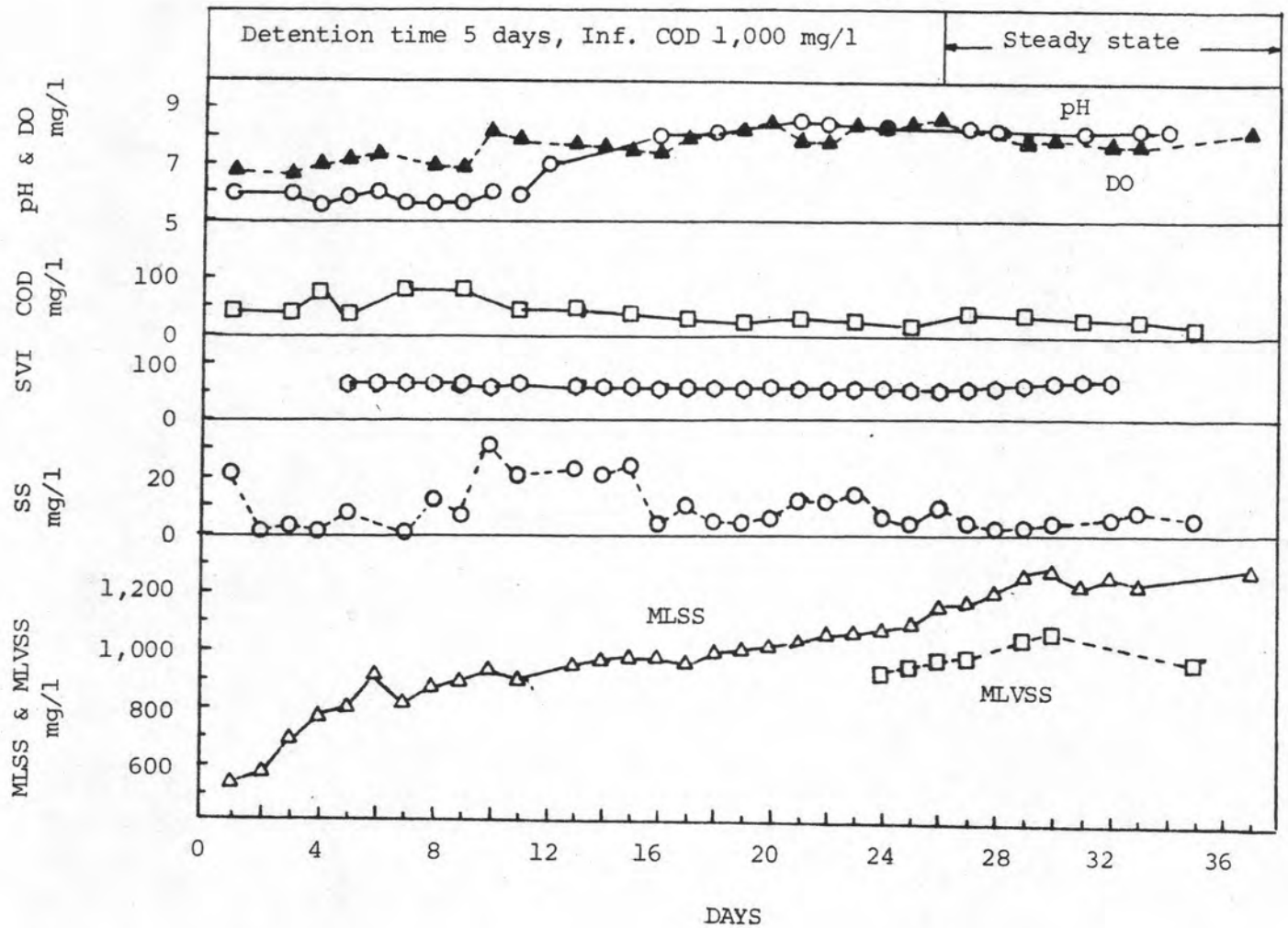
(การทดลองชุดที่ 1) กับระบบแอคติเวทเตดสลัดจ์ และกับระบบเอสบีอาร์ที่มีเวลากักตะกอนสูงมาก (การทดลองชุดที่ 2 และ 3) ซึ่งถือไว้ว่าเป็นผลพลอยได้จากงานวิจัยครั้งนี้

5.1 การทดลองชุดที่ 1

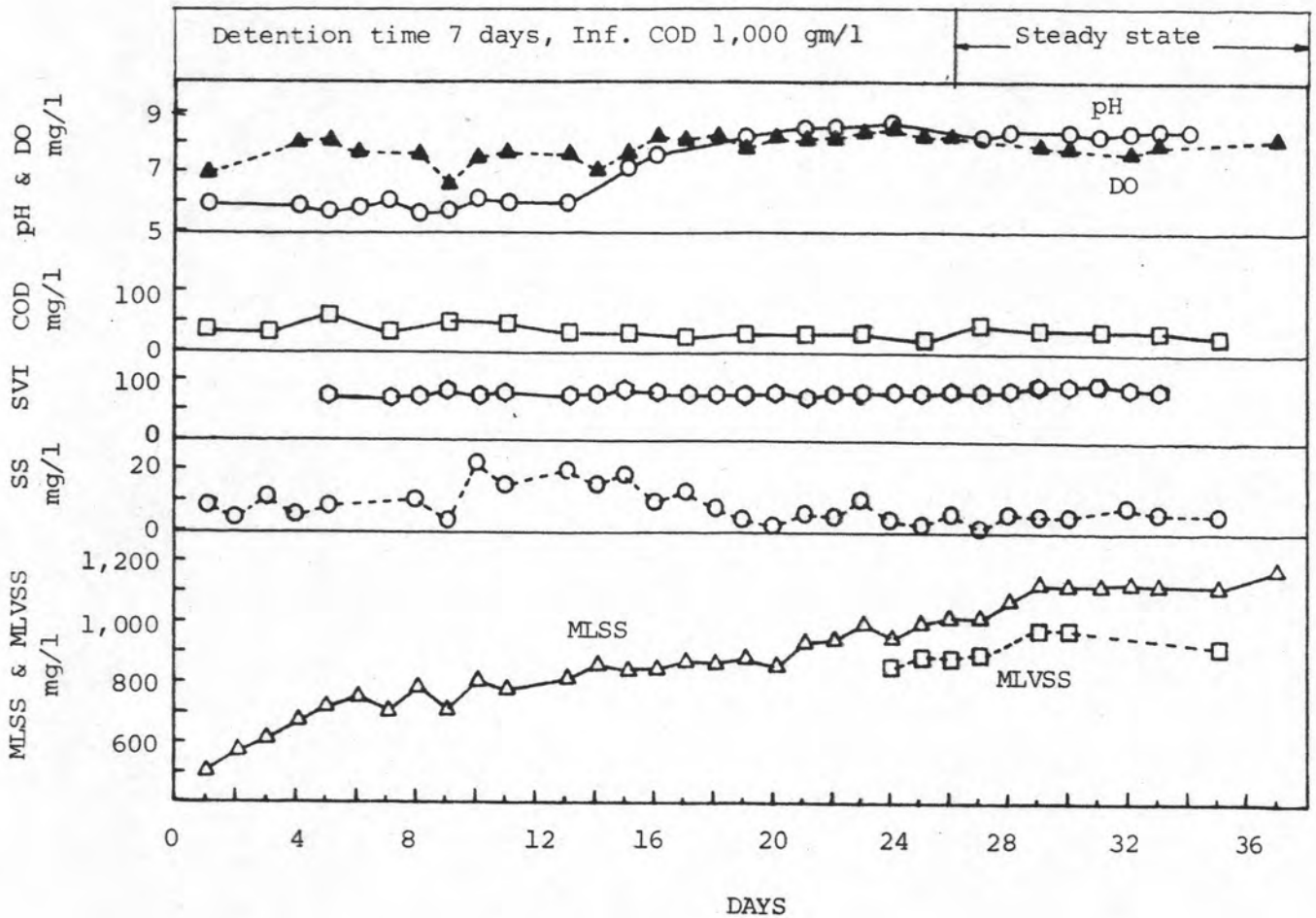
ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการทดลองชุดนี้ประกอบไปด้วยการทดลองย่อย 6 การทดลอง ซึ่งแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันทั้งเวลากักน้ำและเวลากักตะกอน ดังนั้นการเสนอและการวิจารณ์การทดลองชุดนี้ จะไม่เน้นถึงอิทธิพลของเวลากักน้ำที่มีต่อการทำงานของระบบเอสบีอาร์ เนื่องจากได้มีอิทธิพลจากความแตกต่างของเวลากักตะกอนมาเกี่ยวข้องอยู่ด้วย แต่จะเน้นให้เห็นว่าระบบเอสบีอาร์นั้นก็สามารถหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ศาสตร์ (Kinetic parameters) ได้เช่นเดียวกับระบบแอคติเวทเตดสลัดจ์อันจะเป็นการช่วยยืนยันว่าโมเดลทางจลน์ศาสตร์ของระบบแอคติเวทเตดสลัดจ์สามารถนำมาใช้กับระบบเอสบีอาร์ได้ส่วนข้อมูลของการทดลองชุดนี้ได้แสดงไว้ในภาพที่ 5.1 ถึง 5.6 และตารางที่ 5.1



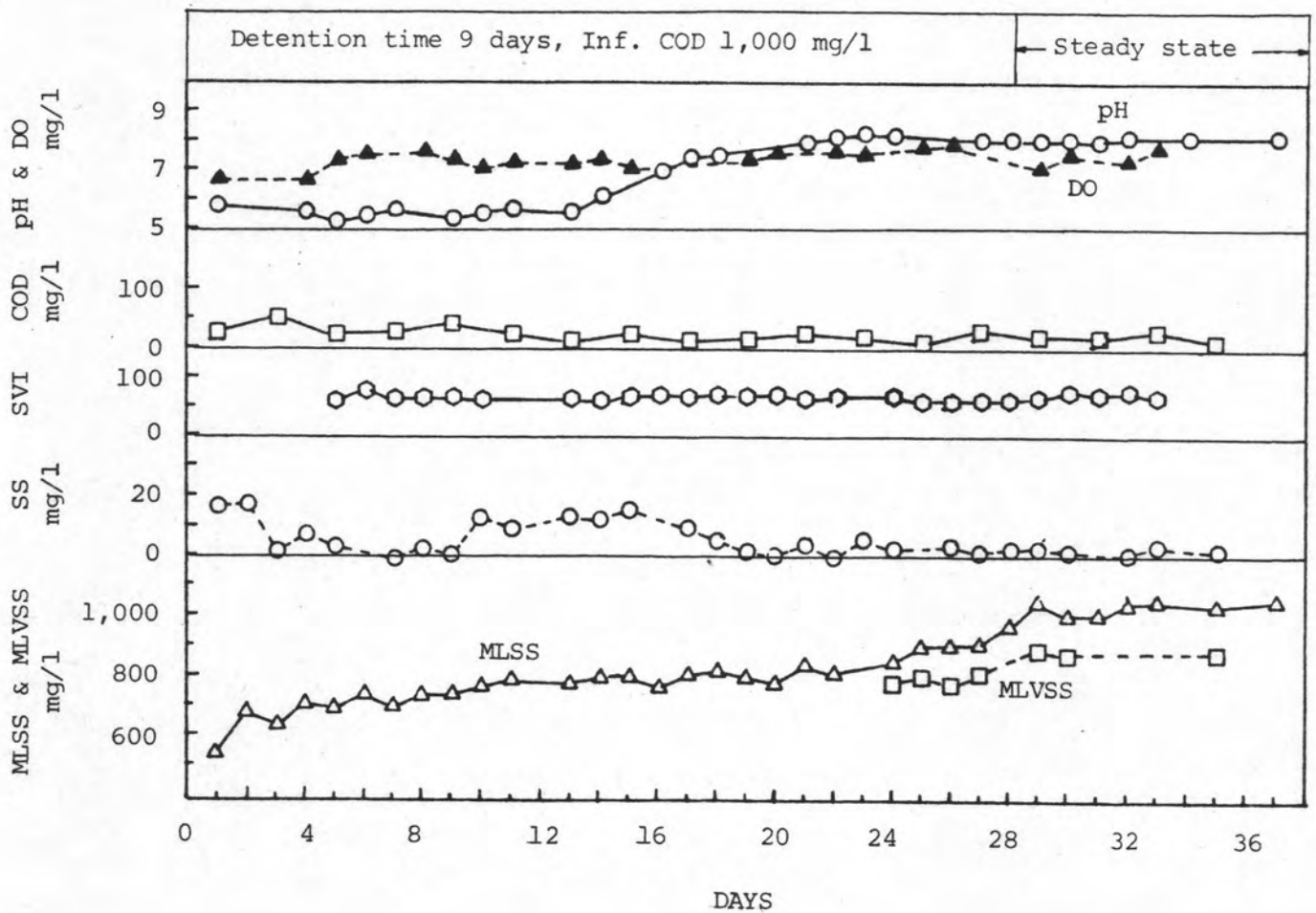
ภาพที่ 5.1 ผลการทดลองที่ 1.1 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 30 วัน)



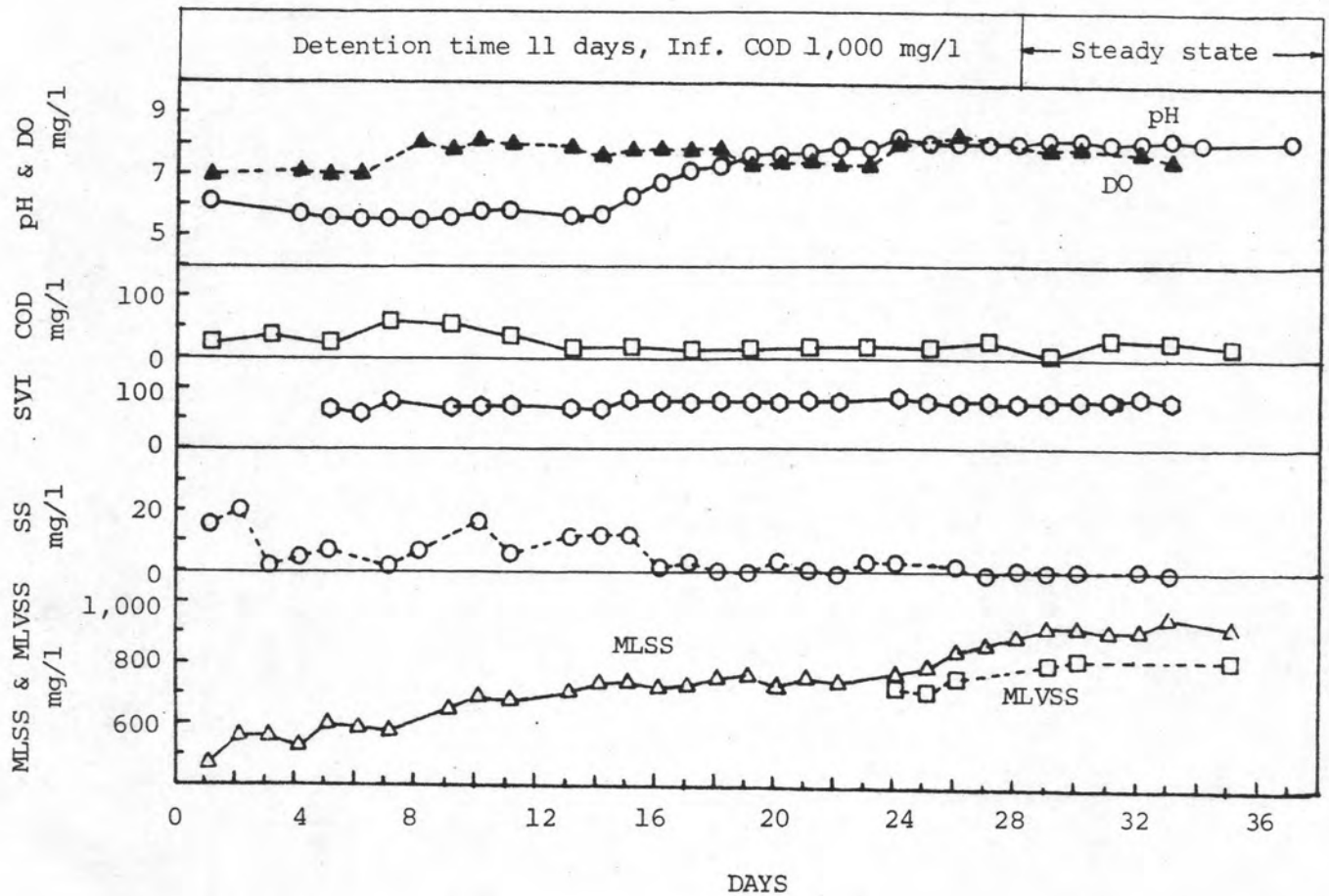
ภาพที่ 5.2 ผลการทดลองที่ 1.2 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 50 วัน)



