หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 การบำบัดน้ำส่าเหล้าขั้นต้นด้วยเครื่องกรองไร้อากาศ

น้ำส่าเหล้าที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จะถูกทำให้เจือจางก่อน (ดูหัวข้อ 4.2) ค่าซีโอดีจะเหลือประมาณ 20,000-25,000 มก./ลบ.ดม. น้ำส่าเหล้านี้จะถูกป้อนเข้าเครื่องไร้อากาศ ควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียให้คงที่ประมาณ 20 ลบ.ซม./นาที คิดเป็นค่าอินทรีย์บรรทุกประมาณ 8-9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน[41] น้ำส่าเหล้าที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นจะมีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดนี้จะถูกป้อนเข้าระบบอาร์บีซีต่อไป

ตารางที่ 5.1 แสดงลักษณะเฉลี่ยของน้ำส่าเหล้าที่จะส่งเข้าอาร์บีซีสำหรับการวิจัยครั้งนี้

ลักษณะน้ำเสีย		ช่วง	เฉลี่ย
ซีโอดี	มก./ลบ.ดม	13,916 - 17,455	15,686
บีโอดี	มก./ลบ.ดม.	4,430 - 7,741	6,086
ไนโตรเจนทั้งหมด	มก./ลบ.ดม.	127 - 490	309
สารแขวนลอย	มก./ลบ.ดม.	190 - 815	503
พีเอช		5.49 - 6.87	6.18
สี		-	น้ำตาล

5.2 การเพาะเลี้ยงเมือกจุลชีพของอาร์บีซี

การที่จะให้ได้เมือกจุลชีพเกาะบนวัสดุยึดเกาะสามารถทำได้โดยนำน้ำส่าเหล้าที่ผ่านการบำบัดโดยเครื่องกรองไร้อากาศใส่ไปในถังปฏิกิริยาของอาร์บีซี ตอนละ 1 ลบ.ดม. แล้วเติม

น้ำสะอาดจนเต็มทุก ๆ ตอน จากนั้นหมุนอาร์บีซีของหุ่นจำลองด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาที จนครบ 3 วัน ในช่วงนี้จะเติมน้ำเพิ่มไปแต่ละตอนจนเต็ม ทั้งนี้เพื่อเป็นการชดเชยน้ำที่ระเหยไปจากถังปฏิกิริยา ในช่วง 6 ชั่วโมงแรกของสามวันดังกล่าวนี้ จะมีกลิ่นเหม็นเน่าเนื่องจากน้ำส่าเหล้ายังอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน หลังจากนั้น กลิ่นเหม็นจะหมดไป แต่จะเกิดฟองอากาศสีขาวละเอียดทุกตอน ฟองอากาศนี้จะมีมากจนล้นออก จนกระทั่งวันที่สามของการเดินเครื่องฟองอากาศได้เริ่มลดลงประมาณร้อยละ 50 ของวันแรก และเริ่มจะมีเมือกจุลชีพบาง ๆ สีน้ำตาลเข้มเกาะบริเวณส่วนที่เป็นแผ่นพีวีซีใสที่ปิดหัวท้ายวัสดุยึดเกาะ ส่วนบริเวณอื่นยังไม่มีเมือกจุลชีพ เมื่อย่างเข้าวันที่สี่ได้เริ่มป้อนน้ำเสียเข้าระบบอาร์บีซีอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กดูดน้ำเสียเข้าระบบ ให้อัตราการไหลเท่ากับ 20 ลบ.ซม./นาที (เวลาเก็บกัก 10.28 ชั่วโมง) น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบใช้น้ำส่าเหล้าที่ผ่านการบำบัดโดยเครื่องกรองไร้อากาศเจือจางน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1:3 สังเกตได้ว่า เมือกจุลชีพจะเริ่มเกิดบนวัสดุยึดเกาะและหนาขึ้นเป็นลำดับ โดยปริมาณเมือกจุลชีพจะหนามากที่สุดในตอนต้น ๆ และจะน้อยลงในตอนถัดไป เนื่องจากความเข้มข้นของซับสเตรทจะมีมากในตอนแรก ๆ และจะลดน้อยลงในตอนถัดไป สีของเมือกจุลชีพจะมีสีน้ำตาลอ่อนในตอนแรก ๆ ตอนถัดไปจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นตามลำดับ ส่วนฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะน้อยลงเมื่อจุลชีพเกิดมากขึ้น ใช้เวลาในการเลี้ยงเมือกจุลชีพประมาณ 10 วัน หลังจากนั้นจึงทำการทดลองแบบต่อเนื่องตามแผนการทดลองที่กำหนดต่อไป

5.3 ข้อมูลผลการทดลองเบื้องต้นของอาร์บีซี

ผลการทดลองในการวิจัยครั้งนี้สามารถแยกได้เป็น 3 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

1. ผลของอินทรีย์บรรทุกต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำส่าเหล้า
2. ผลกระทบของการหมุนเวียนน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำส่าเหล้า
3. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำส่าเหล้าในแต่ละตอนของอาร์บีซี

ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 การทดลองที่ 1 ถึง 4 เป็นการทดลองเพื่อหาผลของอินทรีย์บรรทุกต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำส่าเหล้าของอาร์บีซีเมื่อไม่มีการ

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดตัวแปรในการทดลอง

การทดลองที่	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำทิ้ง	อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลบ.ซม./นาที)	เวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ปริมาตรบรรทุก (กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)	พื้นที่บรรทุก (ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน)
1	30	-	10.0	20.55	20.13	73.2
2	30	-	15.0	13.70	30.55	111.1
3	30	-	20.0	10.28	40.23	146.3
4	30	-	25.0	8.22	53.2	193.5
5	30	1 : 1	16.5	12.45	21.53	78.3
6	30	1 : 2	22.5	9.13	22.44	81.6
7	30	1 : 3	25.0	8.22	22.55	82.0
8	30	1 : 1	22.0	9.34	30.22	109.9
9	30	1 : 2	28.0	7.34	33.22	120.8
10	30	1 : 3	33.0	6.22	29.10	105.8

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

การทดลองที่	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำทิ้ง	อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลบ.ซม./นาที)	เวลาเก็บกัก (ชั่วโมง)	ปริมาตรบรรทุก (กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน)	พื้นที่บรรทุก (ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน)
11	30	1 : 1	28.0	7.34	39.45	143.5
12	30	1 : 2	35.0	5.87	39.52	143.7
13	30	1 : 3	40.0	5.14	39.32	143.0
14	30	1 : 1	36.0	5.71	55.60	202.2
15	30	1 : 2	42.0	4.89	53.68	195.2
16	30	1 : 3	49.0	4.19	49.98	181.75

หมายเหตุ

1. ปริมาณซีโอดีของน้ำเสียดิบที่ป้อนเข้าอาร์บีซี มีค่าประมาณ = 15,686 มก./ลบ.ดม.
2. การทดลองที่ 1, 5, 6 และ 7 ค่าอินทรีย์บรรทุกเฉลี่ย = 79 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน
3. การทดลองที่ 2, 8, 9 และ 10 ค่าอินทรีย์บรรทุกเฉลี่ย = 112 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน
4. การทดลองที่ 3, 11, 12 และ 13 ค่าอินทรีย์บรรทุกเฉลี่ย = 144 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน
5. การทดลองที่ 4, 14, 15 และ 16 ค่าอินทรีย์บรรทุกเฉลี่ย = 196 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน

หมุนเวียนน้ำทิ้ง ทำโดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบเท่านั้น ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองได้พยายามรักษาให้ใกล้เคียงกันที่สุดเท่าที่จะเป็นได้

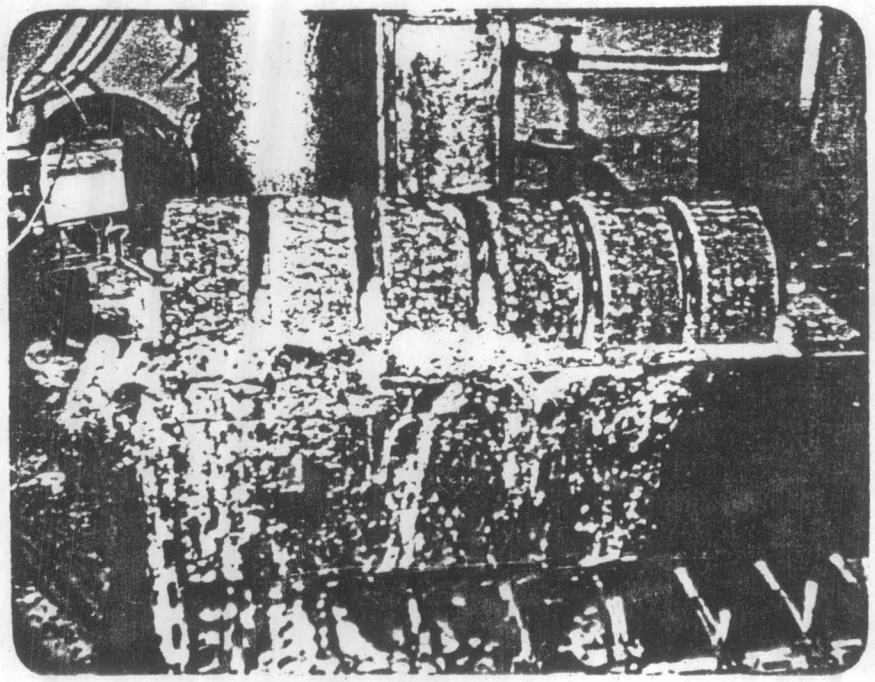
สำหรับการทดลองที่ 5 ถึง 16 เป็นการทดลองเพื่อหาผลกระทบของการหมุนเวียนน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำส่าเหล้าของระบบอาร์บีซี โดยพยายามรักษาค่าอินทรีย์บรรทุกให้คงที่ เปลี่ยนเฉพาะอัตราหมุนเวียนของน้ำทิ้ง และอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบอาร์บีซีแต่ละการทดลองใช้เวลาประมาณ 2 สัปดาห์ (รายละเอียดข้อมูลดิบแสดงในภาคผนวก)

5.4 ผลของอินทรีย์บรรทุกต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำส่าเหล้า

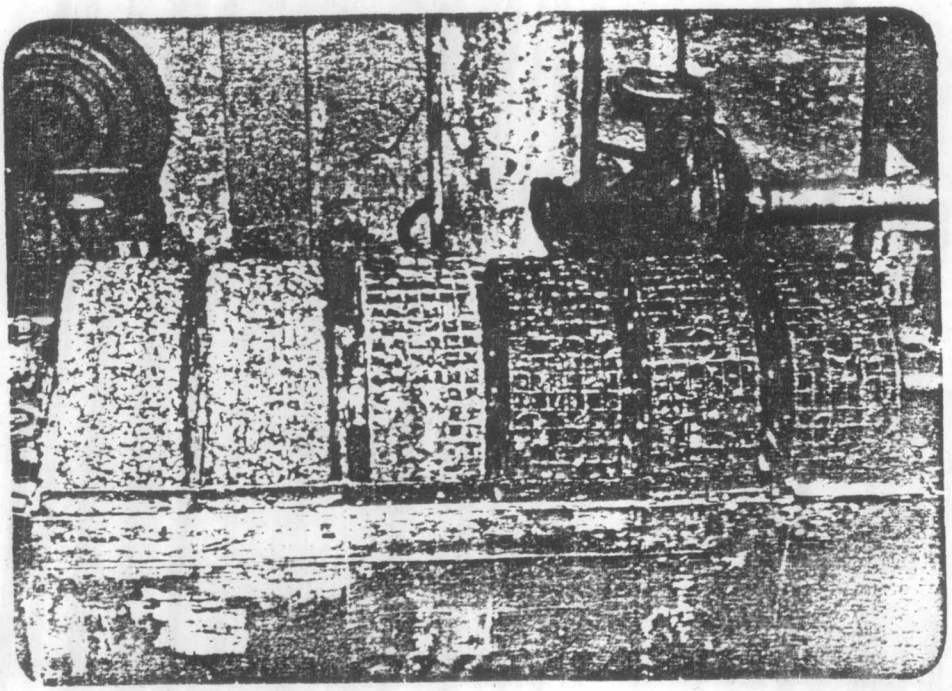
5.4.1 ลักษณะทางกายภาพ

จากการสังเกตด้วยตาพบว่า เมือกจุลชีพจะหนามากในตอนแรกของอาร์บีซี และความหนาของเมือกจุลชีพจะลดลงในตอนถัดไปตามลำดับ เมื่อเพิ่มค่าอินทรีย์บรรทุกให้สูงขึ้น เมือกจุลชีพจะมีความหนามากขึ้น แปรผันตามค่าอินทรีย์บรรทุกที่เพิ่มขึ้น และที่ค่าอินทรีย์บรรทุกต่ำ ๆ เมือกจุลชีพจะมีสีน้ำตาลเข้ม แต่เมื่อเพิ่มค่าอินทรีย์บรรทุกให้สูงขึ้น สีของเมือกจุลชีพจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มเป็นสีน้ำตาลอ่อน ขาวและเทาตามลำดับ (ดูรูปที่ 5.1 และ 5.2) อธิบายได้ว่า เมื่อค่าอินทรีย์บรรทุกต่ำ ปริมาณซับสเตรตในน้ำเสียที่เข้าระบบอาร์บีซีมีน้อย เมือกจุลชีพที่เกิดขึ้นจะมีไม่มาก แต่เมื่อเพิ่มค่าอินทรีย์บรรทุกให้สูงขึ้น เมือกจุลชีพจะเจริญเติบโตและหนามากขึ้นกว่าเดิม ส่วนการที่สีของเมือกจุลชีพเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มเป็นสีขาวนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงชนิดของจุลชีพให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมของน้ำเสียนั้น ๆ กล่าวคือ ถ้าเมือกจุลชีพมีสีเทา แสดงว่าอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน สีขาวอยู่ในสภาพกึ่งไร้ออกซิเจนและเมื่อเมือกจุลชีพมีสีน้ำตาล แสดงว่าอยู่ในสภาพต้องการออกซิเจน

อนึ่ง เมือกจุลชีพที่เกิดขึ้นเมื่อถึงเวลา บางส่วนจะหลุดจากวัสดุยึดเกาะจมตัวลงสู่ตอนล่างของถังปฏิกิริยา และจะสะสมในส่วนย่อยตะกอน จะถูกย่อยสลายโดยจุลชีพชนิดไม่ต้องการออกซิเจน ผลจากการย่อยสลายจะเกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีเทนและแอมโมเนีย ดันตะกอน



รูปที่ 5.1 ลักษณะของจุลชีพที่เกาะบนวัสดุยึดเกาะ และตะกอนในสภาวะคงที่ ที่ค่าอินทรีย์บรรทุก 196 ก. ซีโอดี / ตร.ม / วัน



รูปที่ 5.2 ลักษณะของจุลชีพที่เกาะบนวัสดุยึดเกาะ และตะกอนในสภาวะคงที่ ที่ค่าอินทรีย์บรรทุก 79 ก. ซีโอดี / ตร.ม / วัน

ให้ลอยขึ้นมาอยู่บนผิวน้ำของช่องระบายก๊าซ ตะกอนเบาเหล่านี้จะมีมากในตอนแรกและลดลงในตอนถัดไปตามลำดับ และจากการสังเกตพบว่ามีฟองอากาศเกิดขึ้นด้วย คาดว่าเนื่องจากการหมุนของวัสดุยึดเกาะซึ่งจะพบในทุกการทดลอง ฟองอากาศเหล่านี้จะเกิดมากจนล้นออกจากถังปฏิกิริยา เมื่อค่าอินทรีย์บรรทุกสูง ๆ โดยจะเกิดขึ้นมากในตอนแรกและน้อยลงในตอนถัดไป