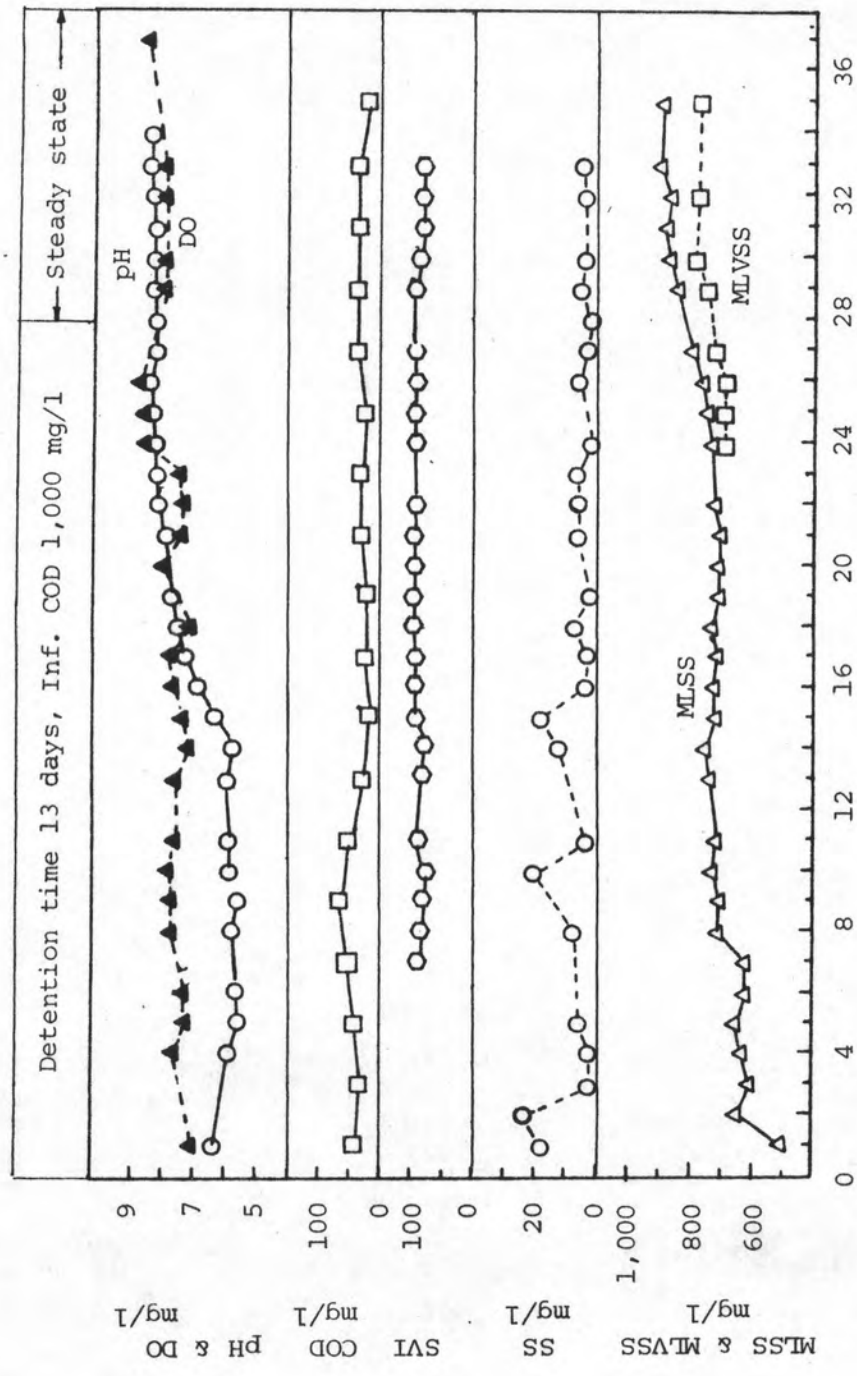
ภาพที่ 5.3 ผลการทดลองที่ 1.3 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 70 วัน)



ภาพที่ 5.4 ผลการทดลองที่ 1.4 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 90 วัน)



ภาพที่ 5.5 ผลการทดลองที่ 1.5 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 110 วัน)



ภาพที่ 5.6 ผลการทดลองที่ 1.6 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 130 วัน)

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองชุดที่ 1

Exp. no.	SRT days	Det.time days	MLSS mg/l	MLVSS mg/l	SVI	% COD Removal	Eff.SS mg/l	% MLVSS
1.1	30	3	1300	1077	51	97	17	83
1.2	50	5	1234	1012	63	97	6	82
1.3	70	7	1100	919	79	98	4	84
1.4	90	9	1051	895	77	98	4	85
1.5	110	11	926	813	86	98	1	88
1.6	130	13	862	756	77	98	2	88

หมายเหตุ : ซีโอดีเข้า เท่ากับ 1,000 มก/ล.

5.1.1 ความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพ

การทดลองชุดที่ 1 นี้ เริ่มเลี้ยงตะกอน (Start up) โดยให้ทุกๆถังมีค่า MLVSS ประมาณ 500 มก/ล. แล้วป้อนน้ำเสียที่มีซีโอดี 1,000 มก/ล. จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า MLVSS มีค่าลดลงเมื่อเวลากักน้ำเพิ่มขึ้น แต่ค่า MLVSS ที่เปลี่ยนแปลงไปมีอัตราส่วนน้อยมากทั้งที่เวลากักน้ำเปลี่ยนไปมาก เช่น เมื่อเวลากักน้ำ 3 วัน MLVSS เท่ากับ 1077 มก/ล. แต่เมื่อเวลากักน้ำสูงขึ้นถึง 13 วัน MLVSS ยังมีค่า 756 มก/ล สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในการทดลองชุดนี้ได้มีตัวแปรอิสระถึง 2 ตัว ได้แก่ เวลากักน้ำและเวลากักตะกอน (เกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจ) เวลากักตะกอนนี้เองที่ทำให้อิทธิพลของเวลากักน้ำที่มีต่อ MLVSS มองเห็นได้ไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากในถังที่มีเวลากักน้ำสูงนั้นก็มีเวลากักตะกอนสูงด้วย (ดังตารางที่ 5.1) และเมื่อพิจารณาจากโมเดลทางจลน์ศาสตร์ของระบบแอคติเวเต็ดสลัดจ์ (ซึ่งสามารถใช้กับการทดลองชุดนี้) พบว่าความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพจะแปรผกผันกับเวลากักน้ำ แต่จะแปรผันตามเวลากักตะกอน ดังนั้น อิทธิพลของเวลากักน้ำที่มีต่อความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพในการทดลองชุดที่ 1 นี้ จึงเห็นได้ไม่ชัดเจนนัก

5.1.2 ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ระบายออกจากถังปฏิกิริยา

ตลอดการทดลองชุดที่ 1 นี้ พบว่าการตกตะกอนในถังปฏิกิริยาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพดี ทำให้การระบายน้ำทิ้งกระทำได้อย่างสะดวก ผลการทดลองพบว่าน้ำทิ้งจากทุกถังมีตะกอนแขวนลอยต่ำดังแสดงอยู่ในตารางที่ 5.1 ซึ่งถือได้ว่าระบบเอสบีอาร์นี้ประสบกับความสำเร็จ

ที่สามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีตะกอนแขวนลอยต่ำได้ ในขณะที่ระบบแอคติเวต เตดสลัดจ์มักจะมีปัญหาในเรื่องนี้

5.1.3 ระดับเอสวีไอ (Sludge volume index)

ระดับเอสวีไอ เป็นดรรชนีที่แสดงถึงคุณสมบัติในการอัดตัวของตะกอนสำหรับระบบแอคติเวต เตดสลัดจ์โดยทั่วไปดังนี้ (4)

ค่า เอสวีไอ ประมาณ 50 แสดงว่า ตะกอนอัดตัว ดีมาก

" " 100 " " ดี

" " 200 " " ดีพอใช้

" " 300 " " เลว

อย่างไรก็ตามค่าที่แสดงนี้เป็นเพียงการพิจารณาอย่างคร่าว ๆ เท่านั้น ระดับเอสวีไอที่ต่ำเกินไปอาจให้น้ำทิ้งที่มีตะกอนแขวนลอยสูงก็ได้ เนื่องจากมีฟล้อคที่มีขนาดเล็กมากลอยอยู่ ส่วนเอสวีไอที่สูงมากเกินไปมักจะมีสาเหตุเนื่องมาจากตะกอนจุลชีพส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นอันก่อให้เกิดปัญหาตะกอนเป็นโรคจมไม่ลง (Bulking)

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าเอสวีไอมีค่าอยู่ระหว่าง 40 ถึง 90 ซึ่งจัดได้ว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม แสดงว่าสลัดจ์อัดตัวกันได้ดีในทุกๆ ถัง แต่อย่างไรก็ตีจากการสังเกตเปรียบเทียบการตกตะกอนของทุกถังแล้ว มีสิ่งน่าสนใจประการหนึ่งคือ ขนาดของฟล้อค (floc) จะใหญ่ขึ้นในถังที่มีเวลากักน้ำและเวลากักตะกอนสูงขึ้นตามลำดับสำหรับกรณีนี้ผู้วิจัยเชื่อว่าเวลากักตะกอนจะมีอิทธิพลต่อขนาดของฟล้อคมากกว่าอิทธิพลจากเวลากักน้ำ เนื่องจากเวลากักตะกอนที่สูงขึ้นจะมีไบโอโพลิเมอร์เกิดขึ้นมาก ทำให้จุลชีพสามารถเกาะตัวกันเป็นฟล้อคที่มีขนาดใหญ่

5.1.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

จากผลการทดลองพบว่า ระบบเอสบีอาร์มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงประมาณ 97 - 98% จากน้ำเสียที่มีซีโอดี 1,000 มก/ล นั้น พบว่าน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าซีโอดี เหลือเพียง 20 - 30 มก/ล เท่านั้น ซึ่งกล่าวได้ว่าระบบเอสบีอาร์มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสับ-เสตรต ทัดเทียบกับระบบแอคติเวต เตดสลัดจ์

5.1.5 ลักษณะของจุลชีพ

จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscopic Examination) พบว่าจุลชีพในแต่ละถังของการทดลองเอสบีอาร์นี้มีลักษณะคล้ายคลึงกันและมีลักษณะเช่นเดียวกับจุลชีพในระบบแอคติเวต เตดสลัดจ์ทั่วไป จุลชีพที่พบได้แก่ Bacteria, Algae, Protozoa, Rotifer

เป็นต้น ตลอดการทดลองชุดที่ 1 นี้ แทบจะไม่พบว่ามีจุลชีพชนิดเป็นเส้นเลย จุลชีพที่พบบ่อยๆ ได้แก่ Rotifers และ Stalked ciliates ซึ่งเป็นดัชนีที่แสดงให้ทราบว่าน้ำทิ้งมีค่าบีโอดี ต่ำ (4)

5.1.6 ดีโอ

การทดลองชุดนี้ ได้รักษาระดับดีโอให้สูงกว่า 2 มก/ล ในทุก ๆ ถังตลอดการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าตลอดช่วงกำจัดน้ำเสียมีสภาพมีออกซิเจนเพียงพอ

5.1.7 พีเอช (pH)

การกำจัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยานั้น ค่าพีเอชมีความสำคัญของการทำงานของจุลชีพเป็นอย่างมาก ในระบบกำจัดน้ำเสียแบบที่ใช้ออกซิเจนนั้น ควรควบคุมให้มีค่า พีเอช อยู่ระหว่าง 7 - 8 หากในถังปฏิกิริยามีค่าพีเอชแตกต่างไปจากนี้มากเกินไป อาจจะทำให้ระบบประสบกับความล้มเหลวได้ ต้องพยายามหาสาเหตุให้พบแล้วแก้ไขให้ถูกต้อง

ในการทดลองชุดที่ 1 นี้มีการแปรเปลี่ยนค่าพีเอชในระหว่างการทดลองเป็นอย่างมาก กล่าวคือในช่วง 10 วันแรกของการทดลอง พบว่า ค่าพีเอชลดต่ำลงเหลือประมาณ 5.5 เท่านั้นในทุก ๆ ถัง หลังจากนั้นจึงค่อย ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นจนเมื่อถังช่วงสุดท้าย (คงที่) พีเอช มีค่าประมาณ 8 ซึ่งนับว่าไม่เป็นอันตรายต่อจุลชีพในระบบ

สำหรับสาเหตุที่พีเอชมีค่าลดต่ำลงเป็นอย่างมากก็เนื่องจากในช่วงแรกนั้น น้ำเสียที่ใช้มีส่วนประกอบแตกต่างไปจากตารางที่ 4.4(ตังที่ได้อธิบายไว้ในหมายเหตุท้ายตารางที่ 4.4) น้ำเสียมีการเติม NH_4Cl ลงไปถึง 403 มก/ล อันเป็นการเพิ่มไนโตรเจนให้มากขึ้นไปอีกจากเดิมซึ่งมีอยู่แล้วใน Bacto-peptone ทำให้ในน้ำเสียที่ใช้ในช่วงแรกนี้มีไนโตรเจนสูงมากเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับความเป็นด่าง (Alkalinity) ที่มีอยู่ เนื่องจากในระหว่างที่มีการเติมอากาศนี้จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) ซึ่งในการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนเตรตนั้นจะต้องใช้ความเป็นด่างประมาณ 7.1 มก.ต่อทุก ๆ มก.ของแอมโมเนียที่เปลี่ยนไป (2) สาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้เกิดไนตริฟิเคชั่นสูงมากก็เนื่องมาจากในการทดลองนี้ มีเวลากักตะกอน (SRT) มีค่าสูงมาก

หลังจากที่ได้ป้อนน้ำเสียตามตารางที่ 4.2 แล้ว (ตัด NH_4Cl ออกไป) ค่า pHจึงเริ่มมีค่าสูงขึ้นจนอยู่ในช่วงที่ปลอดภัย เนื่องจากในน้ำเสียมีความเป็นด่างพอเพียง

5.1.8 การหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ศาสตร์

เนื่องจากการทดลองชุดที่ 1 นี้ ถังปฏิกิริยาแต่ละใบไม่เพียงแต่จะมีความแตกต่างกันในด้านเวลากักน้ำเท่านั้น หากแต่ยังมีความแตกต่างกันในด้านเวลากักตะกอนด้วย ทำให้การทดลองชุดนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับการหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ศาสตร์ของระบบแอคติเวเตด-สลัดจ์แบบธรรมดานั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถนำเอาวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ศาสตร์ของระบบแอคติเวเตดสลัดจ์มาใช้หาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ศาสตร์ของระบบเอสบีอาร์ชุดที่ 1 นี้ได้เช่นเดียวกัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3