5.4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบอาร์บีซี ในการบำบัดน้ำสำเหล้าที่วิเคราะห์ออกมาในรูปของซีโอดี ได้ผลดังนี้คือ เมื่อเพิ่มค่าอินทรีย์บรรทุก ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.3 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อค่าอินทรีย์บรรทุกต่ำ ๆ ปริมาณซับสเตรตที่เข้าระบบอาร์บีซียังมีไม่มาก จุลชีพสามารถย่อยสลายซับสเตรตอย่างมีประสิทธิผล แต่เมื่อเพิ่มค่าอินทรีย์บรรทุกให้สูงขึ้น ซับสเตรตที่ปนอยู่ในน้ำเสียเข้าระบบอาร์บีซีจะมีปริมาณมากขึ้น เมือกจุลชีพจะมีความหนามากขึ้น จนทำให้วัสดุยึดเกาะเกือบจะอุดตัน โดยเฉพาะในตอนแรก ๆ ของระบบอาร์บีซี เป็นเหตุให้จุลชีพส่วนที่อยู่ด้านในของโครงวัสดุยึดเกาะมีโอกาสสัมผัสซับสเตรตและออกซิเจนน้อยลง จากการที่เมือกจุลชีพมีความหนามากขึ้นนี้จะเป็นการลดพื้นที่ผิวของวัสดุยึดเกาะที่สามารถใช้งานได้ (effective area) ให้น้อยลง คงเหลือแต่เมือกจุลชีพชั้นนอกสุดเท่านั้นที่ยังสามารถสัมผัสซับสเตรตและออกซิเจนได้อย่างเต็มที่ ดังนั้น ประสิทธิภาพในการกำจัดซับสเตรตของระบบอาร์บีซีจึงลดลง นอกจากนี้ อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงอาจเนื่องมาจากเวลาเก็บกักของระบบอาร์บีซีลดลง เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบหรือค่าอินทรีย์บรรทุกให้สูงขึ้น

อนึ่ง ค่าความเข้มข้นของซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบอาร์บีซี แสดงในภาคผนวก

5.4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น

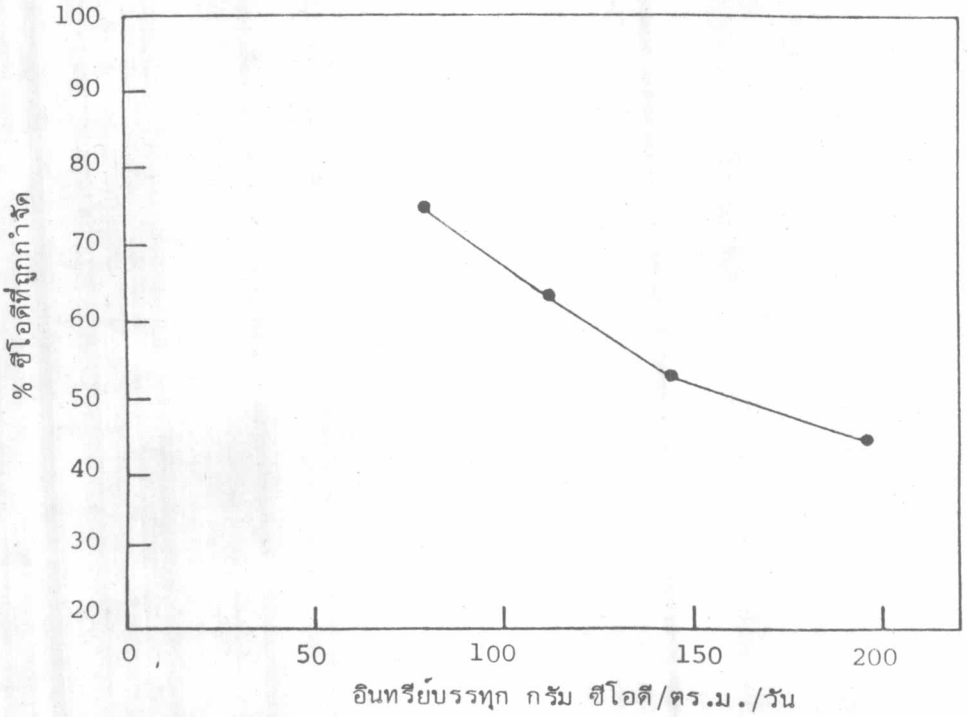
เมื่อลดค่าอินทรีย์บรรทุกดังแสดงในรูปที่ 5.4 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า เมื่อเพิ่มค่าอินทรีย์บรรทุกให้สูงขึ้น เมือกจุลชีพจะมีความหนามากขึ้น โดยเฉพาะในอาร์บีซีตอนแรก ๆ เป็นการลดพื้นที่ผิวใช้งานของอาร์บีซี คงเหลือแต่เมือกจุลชีพชั้นนอกเท่านั้นที่ยังสัมผัสซับสเตรต เป็นเหตุให้ซับสเตรตถูกกำจัดน้อยกว่าเดิม ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายซับสเตรตจะน้อยลงตามไปด้วย ประกอบกับเมือกจุลชีพที่หลุดจากวัสดุยึดเกาะจะตกลงสู่ส่วนย่อยตะกอน ซึ่งอยู่ด้านล่างของถังปฏิกิริยา และจะถูกย่อยสลายโดยจุลชีพในสภาพไร้ออกซิเจน ผลจากการย่อยสลายจะได้ก๊าซแอมโมเนีย ทำให้น้ำเสียในถังปฏิกิริยาที่ค่าอินทรีย์บรรทุกสูง ๆ (ซึ่งมีเมือกจุลชีพหลุดออกมามาก) ได้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ถูกกำจัดเมื่อค่าอินทรีย์สูง ๆ จึงน้อยกว่าเมื่อค่าอินทรีย์บรรทุกต่ำ ๆ สำหรับค่าอินทรีย์บรรทุก 196 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน ข้อมูลน่าจะผิดพลาดเนื่องจากการวิเคราะห์

อนึ่ง ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบอาร์บีซีแสดงในภาคผนวก

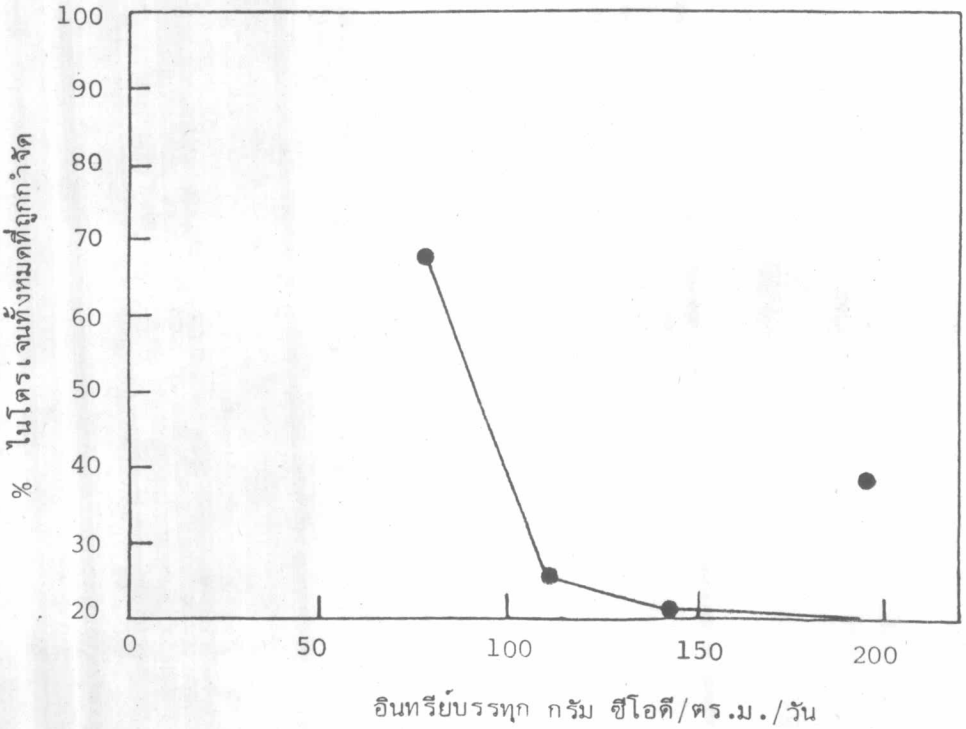
5.4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนแขวนลอย

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนแขวนลอยจะลดลงเมื่อค่าอินทรีย์บรรทุกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.5 เนื่องจากเมื่อค่าอินทรีย์บรรทุกสูงขึ้น ปริมาณซับสเตรตที่เข้าระบบอาร์บีซีจะมีมาก เมือกจุลชีพในตอนแรก ๆ ไม่สามารถกำจัดได้หมดซึ่งมีปริมาณค่อนข้างมาก ซับสเตรตส่วนที่เหลือนี้จะผ่านเข้าสู่อาร์บีซีตอนท้าย ๆ ดังนั้น เมือกจุลชีพในตอนท้าย ๆ จะเกิดขึ้นมากและค่อนข้างหนา บางส่วนของเมือกจุลชีพนี้จะหลุดจากวัสดุยึดเกาะปะปนกับน้ำเสียออกจากระบบอาร์บีซีมากกว่าในกรณีที่ค่าอินทรีย์บรรทุกต่ำ ๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบอาร์บีซี ที่ค่าอินทรีย์บรรทุกต่ำจะใสกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบอาร์บีซีที่มีค่าอินทรีย์บรรทุกสูง