อนึ่ง ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้นั้น เป็นค่าเฉลี่ยจากช่วงที่อยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) ของแต่ละการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.2 โดยที่

$$\Theta_c = \frac{VX}{F_w X + (F - F_w) X_e}$$

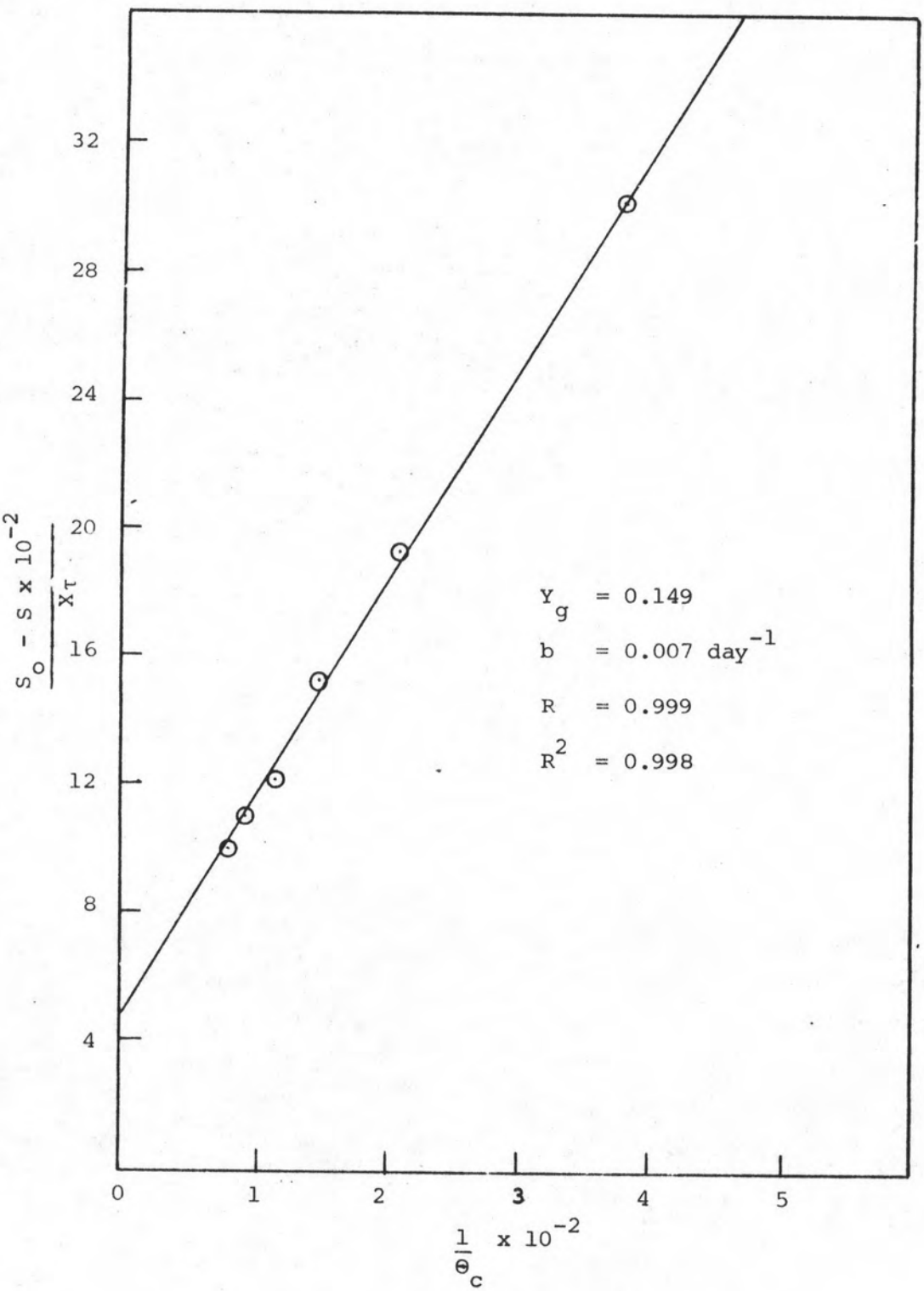
ตารางที่ 5.2 ข้อมูลจากการทดลองชุดที่ 1 เพื่อนำไปหาพารามิเตอร์ทางจลน์ศาสตร์

	REACTOR					
	1	2	3	4	5	6
V, l	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5
F, l/d	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
τ, d	3	5	7	9	11	13
X, mg/l	1077	1012	919	895	813	756
X_e, mg/l	17	6	4	4	1	2
Inf. COD, mg/l	1006	1006	1006	1006	1006	1006
Eff. COD, mg/l	30.4	28.8	25.5	24.8	24.4	25.4
$S_o - S$, mg/l	975.6	977.2	980.5	981.2	981.6	980.6
Θ_c, d	26.3	47.5	67.3	86.8	108.8	128
$1/\Theta_c$	0.038	0.0211	0.0148	0.0115	0.0092	0.0078
$(S_o - S)/X\tau$	0.3019	0.1931	0.1524	0.1218	0.1098	0.0998

หมายเหตุ 1) F_w หมายถึง น้ำผสมตะกอนส่วนที่นำไปวิเคราะห์เอมแอลวีเอสเอส

2) X " เอมแอลวีเอสเอส

3) X_e " ตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้ง



ภาพที่ 5.7 การหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ศาสตร์ของการทดลองชุดที่ 1

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากภาพที่ 5.7 สรุปได้ว่า

$1/Y_g = 6.715$

$b/Y_g = 4.715 \times 10^{-2}$

ดังนั้น $Y_g = 0.149$

$b = 0.007 \quad day^{-1}$

ค่า b, Y_g ที่ได้นี้จะสามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบ เอสบีอาร์ได้ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยให้เราสามารถคาดการณ์ได้ว่าระบบจะมีค่า MLVSS ประมาณเท่าใด เมื่อถูกกำหนดให้มีเวลากักน้ำและเวลากักตะกอนต่าง ๆ กัน

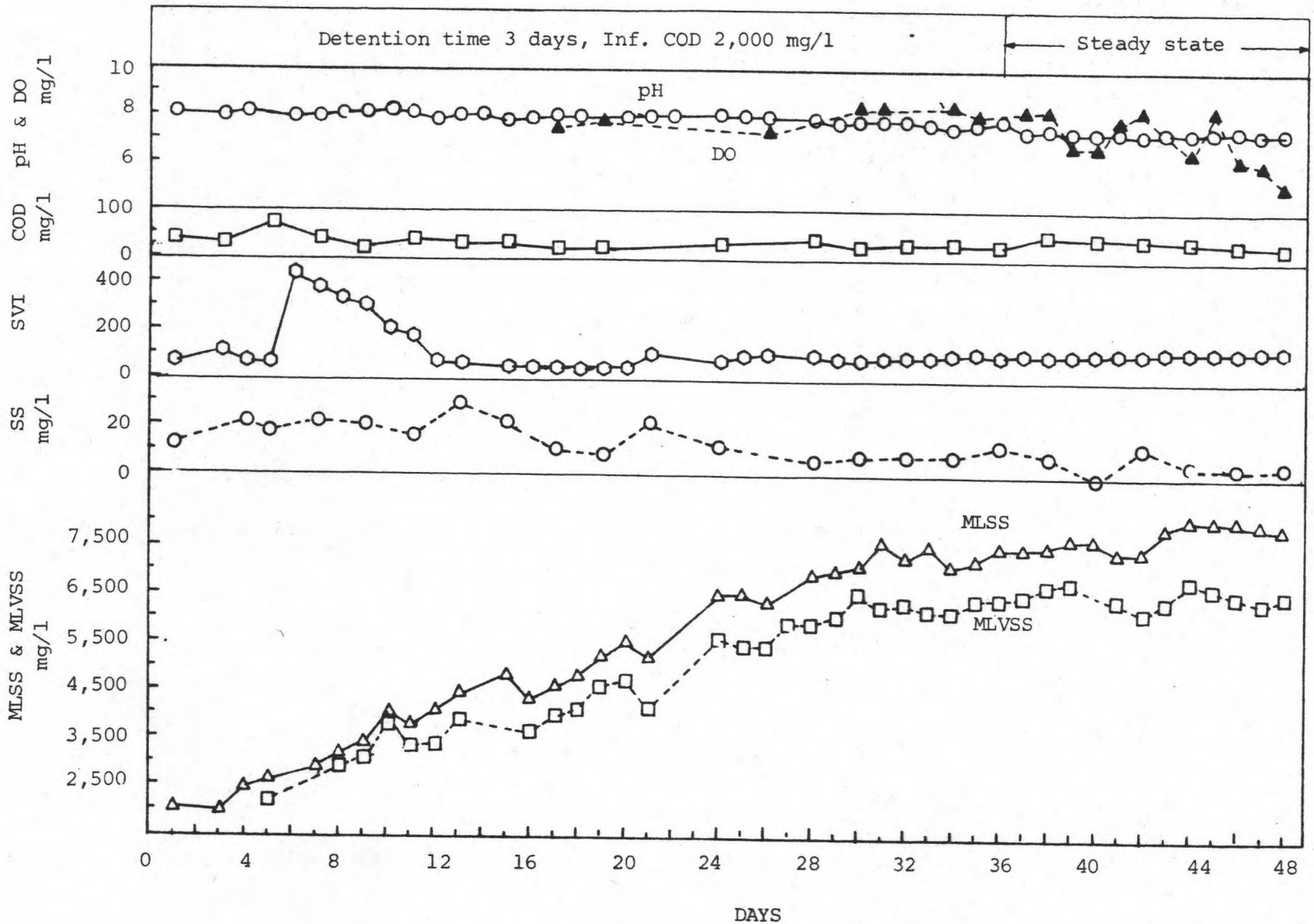
5.2 การทดลองชุดที่ 2 และ 3

การทดลองชุดที่ 2 และ 3 นี้ เป็นการทดลองของระบบ เอสบีอาร์ที่ถูกควบคุมให้มีการสูญเสียตะกอนน้อยที่สุด การสูญเสียตะกอนที่เกิดขึ้นนั้นมีสาเหตุมาจากความจำเป็นที่จะต้องนำน้ำผสมตะกอนเพื่อวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่สำคัญบางตัว โดยผู้วิจัยได้พยายามควบคุมให้แต่ละการทดลองมีเวลาเก็บกักตะกอนสูงประมาณ 200 วัน เหมือนกัน จนสามารถกล่าวได้ว่าการทดลองชุดที่ 2 และ 3 นี้ เป็นการทดลองของระบบ เอสบีอาร์ที่ไม่มีการระบายตะกอนทิ้ง (อย่างตั้งใจ) เลย ซึ่งจะทำให้เรามองเห็นอิทธิพลของเวลากักน้ำที่มีต่อการทำงานของระบบได้อย่างชัดเจน ข้อมูลจากการทดลองได้แสดงอยู่ในภาพที่ 5.8 ถึง 5.19

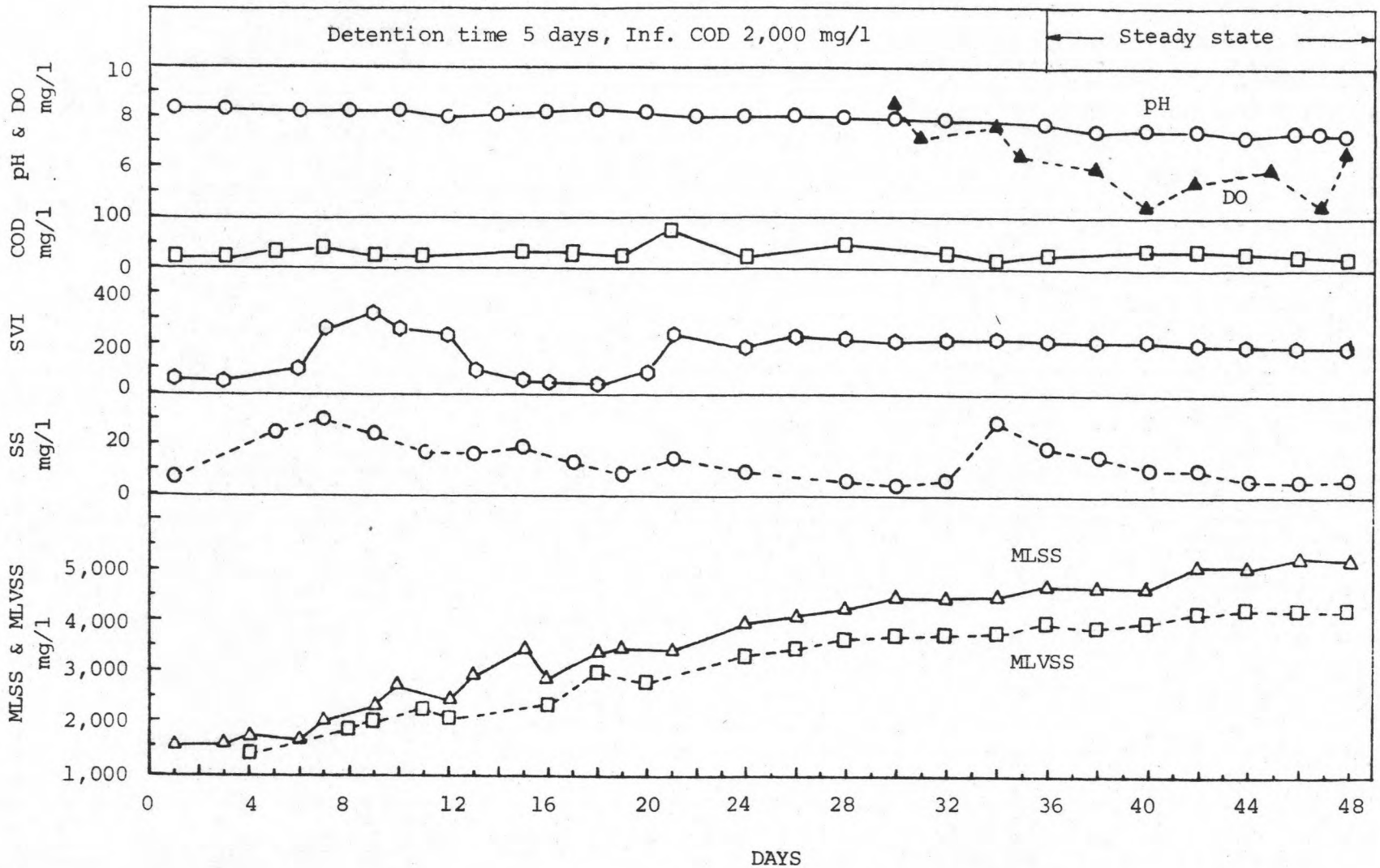
5.2.1 ความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพ (MLVSS)

จากผลการทดลองทั้ง 2 ชุดนี้ เราสามารถมองเห็นอิทธิพลของเวลากักน้ำที่มีต่อความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพได้อย่างชัดเจน ความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพจะแปรผกผันกับเวลากักน้ำของแต่ละถัง กล่าวคือความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพจะลดลงในถังที่มีเวลากักน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 และภาพที่ 5.20 การทดลองทั้ง 2 ชุดต่างมีลักษณะเช่นเดียวกัน - สอดคล้องกับโมเดลทางจลน์ศาสตร์ของระบบ เอสบีอาร์ที่ไม่มีการระบายตะกอนทิ้ง ดังที่ได้เคยกล่าวไว้มาแล้วในหัวข้อ 3.2.1

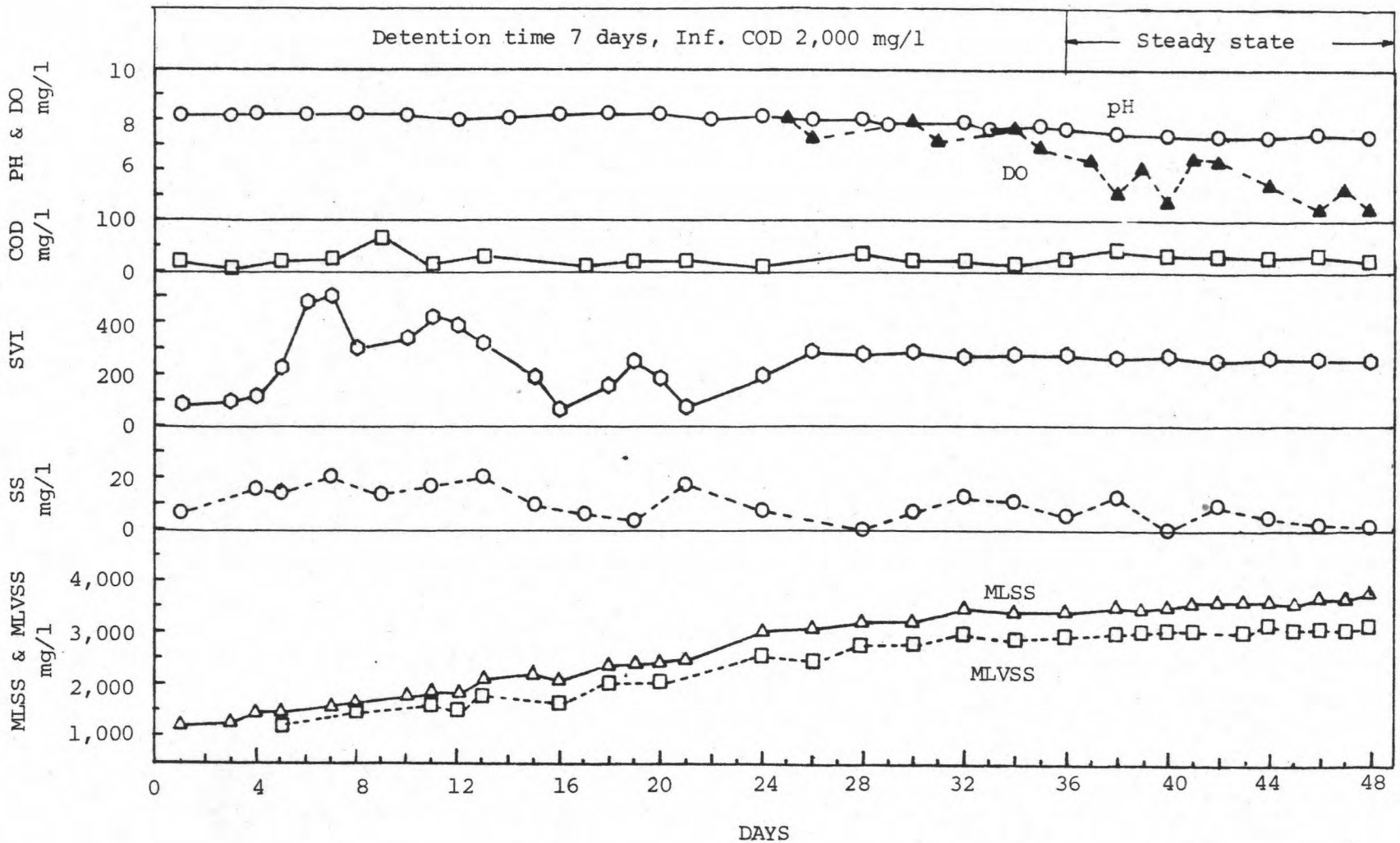
อนึ่ง เมื่อสังเกตุดูร้อยละของ MLVSS จากตารางที่ 5.3 และภาพที่ 5.23 จะเห็นได้ว่า ร้อยละของ MLVSS เพิ่มขึ้นเมื่อเวลากักน้ำยาวนานขึ้น