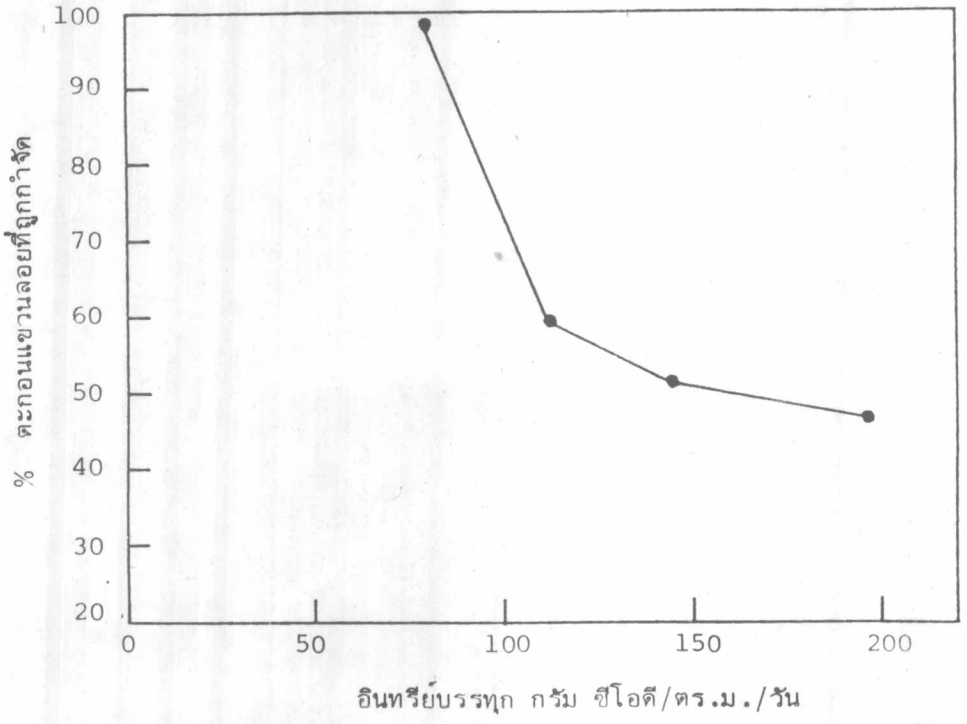
อนึ่ง ค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบอาร์บีซีแสดงในภาคผนวก



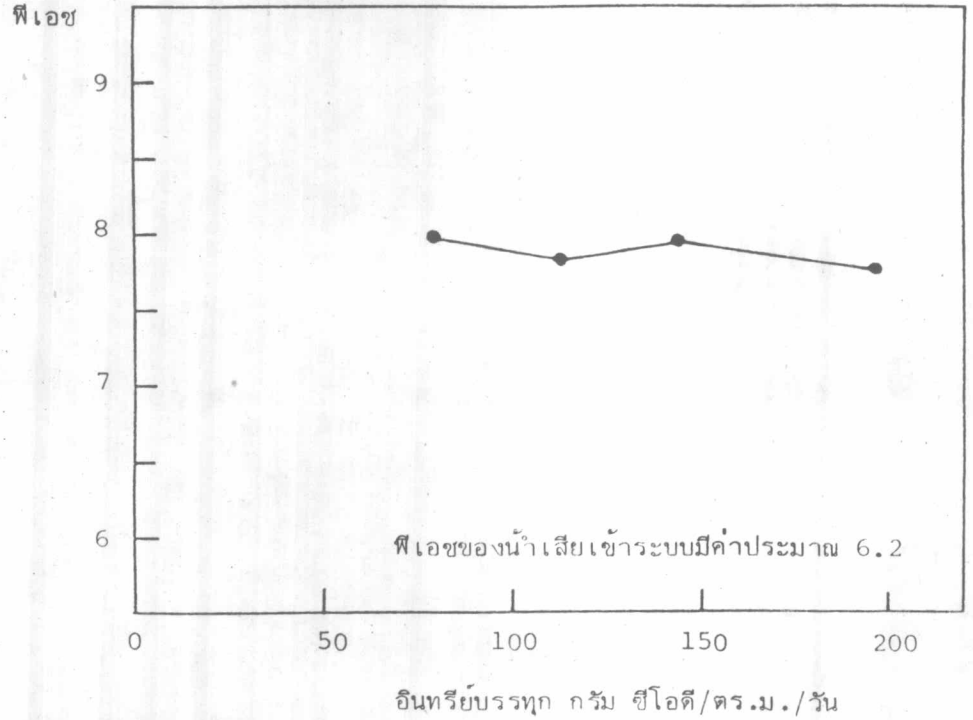
รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ซีโอดีที่ถูกกำจัดกับค่าอินทรีย์บรรทุก



รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ไนโตรเจนทั้งหมดที่ถูกกำจัดกับค่าอินทรีย์บรรทุก



รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ตะกอนแขวนลอยที่ถูกกำจัดกับค่าอินทรีย์บรรทุก



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดกับค่าอินทรีย์บรรทุก

5.4.5 ผลกระทบต่อพีเอช (pH)

ผลจากการทดลองทั้งหมดพบว่า พีเอชของน้ำส่าเหล้าที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าสูงกว่า 7.5 ทั้ง ๆ ที่น้ำเสียดิบมีค่าพีเอชประมาณ 6.2 คาดว่าเนื่องจากเมือกจุลชีพที่หลุดจากวัสดุยึดเกาะตกลงสู่ส่วนล่างของถังปฏิกิริยาถูกย่อยสลาย ทำให้ได้แอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต (NH_4CO_3) ซึ่งทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียในระบบอาร์บีซีสูงขึ้นดังสมการ[19]

ซับสเตรต $\xrightarrow[\text{(ในสภาวะไร้ออกซิเจน)}]{\text{จุลชีพ}} CH_4 + CO_2 + NH_3 + H_2O$ (5.1)

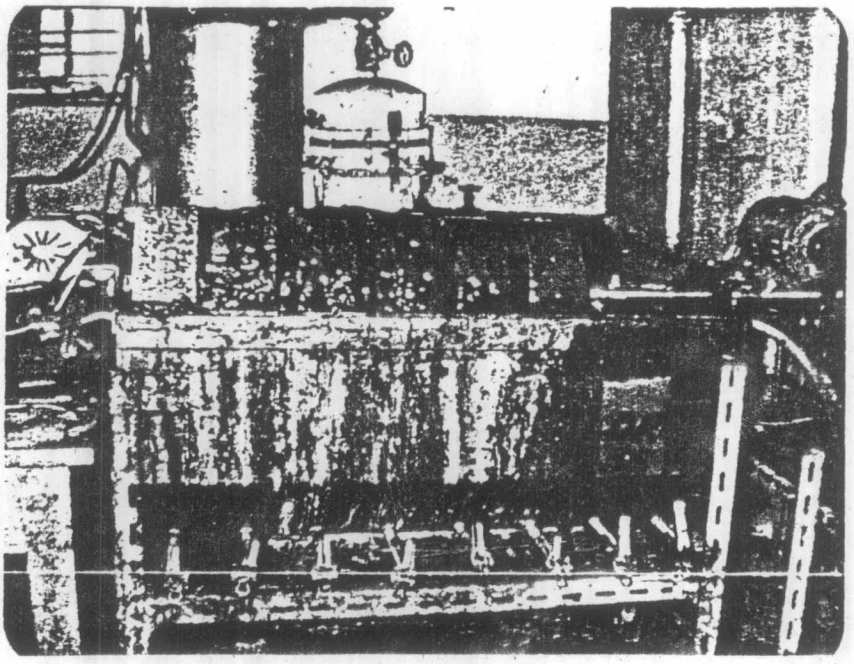
$CO_2 + NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4HCO_3$ (5.2)

อนึ่ง ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบอาร์บีซี แสดงในภาคผนวก