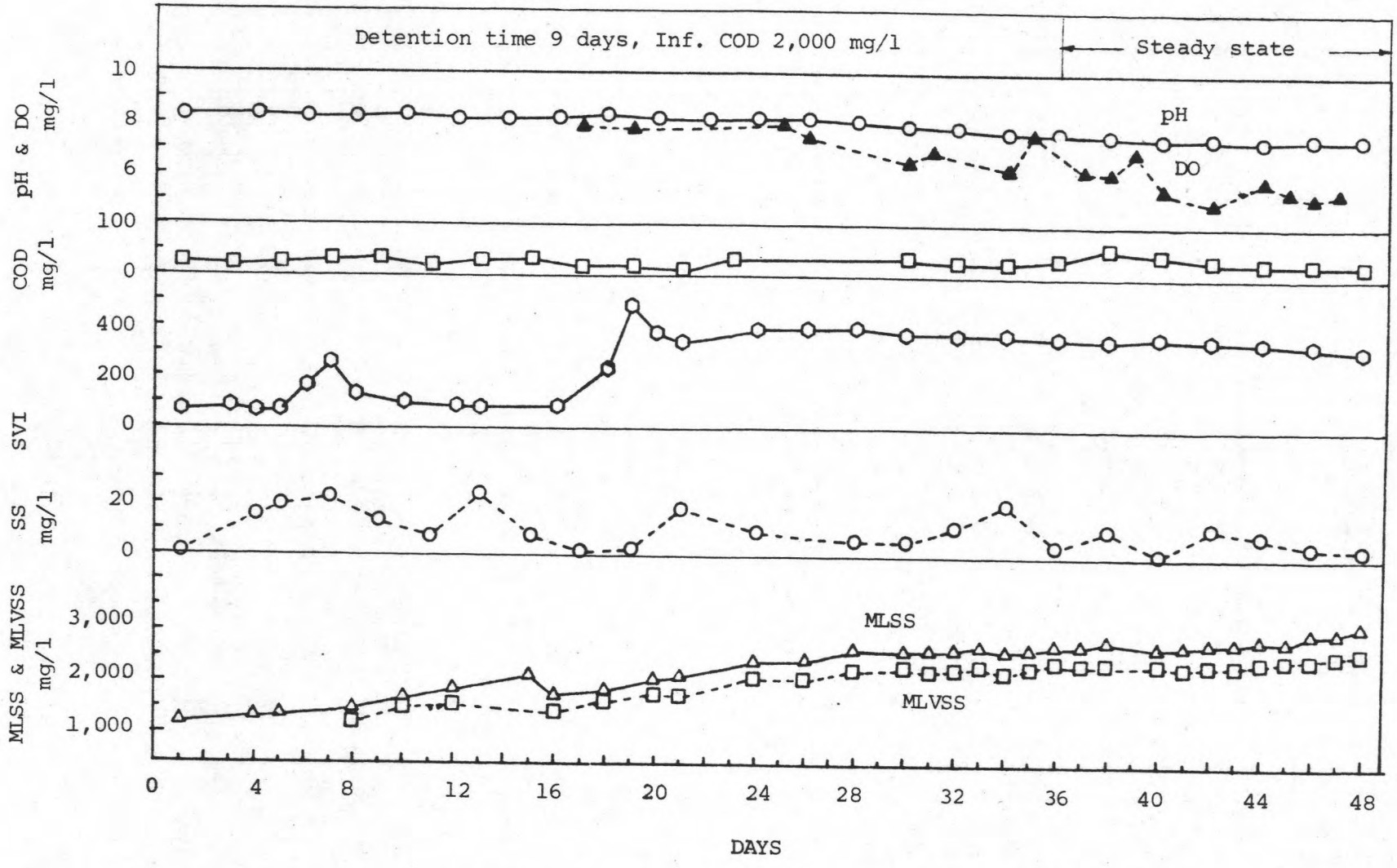
ภาพที่ 5.8 ผลการทดลองที่ 2.1 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 200 วัน)



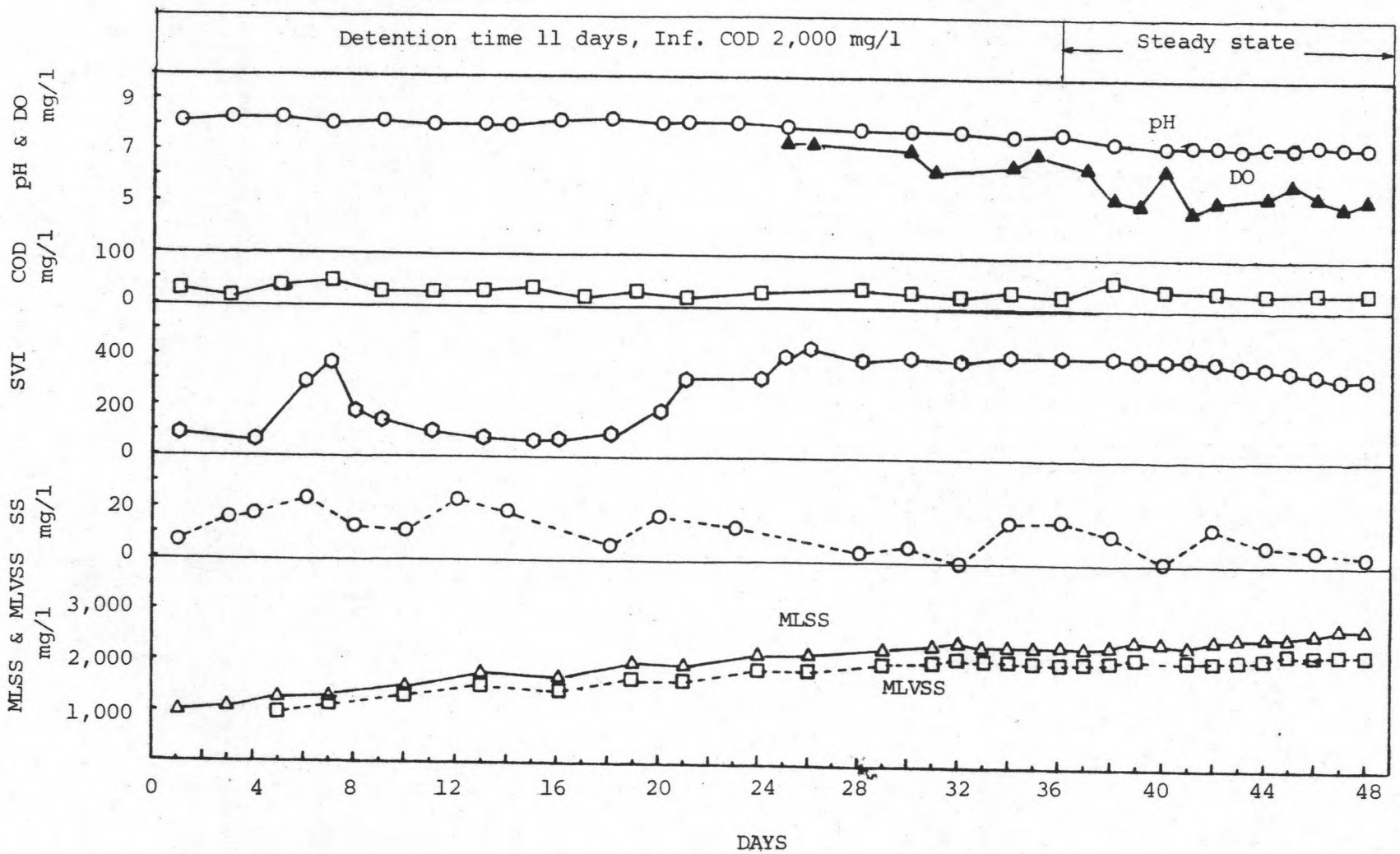
ภาพที่ 5.9 ผลการทดลองที่ 2.2 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 200 วัน)



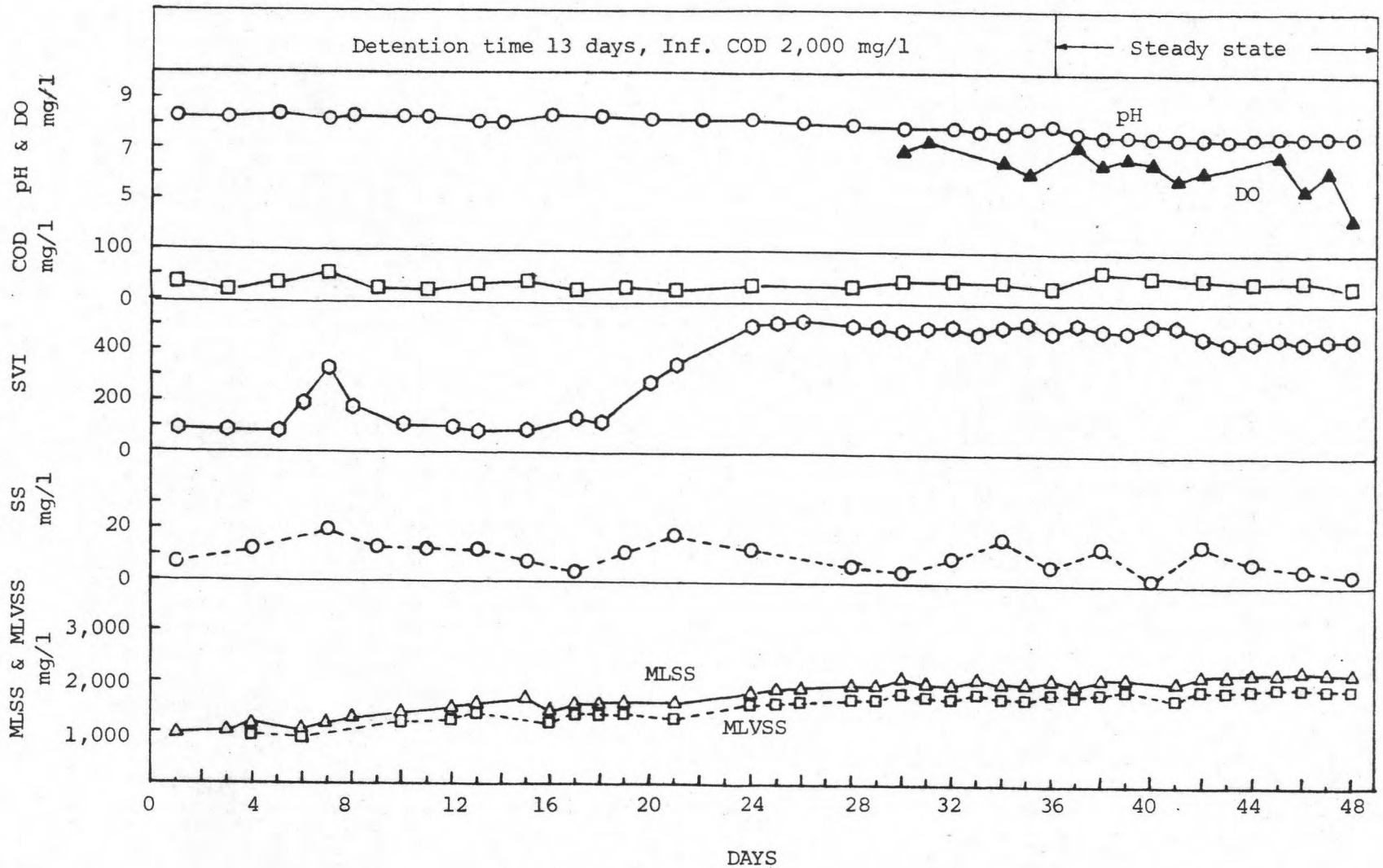
ภาพที่ 5.10 ผลการทดลองที่ 2.3 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 200 วัน)



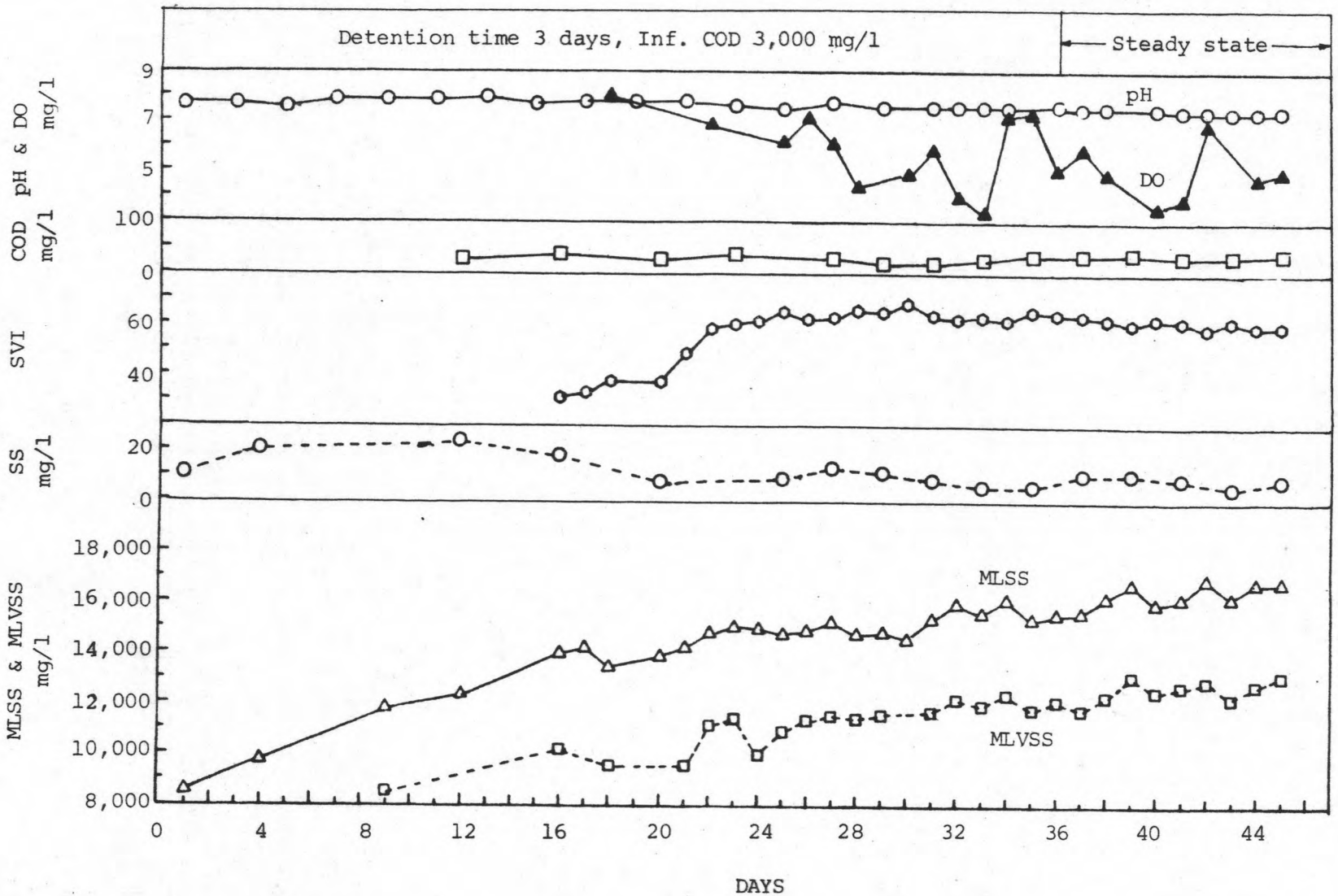
ภาพที่ 5.11 ผลการทดลองที่ 2.4 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 200 วัน)