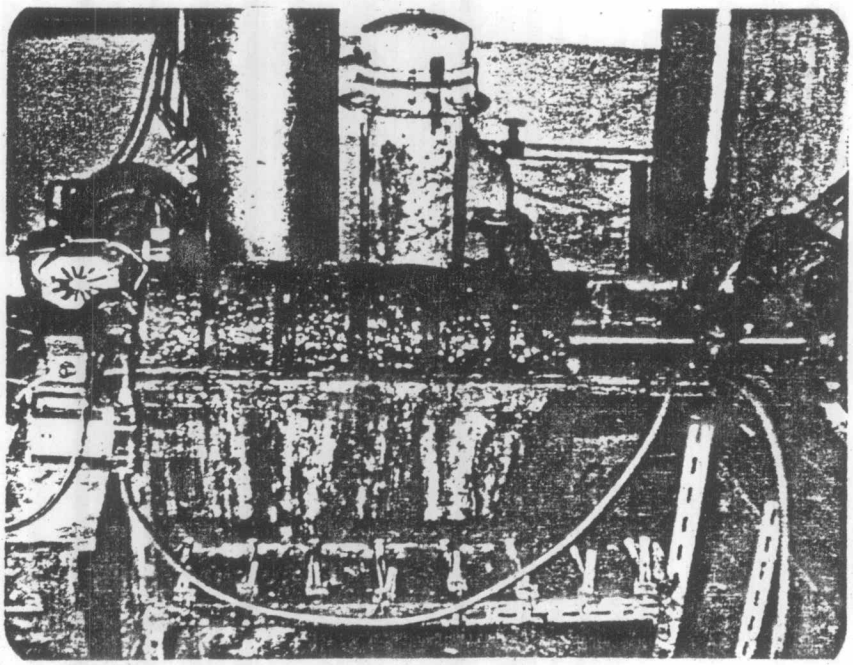
5.5 ผลกระทบของการหมุนเวียนน้ำทิ้งต่อการบำบัดน้ำส่าเหล้า

5.5.1 ลักษณะทางกายภาพ

โดยการสังเกตโดยทั่ว ๆ ไป พบว่า เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง ปรากฏว่าความหนาของเมือกจุลชีพในอาร์บีซีตอนแรก ๆ จะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อไม่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้งที่ค่าอินทรีย์บรรทุกเท่ากัน (ดูรูปที่ 5.7 และ 5.8) สีของเมือกจุลชีพแต่เดิมเป็นสีขาวหรือสีขาวอมเทา เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง สีของเมือกจุลชีพจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน (สีครีม) และในตอนถัดไป จะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นตามลำดับ อธิบายได้ว่า เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้งจะเป็นการลดความเข้มข้นซับสเตรตของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอาร์บีซีและยังเป็นการลดเวลาเก็บกักของอาร์บีซีให้สั้นลง เมือกจุลชีพในตอนแรก ๆ ของอาร์บีซีมีเวลาสัมผัสซับสเตรตสั้นลง เป็นเหตุให้ความหนาของเมือกจุลชีพมีปริมาณน้อยกว่า เมื่อไม่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง ทำให้โอกาสที่วัสดุยึดเกาะอุดตันน้อยลง เมือกจุลชีพด้านในของโครงวัสดุยึดเกาะสามารถสัมผัสออกซิเจนและซับสเตรตได้มากกว่าเดิม สีของเมือกจุลชีพในอาร์บีซีตอนแรก ๆ จะเปลี่ยนจากสีเทาหรือขาวเป็นสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนการดำรงชีพของจุลชีพจากสภาพไม่ต้องการออกซิเจนเป็นต้องการออกซิเจน และตอนถัดไปจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น



รูปที่ 5.7 ลักษณะของจุลชีพที่เกาะบนวัสดุยึดเกาะ และตะกอนในสภาวะคงที่ เมื่อไม่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง (อินทรีย์บรรทุก 144 ก. ซีโอดี / ตร.ม / วัน)



รูปที่ 5.8 ลักษณะของจุลชีพ ที่เกาะบนวัสดุยึดเกาะ และตะกอนในสภาวะคงที่ เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง ในอัตราส่วน 1:3 (อินทรีย์บรรทุก 144 ก. ซีโอดี / ตร.ม / วัน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับตะกอนเบา (Scum) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเมือกจุลชีพหลุดจากวัสดุยึดเกาะและจมตัวลงไปสะสมอยู่ในส่วนย่อยตะกอน จะถูกย่อยสลายโดยจุลชีพในสภาวะไร้ออกซิเจน ผลจากการย่อยสลายจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีเทนและแอมโมเนีย ดันตะกอนให้ลอยขึ้นมาอยู่บนผิวน้ำในช่องระบายก๊าซ ปรากฏว่าเมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้งแล้วตะกอนเบาเหล่านี้จะลดลง ทั้งนี้คาดว่า เนื่องจากปริมาณตะกอนเบาที่เกิดขึ้นนั้นแปรผันตามความหนาของเมือกจุลชีพที่อยู่บนอาร์บีซีในแต่ละตอน อนึ่ง ได้สังเกตพบว่าตะกอนเบาเหล่านี้จะยิ่งลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการหมุนเวียนน้ำทิ้งให้สูงขึ้น

5.5.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบอาร์บีซีในการบำบัดน้ำสำเหล้าที่วิเคราะห์ออกมาในรูปซีโอดี ได้ผลดังนี้คือ เมื่อนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับเข้าไปในระบบอาร์บีซีอีกครั้งในอัตราส่วน (น้ำเสีย : น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด) 1 : 1, 1 : 2, และ 1 : 3 ตามลำดับ พบว่าที่ค่าอินทรีย์บรรทุกต่ำ ๆ กล่าวคือ อินทรีย์บรรทุก 79 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน การหมุนเวียนของน้ำทิ้งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีน้อยมาก ดังแสดงในตารางที่ 5.3 และในรูปที่ 5.9 แต่เมื่อค่าอินทรีย์บรรทุกสูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของน้ำทิ้งให้สูงขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อค่าอินทรีย์บรรทุกต่ำ ๆ ปริมาณซับสเตรตที่เข้าระบบอาร์บีซียังมีไม่มาก เมือกจุลชีพมีปริมาณเพียงพอที่จะกำจัดซับสเตรตได้เกือบหมด ดังจะเห็นได้ว่ามีเมือกจุลชีพเกิดในสามตอนแรกเท่านั้น ในตอนหลัง ๆ ไม่มีเมือกดังกล่าว ดังนั้นเมื่อมีการหมุนเวียนของน้ำทิ้งจึงมีผลต่อการกำจัดซับสเตรตได้น้อยมาก แต่เมื่อค่าอินทรีย์บรรทุกสูง ๆ ซับสเตรตที่เข้าระบบอาร์บีซีจะมีปริมาณมาก เมือกจุลชีพจะมีความหนามากขึ้น โดยเฉพาะในอาร์บีซีตอนแรก ๆ ทำให้วัสดุยึดเกาะเกือบอุดตัน เป็นการลดพื้นที่ผิวใช้งานของอาร์บีซีคงเหลือแต่เมือกจุลชีพชั้นนอกสุดเท่านั้น อัตราเร็วในการกำจัดซับสเตรตขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นเมือกจุลชีพที่ปฏิบัติงานได้ (Active film) ซึ่งอยู่ด้านนอกเท่านั้น ดังนั้น ประสิทธิภาพในการกำจัดซับสเตรตจะน้อยลง (ดูรูปที่ 5.9) เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้งจะเป็นการลดความเข้มข้นของซับสเตรตและทำให้เวลาเก็บกักสั้นลง เมือกจุลชีพในอาร์บีซีตอนต้น ๆ จะมีความหนา

น้อยลงเมื่อไม่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง จุลชีพที่อยู่ด้านในมีโอกาสได้สัมผัสซับสเตรตและออกซิเจนได้มากขึ้น ดังนั้น ความสามารถกำจัดซับสเตรตจะดีขึ้นกว่าเมื่อไม่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัดซับสเตรตจะสูงขึ้นแปรผันตามการเพิ่มอัตราการหมุนเวียนน้ำทิ้งให้สูงขึ้น