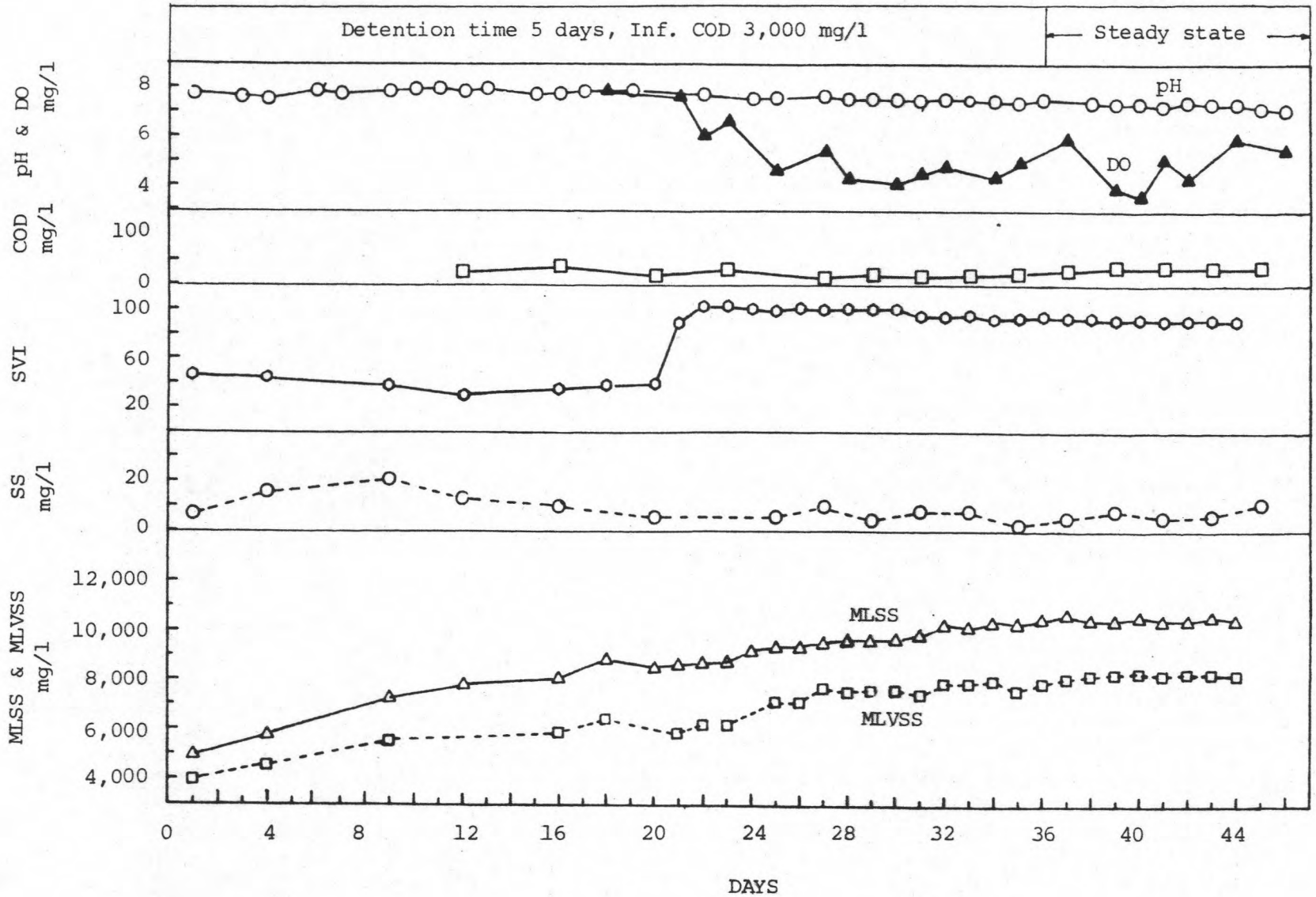
ภาพที่ 5.12 ผลการทดลองที่ 2.5 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 200 วัน)



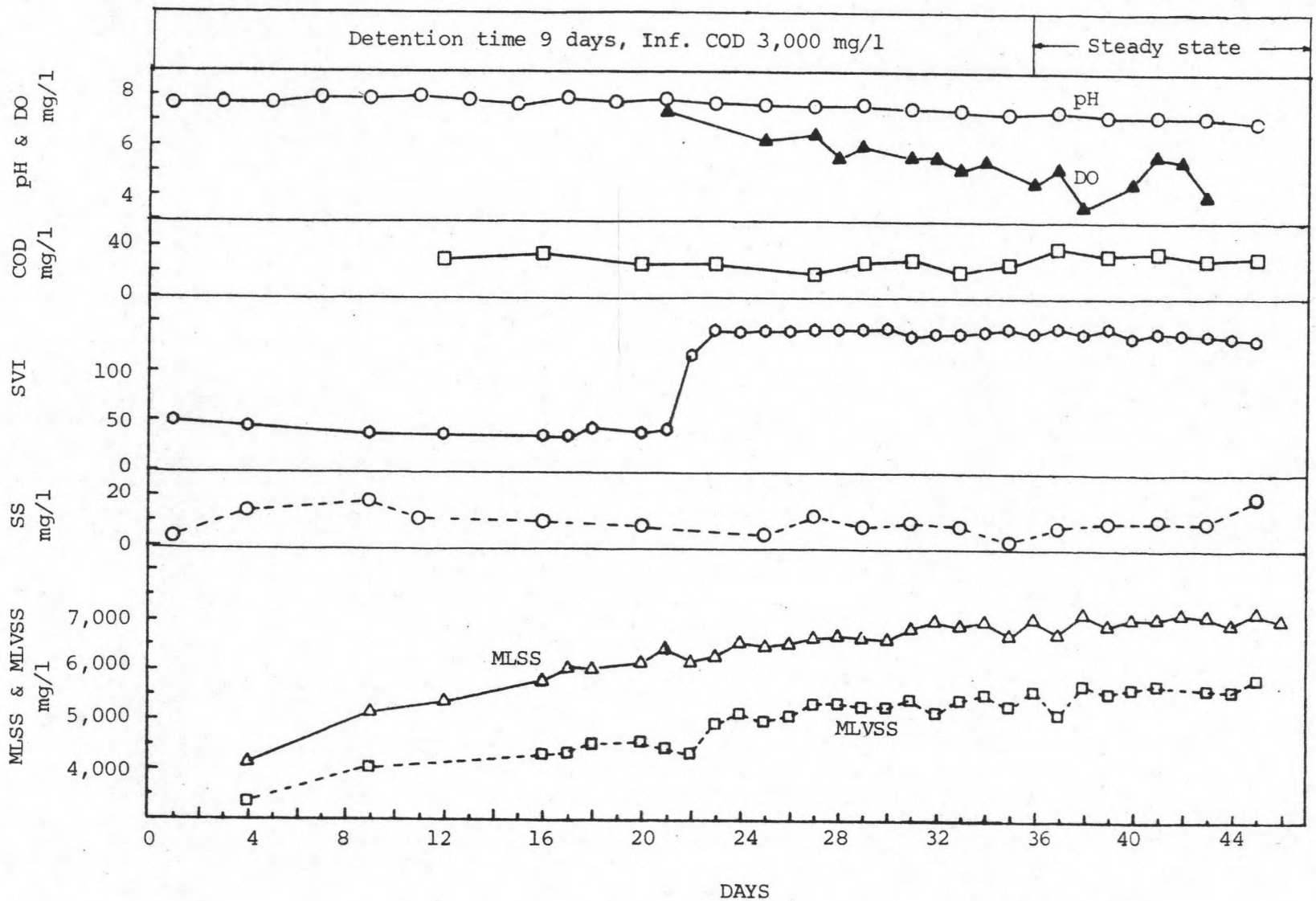
ภาพที่ 5.13 ผลการทดลองที่ 2.6 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 200 วัน)



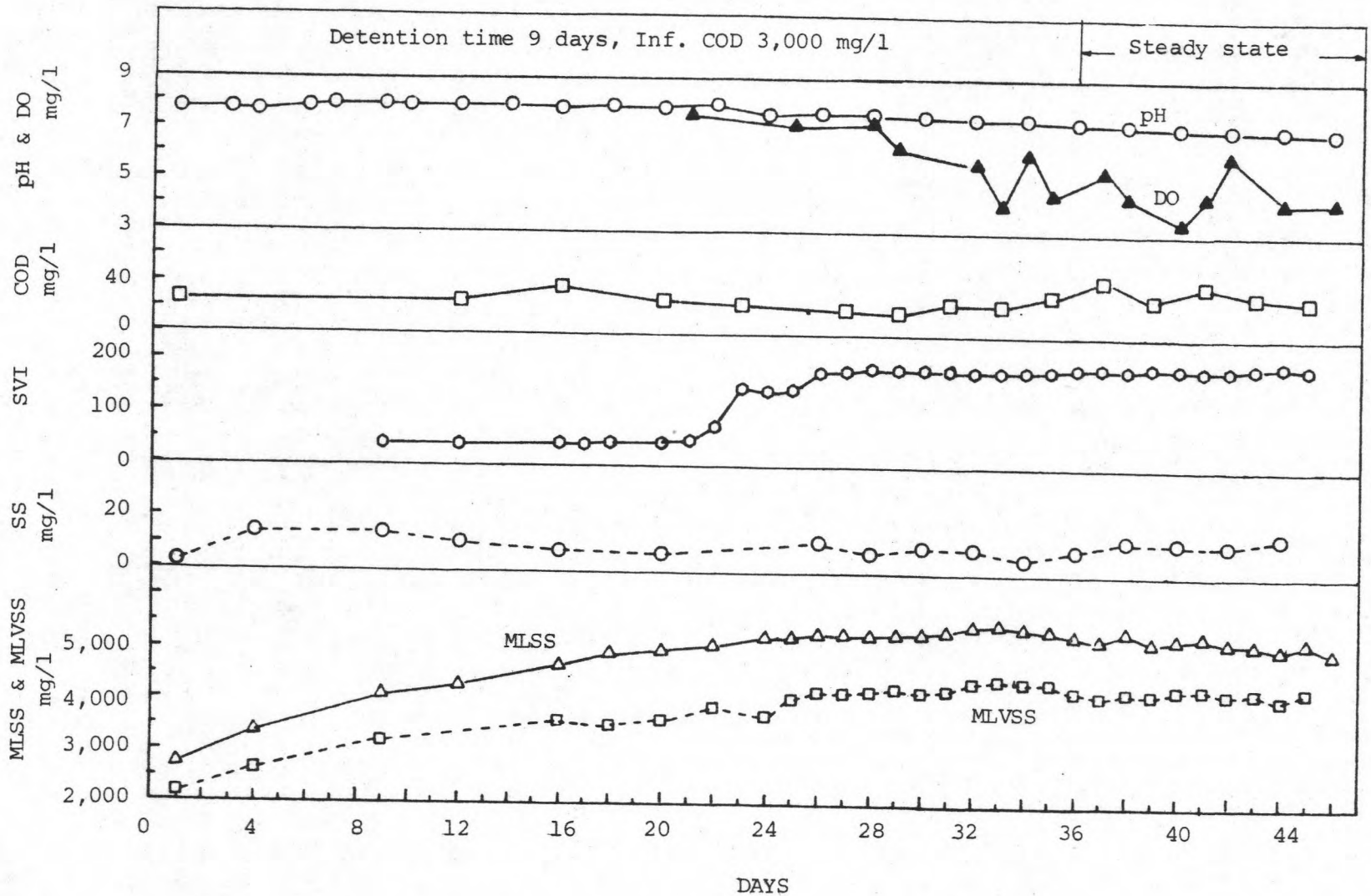
ภาพที่ 5.14 ผลการทดลองที่ 3.1 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 200 วัน)



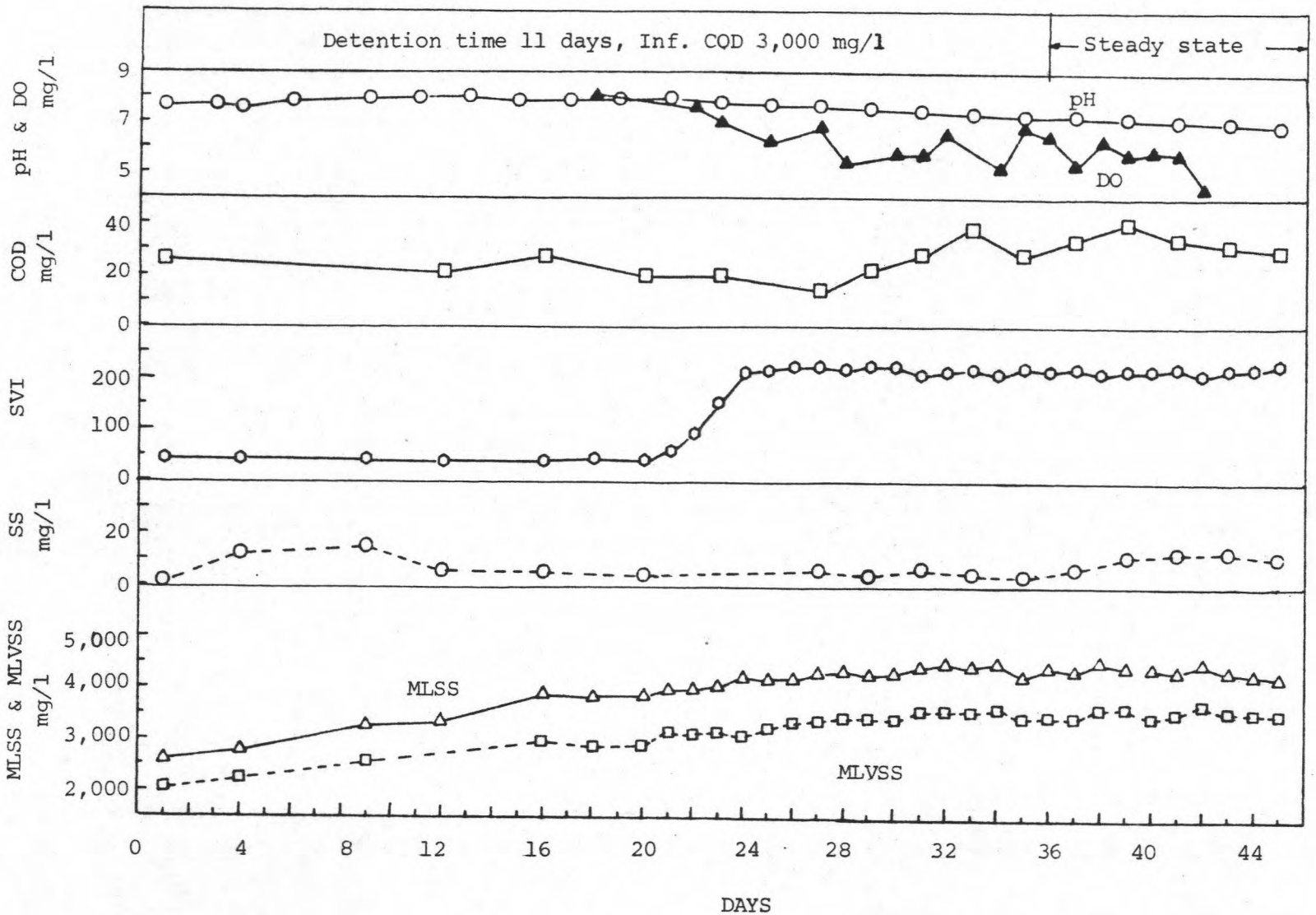
ภาพที่ 5.15 ผลการทดลองที่ 3.2 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 200 วัน)