อนึ่ง ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองหาประสิทธิภาพในการกำจัดของระบบอาร์บีซี ในรูปของบีโอดีที่ค่าอินทรีย์บรรทุก 144 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน ดังแสดงในตารางที่ 5.3 สำหรับรายละเอียดลักษณะน้ำเสียในรูปของซีโอดีและบีโอดีแสดงในภาคผนวก

5.5.3 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนแขวนลอย

ผลจากการทดลองพบว่า เมื่อมีการหมุนเวียนของน้ำทิ้ง ตะกอนแขวนลอยที่ออกจากระบบอาร์บีซีจะน้อยลง ดังแสดงในตารางที่ 5.4 เนื่องจากเมื่อมีการหมุนเวียนของน้ำทิ้ง เมือกจุลชีพจะมีความหนาน้อยกว่าเมื่อไม่มีการหมุนเวียนของน้ำทิ้ง ดังนั้น เมือกจุลชีพจะหลุดจากวัสดุยึดเกาะน้อยลงกว่าเดิม ดังแสดงในรูปที่ 5.10 เมื่อเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของน้ำทิ้งจะยิ่งทำให้เมือกจุลชีพมีความหนาน้อยลง (เนื่องจากระยะเวลาเก็บกักสั้นและความเข้มข้นซับสเตรตน้อยลง) โอกาสที่เมือกจุลชีพจะหลุดจากวัสดุยึดเกาะจะมีน้อยลง นั่นคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนแขวนลอยจะสูงขึ้น แต่ที่ค่าอินทรีย์บรรทุกสูงมาก ๆ อินทรีย์บรรทุก 196 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน เมือกจุลชีพจะหนามากจนวัสดุยึดเกาะในทุก ๆ ตอนอุดตัน แม้จะเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของน้ำทิ้งเท่าใดก็ตาม จึงมีตะกอนจุลชีพหลุดจากวัสดุยึดเกาะมากตลอดเวลา ดังนั้น การหมุนเวียนของน้ำทิ้งจึงไม่มีผลต่อการกำจัดตะกอนแขวนลอยในกรณีนี้

อนึ่ง ค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้า-ออกจากระบบอาร์บีซี แสดงไว้ในภาคผนวก

5.5.4 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด

จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของน้ำทิ้ง ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดจะสูงขึ้น จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเมื่อเพิ่มอัตราการหมุนเวียนของน้ำทิ้ง

ประสิทธิภาพการกำจัดซับสเตรตจะสูงขึ้น ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนจะถูกจุลชีพใช้มากขึ้นด้วย ทำให้ประสิทธิภาพกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของระบบอาร์บีซีสูงกว่าเมื่อไม่มีการหมุนเวียนของน้ำทิ้ง ดังแสดงในตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.11 แต่ที่ค่าอินทรีย์บรรทุกสูง ๆ กล่าวคือที่อินทรีย์บรรทุก 196 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน อาร์บีซีทุกตอนจะอุดตันด้วยเมือกจุลชีพ ไม่ว่าจะเพิ่มอัตราการหมุนเวียนน้ำทิ้งให้สูงเท่าใดก็ตาม ทำให้พื้นที่ใช้งานของวัสดุยึดเกาะลดลง คงเหลือเพียงเมือกจุลชีพชั้นนอกสุดเท่านั้นที่ยังปฏิบัติงานได้ ปริมาณไนโตรเจนที่จุลชีพใช้ไปจะลดลง ดังนั้น การหมุนเวียนน้ำทิ้งจึงไม่มีผลต่อการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด ในกรณีนี้ และยังเป็นที่น่าสังเกตอีกว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดจะแปรผันตามประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนแขวนลอย (ดูรูปที่ 5.10 และ 5.11) แสดงว่า ไนโตรเจนบางส่วนที่วิเคราะห์ได้อาจเป็นไนโตรเจนจากเซลล์ของจุลชีพที่หลุดจากระบบอาร์บีซี

อนึ่ง ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำเสียเข้า-ออกจากระบบอาร์บีซี แสดงในภาคผนวก

5.5.5 ผลกระทบต่อพีเอช

จากการทดลองพบว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการหมุนเวียนน้ำทิ้งสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.12 เนื่องจากค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าระบบจะมีค่าประมาณ 6.2 เมื่อไม่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง ค่าพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าสูงกว่า 7.5 ขึ้นไป แต่เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้งกลับเข้าสู่ระบบอาร์บีซี ทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบอาร์บีซีสูงกว่าเดิมอีกและเมื่อเพิ่มอัตราหมุนเวียนของน้ำทิ้งให้สูงขึ้น ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าระบบจะสูงตามไปด้วย ดังนั้น ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการหมุนเวียนน้ำทิ้งสูงขึ้น คาดว่าเมือกจุลชีพที่หลุดจากวัสดุยึดเกาะที่จมลงส่วนล่างของถังปฏิกิริยาถูกย่อยสลายโดยจุลชีพในสภาพไร้อากาศ ผลจากการย่อยสลายได้แอมโมเนียไฮโดรเจนคาร์บอนเนตซึ่งช่วยให้ค่าพีเอชของน้ำเสียในถังปฏิกิริยาสูงขึ้น แต่ในการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้คาดการณ์มาก่อน จึงไม่ได้วิเคราะห์ค่าแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต (NH_4CO_3) มายืนยันที่นี้ได้

ตารางที่ 5.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง

อัตราส่วน การหมุนเวียนน้ำทิ้ง	อินทรีย์บรรทุก (กรัม.ซีโอดี/ตร.ม./วัน)			
	79	112	144	196
-	74.8 %	63.6 %	53.1 % (70.6)*	44.1 %
1 : 1	80.5 %	68.6 %	57.1 % (80.4)*	53.0 %
1 : 2	78.9 %	73.9 %	66.8 % (89.2)*	55.8 %
1 : 3	78.9 %	77.8 %	72.1 % (94.9)*	58.2 %

*หมายเหตุ ตัวเลขในเครื่องหมาย ( ) คือ ค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด

ตารางที่ 5.4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนแขวนลอยคิดเป็นร้อยละ เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง

อัตราส่วน การหมุนเวียนน้ำทิ้ง	อินทรีย์บรรทุก (กรัม.ซีโอดี/ตร.ม./วัน)			
	79	112	144	196
-	97.4 %	59.7 %	50.9 %	46.1 %
1 : 1	97.5 %	71.0 %	50.0 %	56.3 %
1 : 2	98.2 %	67.5 %	86.7 %	43.8 %
1 : 3	99.5 %	81.8 %	81.9 %	41.8 %

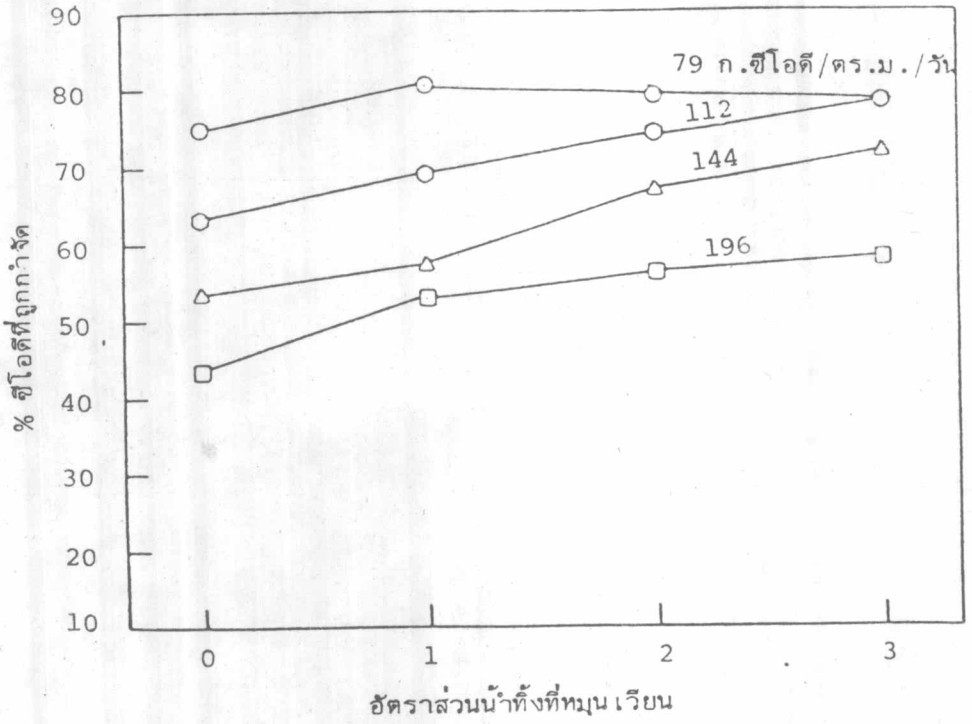
ตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง

อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำทิ้ง	อินทรีย์บรรทุก (กรัม.ซีโอดี/ตร.ม./วัน)			
	79	112	144	196
-	67.5 %	25.1 %	21.0 %	38.5 %
1 : 1	74.7 %	43.3 %	22.8 %	36.3 %
1 : 2	69.7 %	29.7 %	53.1 %	31.7 %
1 : 3	73.8 %	55.0 %	65.5 %	27.0 %

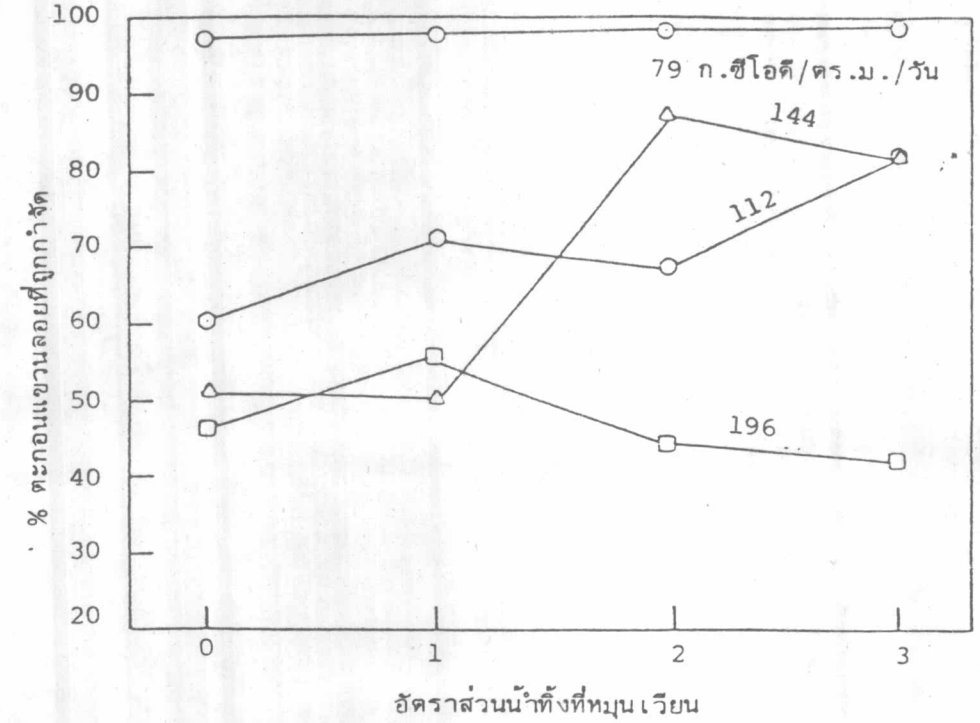
ตารางที่ 5.6 ค่าพีเอชของน้ำทิ้ง ที่ออกจากอาร์บีซี เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง

อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำทิ้ง	อินทรีย์บรรทุก (กรัม.ซีโอดี/ตร.ม./วัน)			
	79	112	144	196
-	7.96	7.87	7.93	7.78
1 : 1	9.03	8.43	8.23	8.12
1 : 2	9.07	8.71	8.24	8.56
1 : 3	9.19	8.83	8.73	8.58

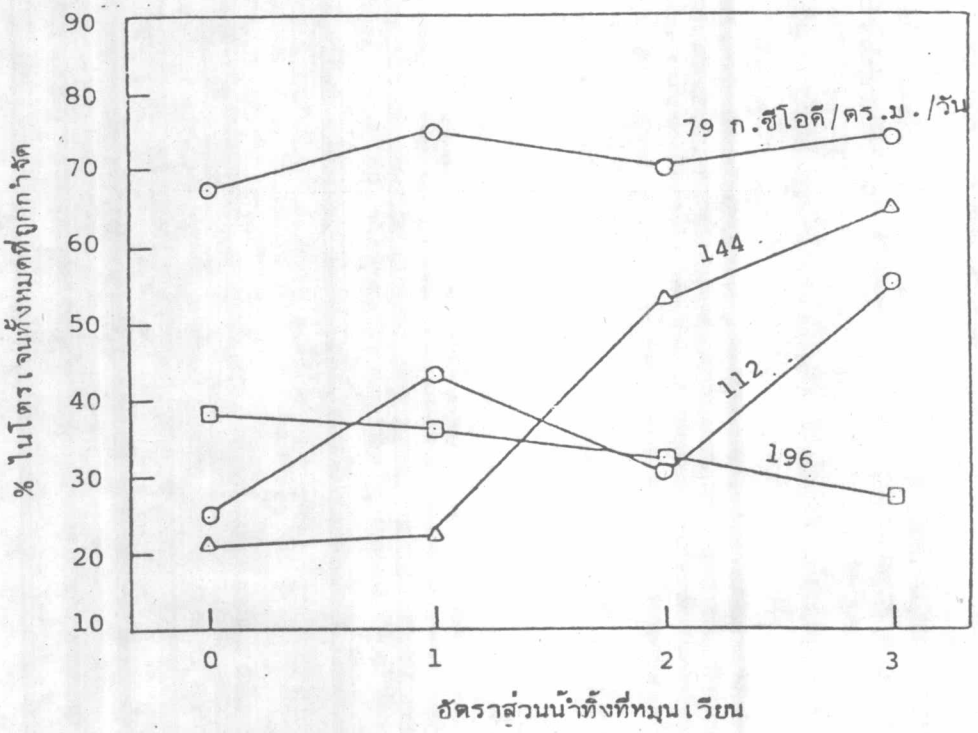
หมายเหตุ ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าประมาณ 6.2



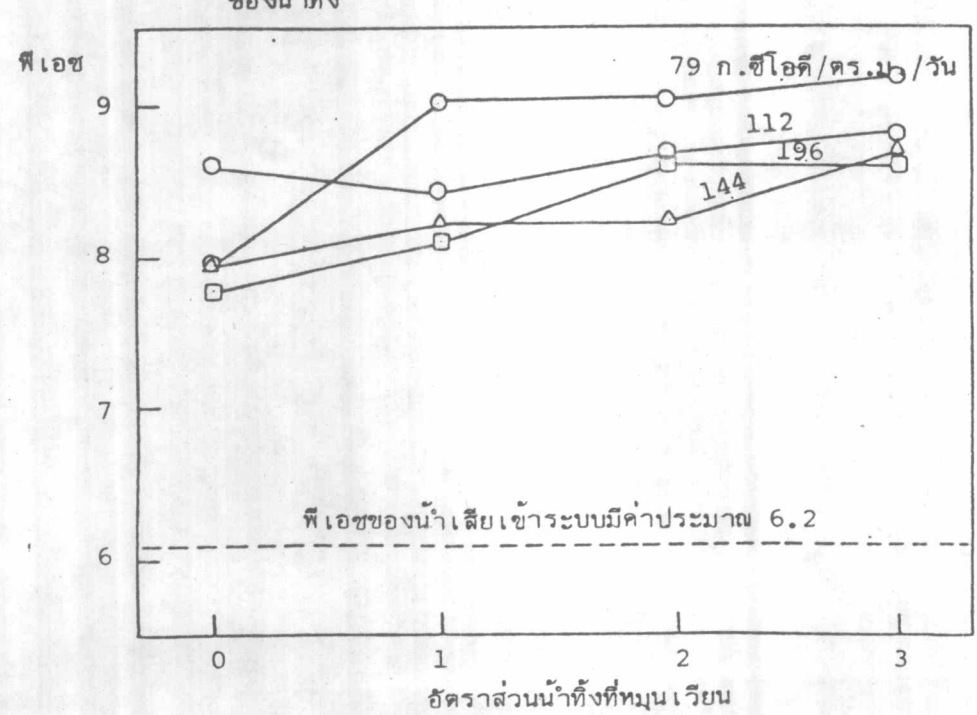
รูปที่ 5.9 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเมื่อมีการหมุนเวียนของน้ำทิ้ง