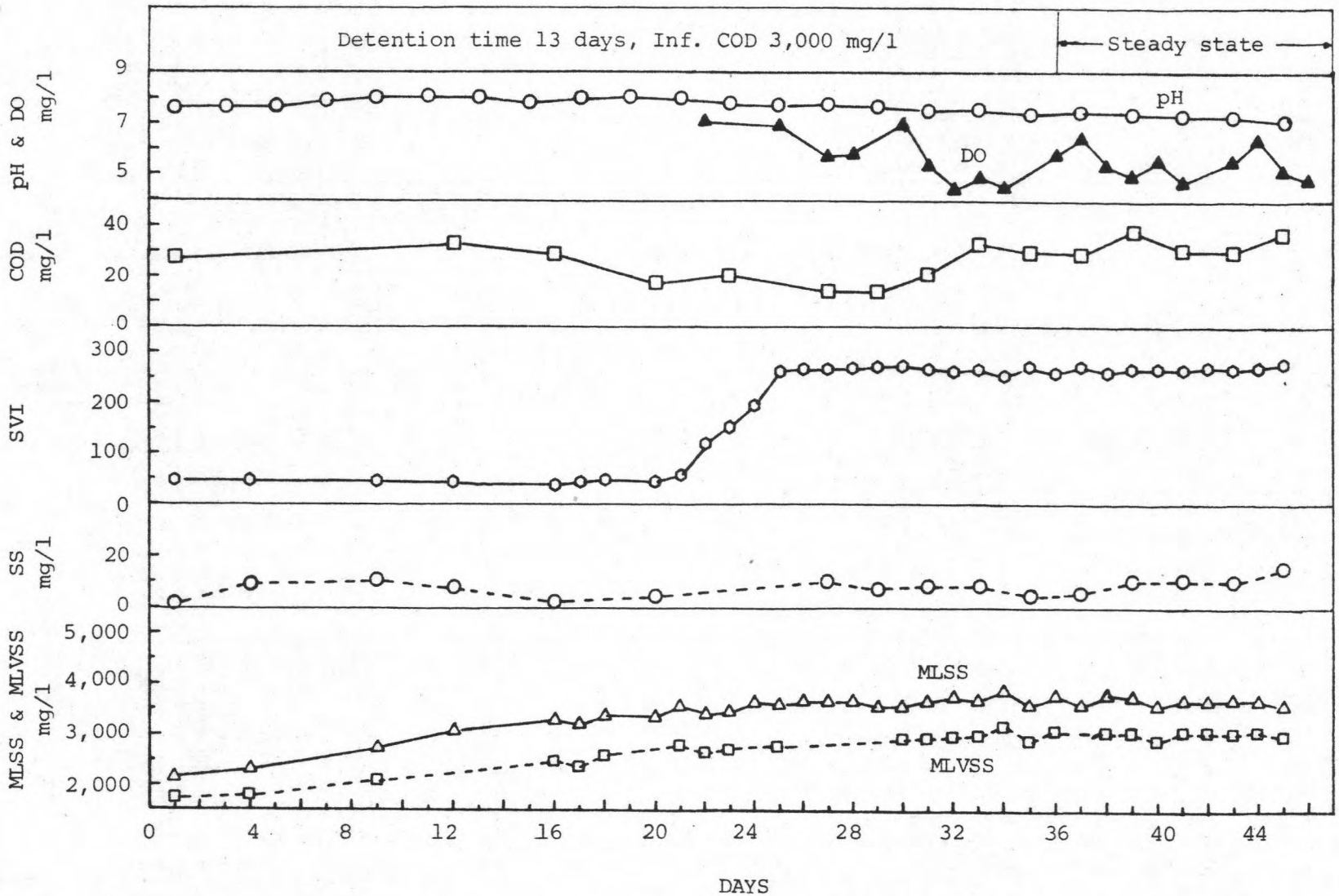
ภาพที่ 5.16 ผลการทดลองที่ 3.3 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 200 วัน)



ภาพที่ 5.17 ผลการทดลองที่ 3.4 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 200 วัน)



ภาพที่ 5.18 ผลการทดลองที่ 3.5 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 200 วัน)



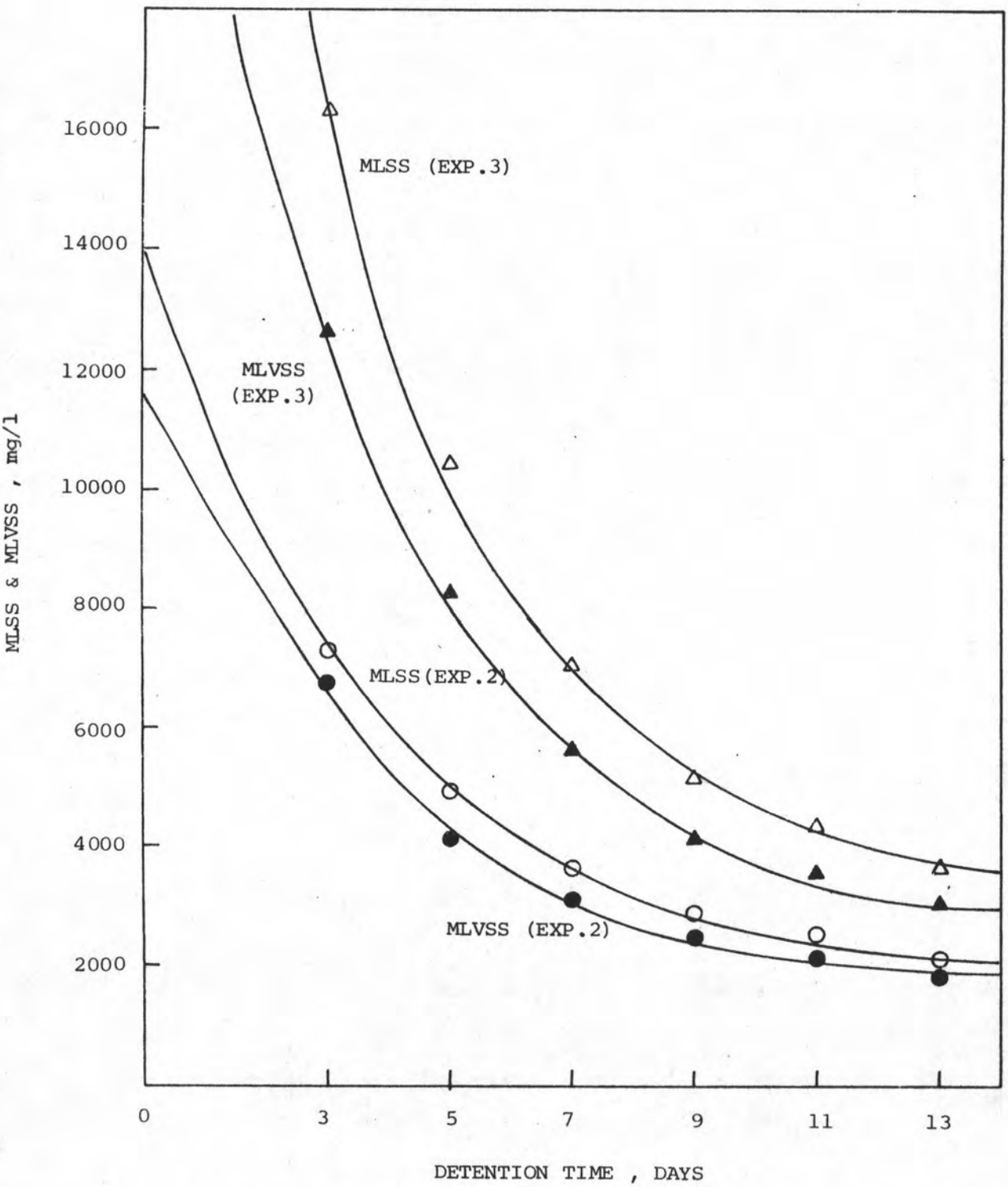
ภาพที่ 5.19 ผลการทดลองที่ 3.6 ของระบบเอสบีอาร์ (เวลากักตะกอน 200 วัน)

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองชุดที่ 2 และ 3

Exp.no	Det.time day	MLSS mg/l	MLVSS mg/l	SVI	% COD Removal	EFF.SS mg/l	% MLVSS
2.1	3	7294	6074	116	98.0	7	83.3
2.2	5	4917	4111	202	98.5	10	83.6
2.3	7	3641	3109	272	98.2	6.6	85.4
2.4	9	2875	2480	347	98.3	6.3	86.3
2.5	11	2516	2153	383	98.3	9	85.6
2.6	13	2115	1828	465	98.2	6.6	86.4
3.1	3	16315	12637	60	98.9	8	77.5
3.2	5	10451	8242	93	98.8	8	78.9
3.3	7	7047	5629	139	98.9	12	79.9
3.4	9	5150	4161	189	98.9	11	80.8
3.5	11	4393	3558	223	98.9	11	81.0
3.6	13	3656	3010	268	98.9	10	82.3

หมายเหตุ : 1) ซีโอดี เข้า ของการทดลองชุดที่ 2 เท่ากับ 2,000 มก/ล.

2) " " 3 " 3,000 มก/ล.



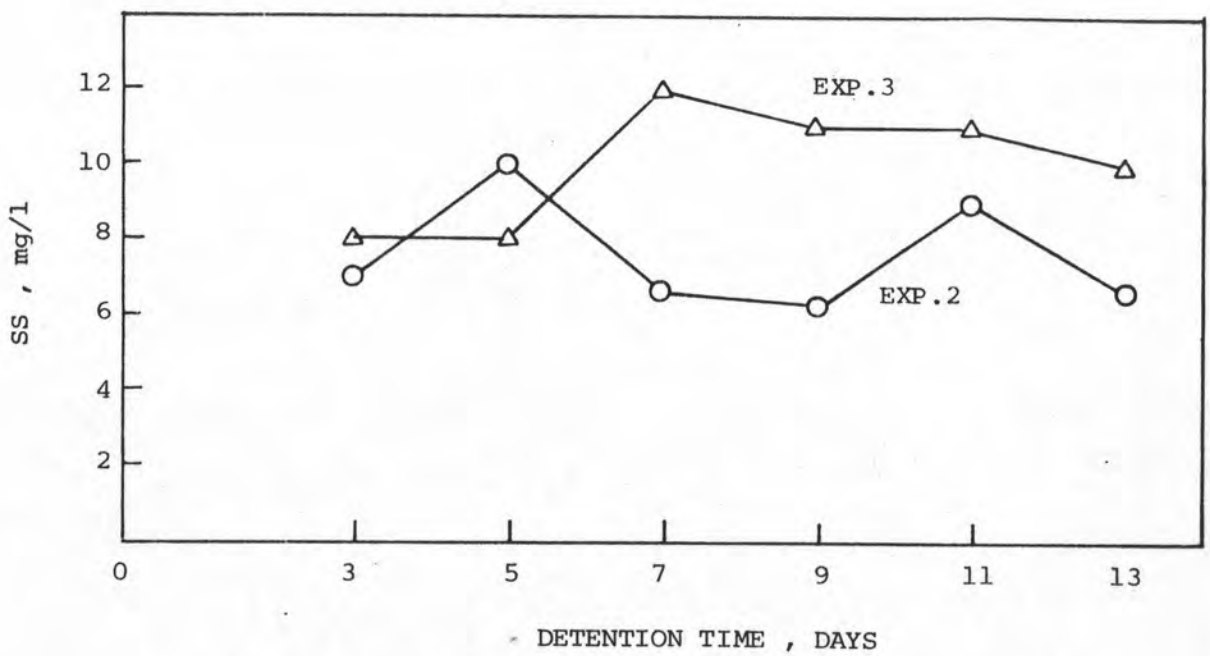
ภาพที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง MLSS & MLVSS กับเวลากักน้ำของการทดลองชุดที่ 2 และ 3

หมายเหตุ : การทดลองชุดที่ 2 ให้น้ำเสียมีซีโอดี 2,000 มก/ล.

การทดลองชุดที่ 3 ใช้น้ำเสียมีซีโอดี 3,000 มก/ล.

5.2.2 ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ระบายออกจากถังปฏิกิริยา

ตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งเป็นดรรชนี ตัวหนึ่งที่ที่ให้เห็นความสำเร็จของระบบขจัดน้ำเสีย ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าระบบแอคติเวตเตดสลัดจ์ มักประสบกับความล้มเหลวเมื่อไม่สามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีตะกอนแขวนลอยต่ำได้ แต่จากผลการทดลองของระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีการระบายตะกอนทิ้งนี้พบว่า น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยอยู่ระหว่าง 6 ถึง 12 มก/ล. เท่านั้น แม้ว่าในบางการทดลองจะมีความเข้มข้นของตะกอน (MLSS) มากกว่า 16,000 มก/ล. ก็ตามข้อมูลเหล่านี้เป็นสิ่งที่ยืนยันให้เห็นว่าระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีการระบายตะกอนทิ้งสามารถขจัดข้อด้อยของระบบแอคติเวตเตดสลัดจ์ได้เป็นอย่างดี จากตารางที่ 5.3 และภาพที่ 5.21 กล่าวได้ว่า เวลากักน้ำของระบบมิได้มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้ง

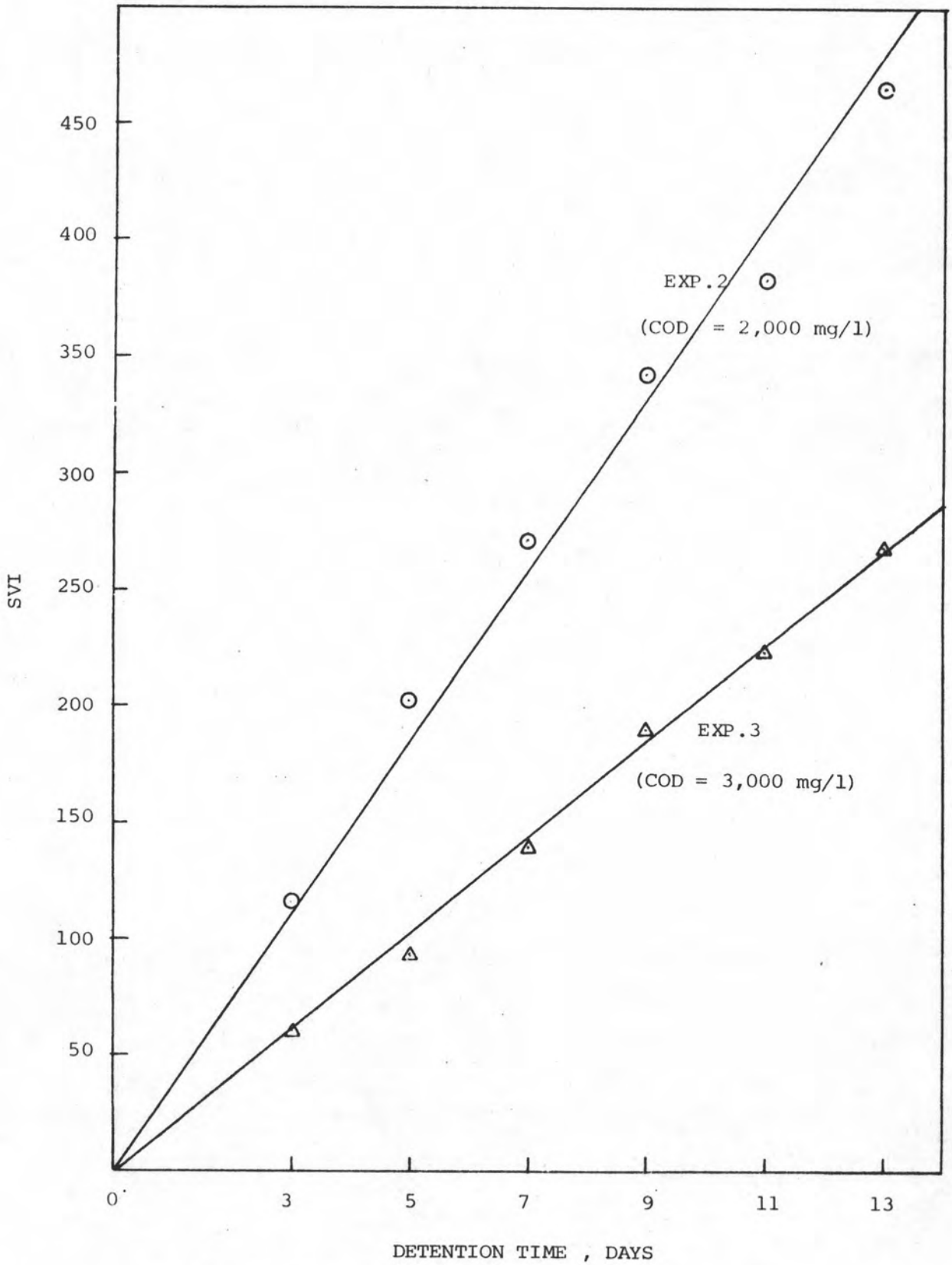


ภาพที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ระบายออกจากถังปฏิกิริยากับเวลากักน้ำของการทดลองชุดที่ 2 และ 3

5.2.3 ระดับเอสวีไอ

จากตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่า ในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 นี้ เอสวีไอ เป็นพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมาก กล่าวคือในการทดลองชุดที่ 2 เอสวีไอมีค่าอยู่ระหว่าง 110 จนถึง 500 และในการทดลองชุดที่ 3 เอสวีไอมีค่าอยู่ระหว่าง 50 ถึง 300 ซึ่งการทดลองทั้ง 2 ชุดให้ผลสอดคล้องกันในแง่ที่ว่า เอสวีไอจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลากักน้ำนานขึ้นโดยจะสามารถสังเกตได้จากภาพที่ 5.22 อันที่จริงแล้วระดับเอสวีไอที่สูงเกินไป (มากกว่า 200 ขึ้นไป) เป็นการแสดงว่าตะกอนจุลชีพมีการอัดตัวที่เลว ซึ่งจากการส่องดูด้วยกล้องจุลทัศน์พบว่ามีจุลชีพที่มีลักษณะเป็นเส้นเกิดขึ้นมากพอสมควร ทำให้ตะกอนมีน้ำหนักเบาและการตกตะกอนเป็นไปด้วยความยากลำบาก สำหรับในระบบแอคติเวตเตดสลัดจ์นั้น ถ้าหากเอสวีไอมีค่าสูงแล้ว น้ำทิ้งที่ออกมักจะพัดพาตะกอนปะปนออกมาเป็นจำนวนมาก แต่ในระบบเอสบีอาร์ตามที่ได้ทดลองมานี้มิได้เป็นเช่นนั้น เพราะน้ำทิ้งที่ออกมายังคงมีตะกอนแขวนลอยต่ำ (หัวข้อ 5.2.2) สาเหตุที่เป็นดังนี้เนื่องจากระบบเอสบีอาร์มีข้อได้เปรียบระบบแอคติเวตสลัดจ์ ในขณะที่ถังตกตะกอนของระบบแอคติเวตเตดสลัดจ์ต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความปั่นป่วนเกิดขึ้นตะกอนแขวนลอยที่เบา (จุลชีพแบบเป็นเส้น) จึงมีโอกาสหลุดออกจากระบบได้มาก แต่ระบบเอสบีอาร์ปล่อยให้มีการตกตะกอนในถังปฏิกิริยาโดยเพียงหยุดเครื่องเติมอากาศ ยังผลให้การตกตะกอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงเพราะไม่มีความปั่นป่วนเกิดขึ้น ทำให้จุลชีพชนิดเส้นมีโอกาสที่จะตกลงสู่ส่วนล่างของถังได้ง่ายขึ้น น้ำทิ้งที่ระบายออกจึงมีตะกอนแขวนลอยต่ำ แม้ว่าจะมีระดับเอสวีไอสูงมากก็ตาม

อย่างไรก็ตาม จากการทดลองชุดที่ 2 และ 3 นี้มีสิ่งที่น่าสนใจประการหนึ่ง คือในขณะที่เริ่มการทดลองนั้นระดับเอสวีไอจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ผู้วิจัยจึงได้ทดลองเปลี่ยนการป้อนน้ำเสียมาเป็นแบบเทโครม (Batch) อยู่เป็นบางวัน ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าระดับเอสวีไอมีค่าลดลงทันที สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เชื่อว่าในระบบแบบเทโครมมี Concentration Gradient เกิดขึ้น (11) และเมื่อกลับไปป้อนน้ำเสียตามปกติแล้ว ระดับเอสวีไอก็กลับสูงอีกครั้งหนึ่ง



ภาพที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง SVI กับเวลากักน้ำของการทดลอง

ชุดที่ 2 และ 3

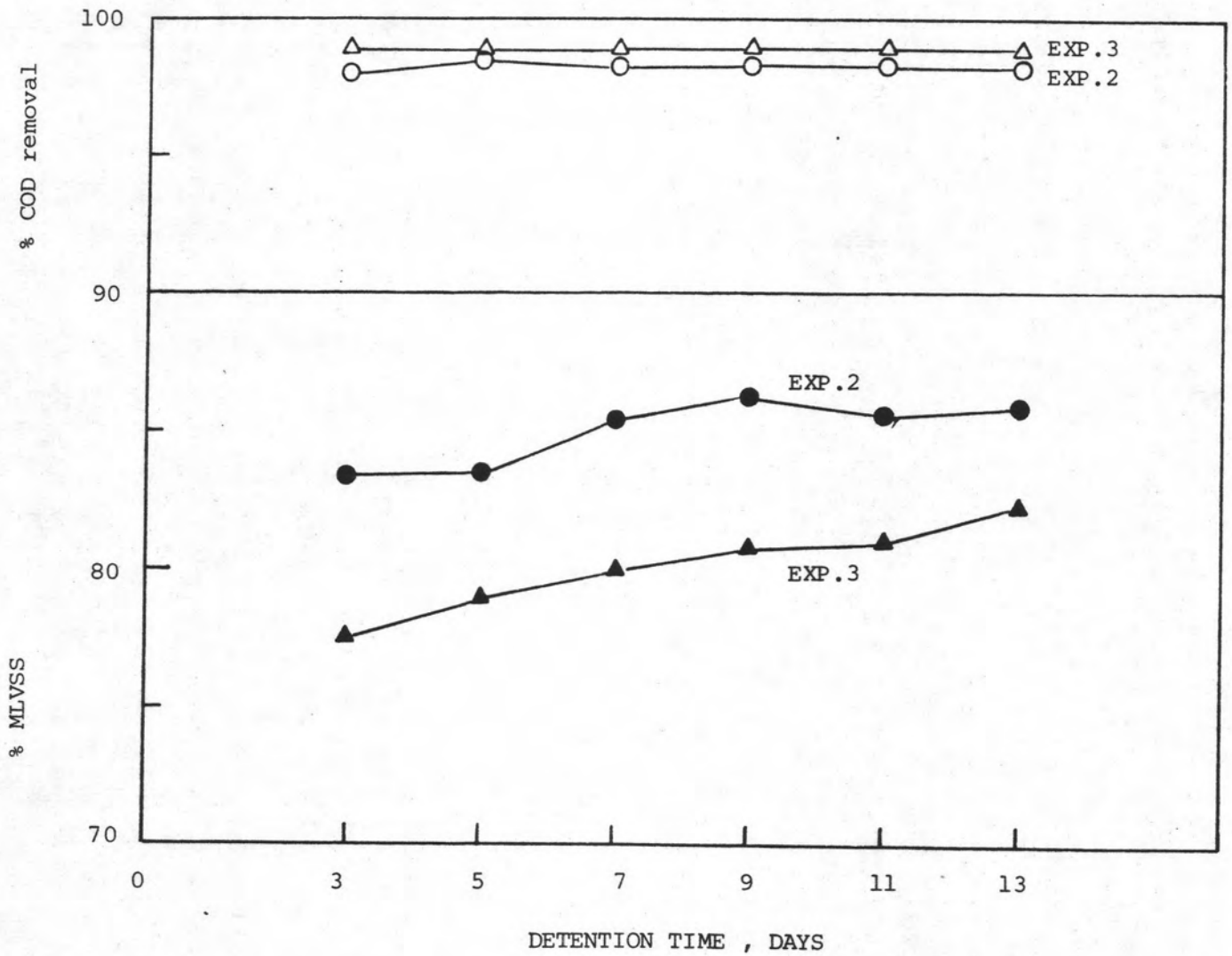
5.2.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

ในการทดลองที่ 2 และ 3 นี้ ได้ป้อนน้ำเสียที่มีซีโอดี 2000, และ 3000 มก/ล. ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าน้ำทิ้งที่ออกมีค่าซีโอดี (สารละลาย) ประมาณ 30 - 40 มก/ล. อันเป็นสิ่งซึ่งแสดงว่าระบบเอสบีอาร์มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 98 - 99 ใกล้เคียงกันในทุก ๆ ถัง จึงกล่าวได้ว่าเวลากักน้ำของระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีการระบายตะกอนไม่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งสอดคล้องกับที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2.1 ที่ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีการระบายตะกอนทิ้งจะมีค่าสูงสุด - เสมอ

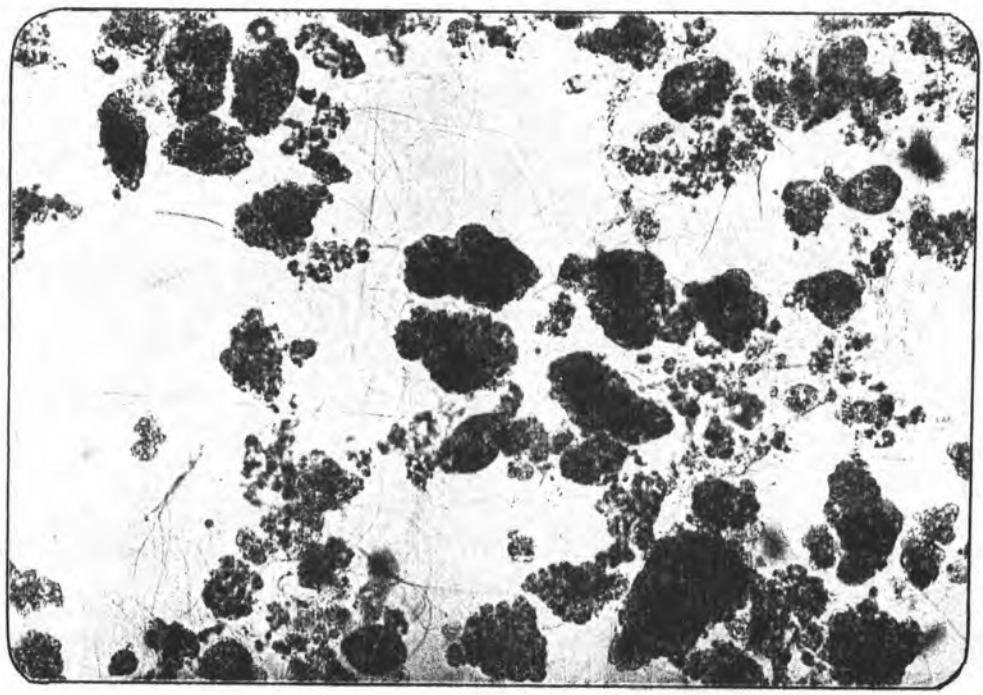
5.2.5 ลักษณะของจุลชีพ

ในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 นี้ ผู้วิจัยได้ตรวจสอบลักษณะจุลชีพ จากถังปฏิกิริยาด้วยกล้องจุลทัศน์อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งพบว่าในถังปฏิกิริยาทุก ๆ ถังต่างมีจุลชีพหลายชนิดปะปนกันอยู่ดังแสดงในภาพ 5.24 ถึง 5.29 อันได้แก่ Bacteria, Algae, Protozoa, Rotifer แต่จะพบจุลชีพชนิดเป็นเส้นค่อนข้างมาก ซึ่งจุลชีพชนิดนี้มีน้ำหนักเบาและมักก่อให้เกิดปัญหาตะกอนลอย (Bulking) แก่ระบบบำบัดน้ำทิ้งเช่นระบบแอคติเวเตดสลัดจ์อยู่เสมอ แต่อย่างไรก็ดี ในการทดลองครั้งนี้ปัญหาดังกล่าวยังมีผลต่อการทำงานของระบบเอสบีอาร์ไม่มากนัก ในการทดลองครั้งนี้พบว่าในถังปฏิกิริยาจะมีเมือกสีดำลอยปะปนอยู่ ซึ่งคาดว่าคงเป็นทรากของจุลชีพที่ตายแล้ว

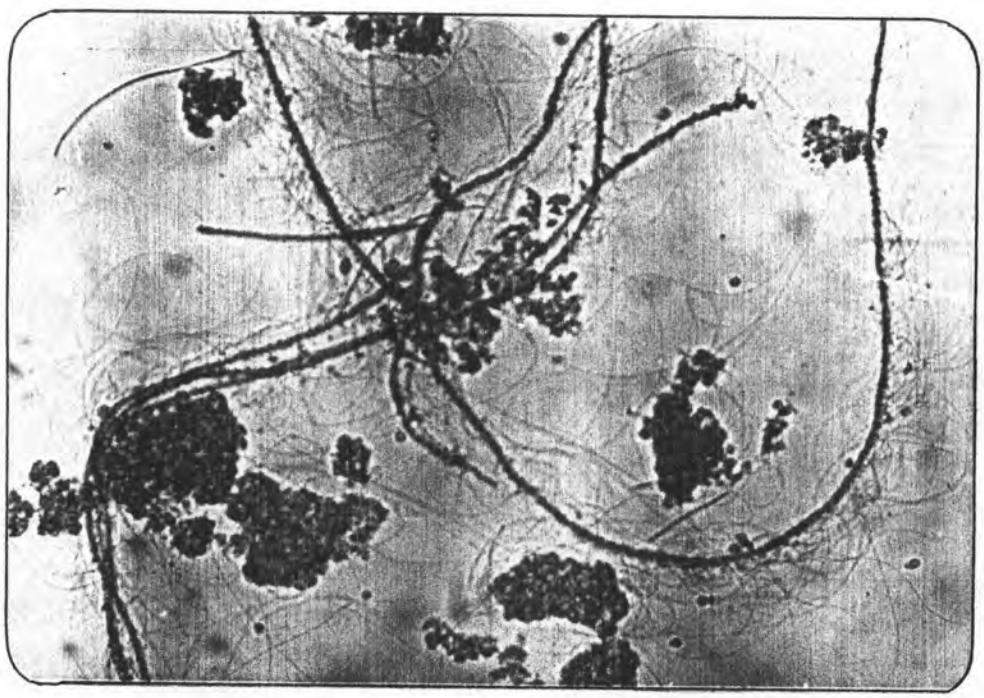
อนึ่งภาพที่นำแสดงให้ดูนั้น เป็นเพียงตัวอย่างบางส่วนของจุลชีพที่อยู่อย่างมากมายเท่านั้น



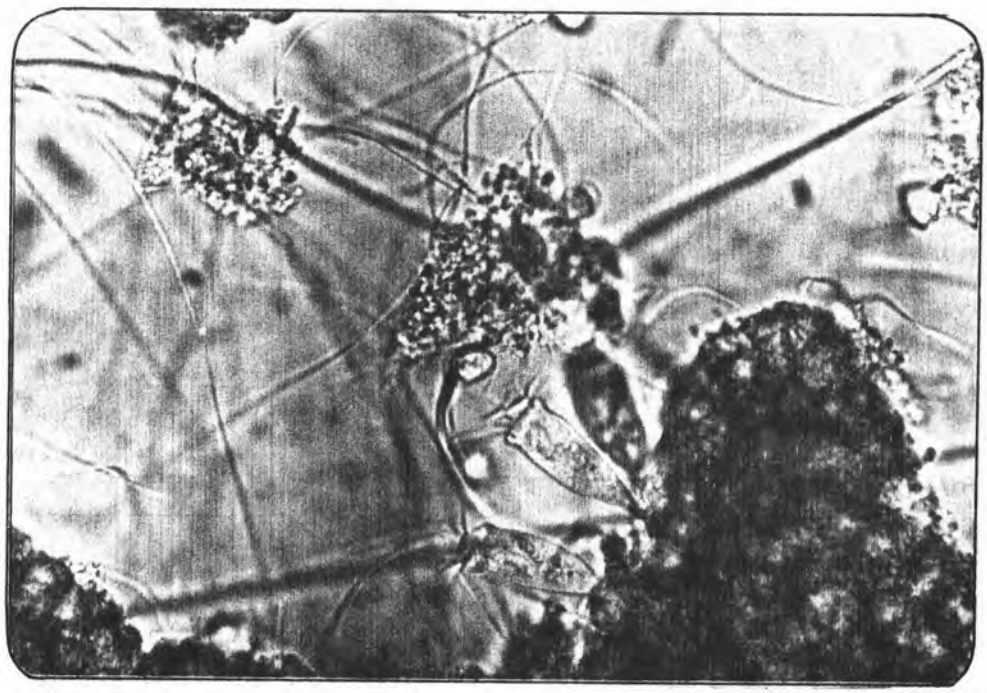
ภาพที่ 5.23 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี และ % MLVSS กับเวลากักน้ำของการทดลองชุดที่ 2 และ 3



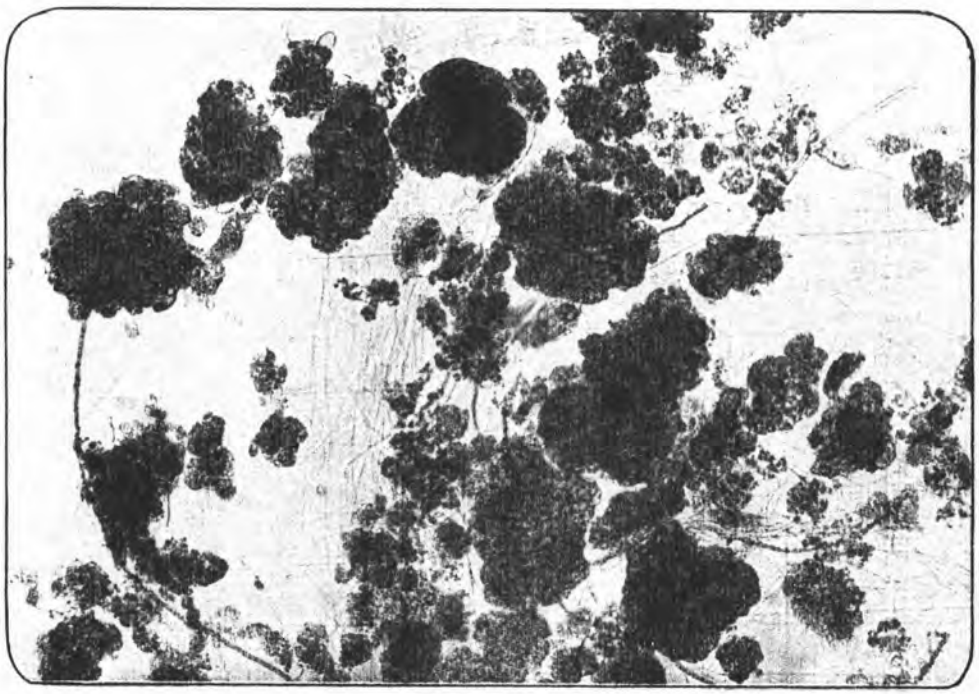
ภาพที่ 5.24 ลักษณะของจุลชีพ (ขยาย 100 เท่า) ในระบบเอสบีอาร์ (การทดลองที่ 3.1) เวลากักน้ำ 3 วัน, SVI เท่ากับ 60, ซีโอดีเข้า 3,000 มก/ล.



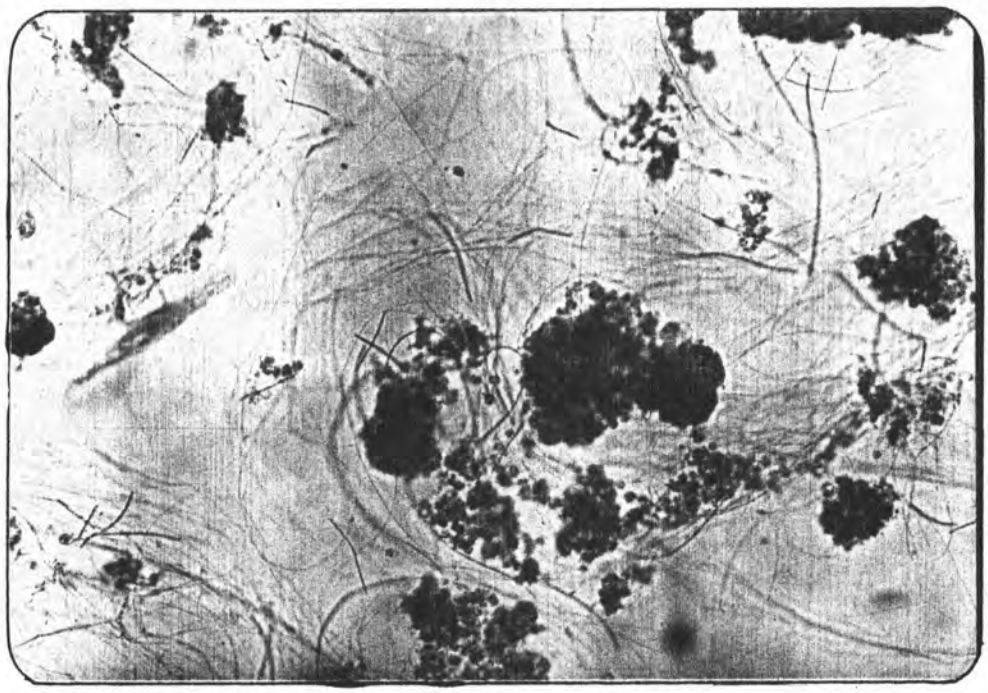
ภาพที่ 5.25 ลักษณะของจุลชีพ (ขยาย 100 เท่า) ในระบบเอสบีอาร์ (การทดลองที่ 3.2) เวลากักน้ำ 5 วัน, SVI เท่ากับ 93 ซีโอดีเข้า 3,000 มก/ล.



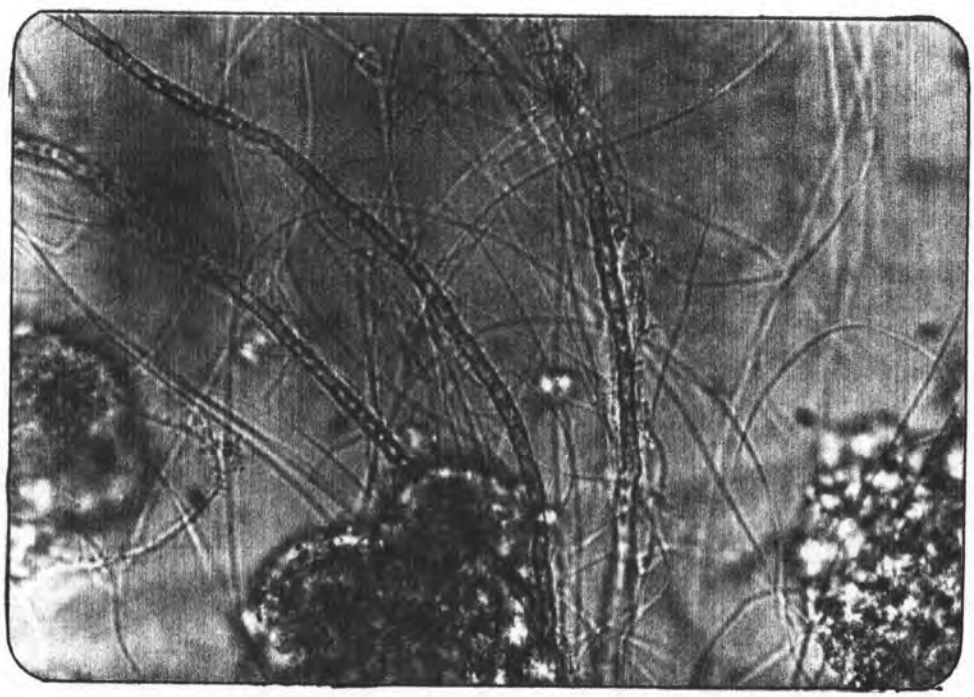
ภาพที่ 5.26 ลักษณะของจุลชีพ (ขยาย 400 เท่า) ในระบบเอสบีอาร์ (การทดลองที่ 3.3) เวลากักน้ำ 7 วัน, SVI เท่ากับ 139 ซีโอดีเข้า 3,000 มก/ล.



ภาพที่ 5.27 ลักษณะของจุลชีพ (ขยาย 100 เท่า) ในระบบเอสบีอาร์ (การทดลองที่ 3.4) เวลากักน้ำ 9 วัน, SVI เท่ากับ 189 ซีโอดีเข้า 3,000 มก/ล.



ภาพที่ 5.28 ลักษณะของจุลชีพ (ขยาย 100 เท่า) ในระบบเอสบีอาร์ (การทดลองที่ 3.5) เวลากักน้ำ 11 วัน, SVI เท่ากับ 223 ซีโอดีเข้า 3,000 มก/ล.



ภาพที่ 5.29 ลักษณะของจุลชีพ (ขยาย 400 เท่า) ในระบบเอสบีอาร์ (การทดลองที่ 3.6) เวลากักน้ำ 13 วัน, SVI เท่ากับ 268 ซีโอดีเข้า 3,000 มก/ล.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.6 ดีโอ

ตลอดการทดลองชุดที่ 2 และ 3 นี้ ผู้วิจัยได้พยายามควบคุมให้มีค่าดีโอสูงกว่า 2 มก/ล ในทุก ๆ ถัง ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าสภาพภายในถังมีออกซิเจนเพียงพอสำหรับการกำจัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน

5.2.7 พีเอช

ในช่วงสภาวะคงที่ (Steady state) การทดลองชุดที่ 2 มีค่า พีเอช อยู่ในช่วง 7.3 - 7.5 ใกล้เคียงกันในทุก ๆ ถัง ส่วนการทดลองชุดที่ 3 พีเอชมีค่าอยู่ในช่วง 7.0-7.3 ใกล้เคียงกันในทุก ๆ ถัง ค่าพีเอชของการทดลองทั้ง 2 ชุด มีระดับอยู่ในช่วงที่เหมาะสมไม่เป็นพิษต่อการทำงานของจุลชีพแต่อย่างใด ส่วนสาเหตุที่ค่าพีเอชในการทดลองชุดที่ 3 มีค่าต่ำกว่าค่าพีเอชในการทดลองชุดที่ 2 นั้น เชื่อว่า ในขณะที่เกิดไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) ในถังปฏิกิริยานั้น จำเป็นต้องใช้ความเป็นด่าง (Alkalinity) จำนวนหนึ่งแต่อัตราส่วนระหว่างสารประกอบไนโตรเจนต่อความเป็นด่างของการทดลองชุดที่ 3 มีมากกว่าของการทดลองชุดที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 (ความเข้มข้นของ Bacto-peptone ของการทดลองชุดที่ 3 เพิ่มขึ้นในขณะที่ความเข้มข้นของโซเดียมไบคาร์บอนเนตมีค่าคงที่) การทดลองชุดที่ 3 จึงมีการใช้ความเป็นด่างมากกว่า ทำให้พีเอชมีค่าลดลง

5.2.8 การหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ศาสตร์

จากหัวข้อ 3.3 ตามที่ได้กล่าวแล้วว่า โมเดลทางจลน์ศาสตร์ของระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีการระบายตะกอนทิ้งมีดังนี้

$$\frac{S_o - S}{X} = \frac{b\tau}{Y_g}$$

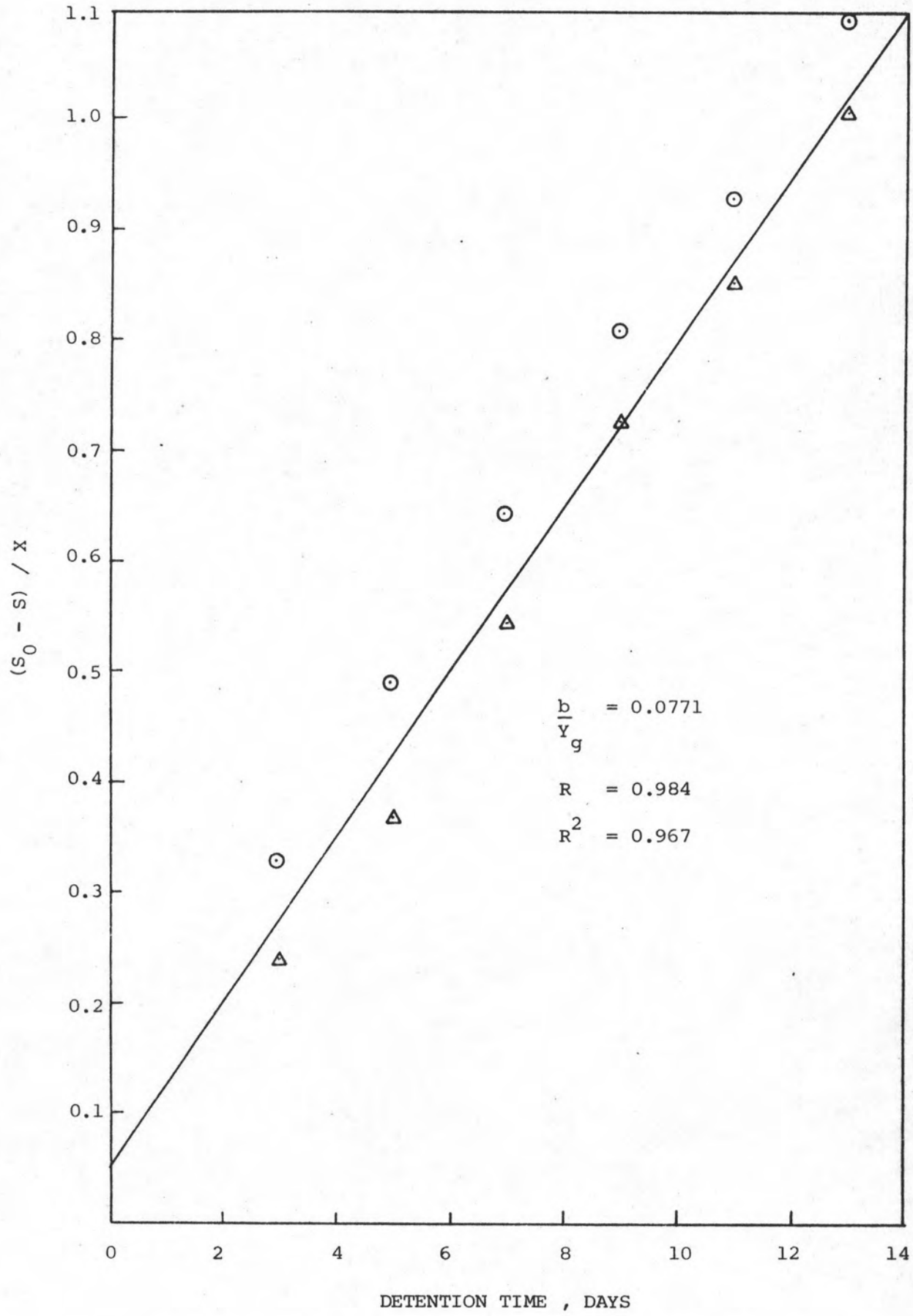
จากข้อมูลในตารางที่ 5.4 และภาพที่ 5.30 สรุปได้ว่า

$$\frac{b}{Y_g} = 0.0771$$

เส้นกราฟที่ได้เป็นเส้นตรงตัดแกน $(S_o - S)/X$ ที่จุด 0.05 ซึ่งใกล้เคียงกับจุดกำเนิดมาก ตามทฤษฎีนั้นเส้นกราฟจะต้องผ่านจุดกำเนิดพอดี แต่อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นก็นับว่ามีน้อยมาก ส่วนหนึ่งเชื่อว่าเกิดขึ้นเพราะว่าเวลากักตะกอนที่เกิดขึ้นจริงมิใช่อนันต์ (Infinity) ตามสมมติฐานที่กำหนดไว้

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลจากการทดลองชุดที่ 2 และ 3 เพื่อนำไปหาพารามิเตอร์ทางจลน์ศาสตร์

Exp. No.	τ days	S_o mg/l	S mg/l	X mg/l	$\frac{S_o - S}{X}$
2.1	3	2037	40	6074	0.329
2.2	5	2037	29.6	4111	0.488
2.3	7	2037	35.8	3109	0.644
2.4	9	2037	33.8	2480	0.808
2.5	11	2037	35.6	2153	0.93
2.6	13	2037	37.3	1828	1.094
3.1	3	3067	32.6	12637	0.24
3.2	5	3067	36.2	8242	0.368
3.3	7	3067	34.2	5629	0.539
3.4	9	3067	33.8	4161	0.729
3.5	11	3067	34.8	3558	0.852
3.6	13	3067	32.6	3010	1.008



ภาพที่ 5.30 การหาค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ศาสตร์ของการทดลองชุดที่ 2 และ 3