รูปที่ 5.10 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนแขวนลอยเมื่อมีการหมุนเวียนของน้ำทิ้ง



รูปที่ 5.11 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อมีการหมุนเวียนของน้ำทิ้ง



รูปที่ 5.12 แสดงค่าพีเอชของน้ำทิ้ง ที่ผ่านการกำจัดเมื่อมีการหมุนเวียนของน้ำทิ้ง

อนึ่ง ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบอาร์บีซีแสดงในภาคผนวก

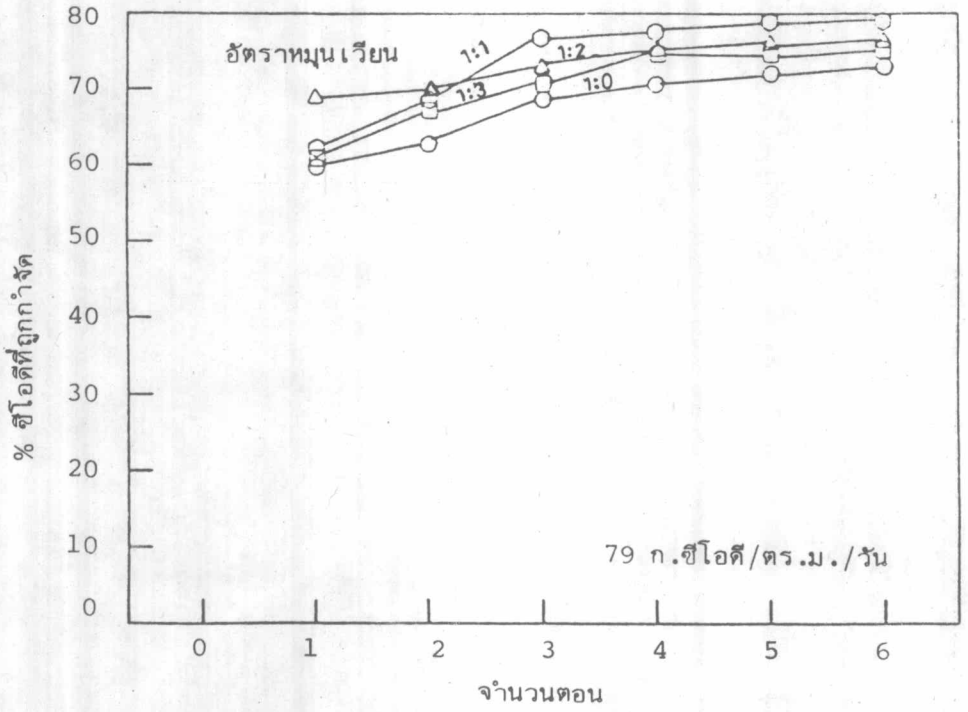
5.6 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำส่าเหล้าในแต่ละตอนของอาร์บีซี

เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการทำงานแต่ละตอนของอาร์บีซี จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละตอนเพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดซับสเตรต ซึ่งวิเคราะห์ออกมาในรูปซีโอดี ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5.13 ถึงรูปที่ 5.16 นอกจากนั้นยังได้ศึกษาลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เกิดบนผิววัสดุยึดเกาะดังแสดงในตารางที่ 5.7

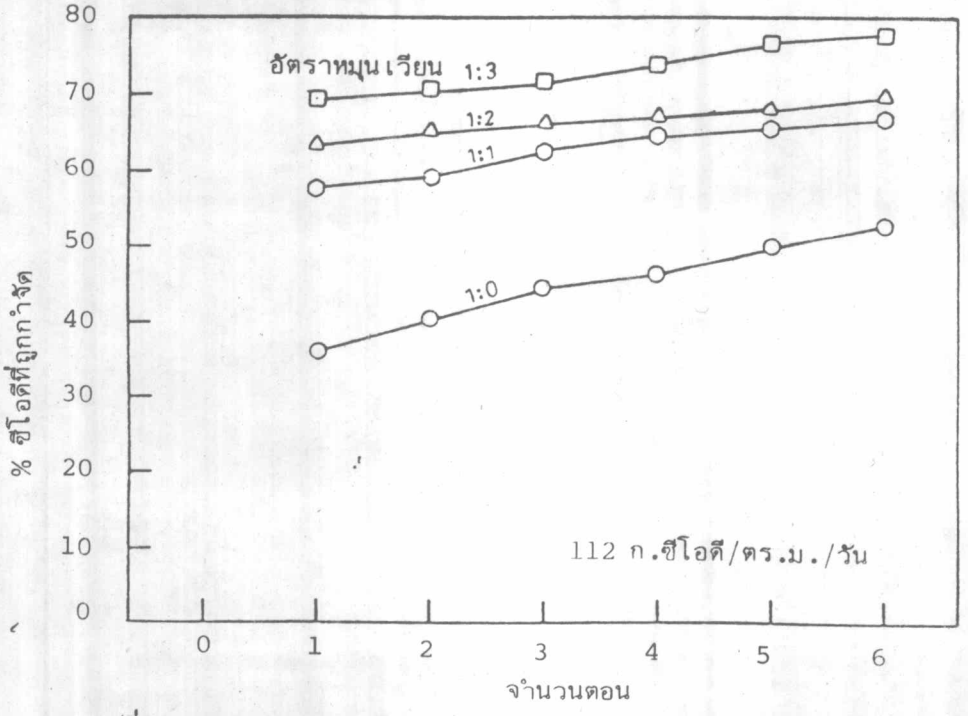
จากการทดลองพบว่า เมื่อค่าอินทรีย์บรรทุกต่ำ ๆ อินทรีย์บรรทุก 79 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน การหมุนเวียนน้ำทิ้งจะมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ในแต่ละตอนของอาร์บีซีน้อยมาก (ดูรูปที่ 5.13) เนื่องจากที่ค่าอินทรีย์บรรทุกต่ำ ๆ ปริมาณซับสเตรตที่ป้อนเข้าระบบอาร์บีซีมีไม่มาก จุลชีพในอาร์บีซีตอนแรก ๆ (ตอนที่ 1 ถึง 3) สามารถกำจัดซับสเตรตได้เกือบหมด น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากตอนแรก ๆ จะมีซับสเตรตเหลือไม่มากและส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก จุลชีพในอาร์บีซีตอนหลัง ๆ จึงกำจัดซับสเตรตได้ไม่มาก เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง ประสิทธิภาพในการกำจัดซับสเตรตในแต่ละตอนจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อค่าอินทรีย์บรรทุกสูงขึ้น การหมุนเวียนน้ำทิ้งจะมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละตอนของอาร์บีซีอย่างเห็นได้ชัด (ดูรูปที่ 5.14 ถึง 5.16) เนื่องจากที่ค่าอินทรีย์บรรทุกสูง ๆ (ค่าอินทรีย์บรรทุกตั้งแต่ 112 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วันขึ้นไป) ซับสเตรตที่ป้อนเข้าระบบอาร์บีซีมีปริมาณมาก เมือกจุลชีพจะหนามากขึ้น เป็นเหตุให้วัสดุยึดเกาะของอาร์บีซีตอนแรก ๆ อุดตัน พื้นที่ใช้งานของวัสดุยึดเกาะจะลดลง จุลชีพที่อยู่ด้านในโครงวัสดุยึดเกาะมีโอกาสสัมผัสซับสเตรตน้อย จุลชีพไม่สามารถกำจัดซับสเตรตได้อย่างเต็มที่ ประสิทธิภาพการกำจัดซับสเตรตในแต่ละตอนของอาร์บีซีค่อนข้างต่ำ ๆ แต่เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้งจะเป็นการลดความเข้มข้นซับสเตรตของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบอาร์บีซี และเป็นการลดระยะเวลาเก็บกักของน้ำเสียในระบบอาร์บีซี เมือกจุลชีพในตอนแรก ๆ จะหนาน้อยลงกว่าเมื่อไม่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง จุลชีพที่อยู่ด้านในโครงวัสดุยึดเกาะสามารถสัมผัสออกซิเจนและซับสเตรตได้มากขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดซับสเตรตจะสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราการหมุน

เวียนน้ำทิ้งให้สูงขึ้น โดยเพิ่มจากอัตราส่วน (น้ำเสียดิบ : น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด) 1 : 1 เป็น 1 : 2 และ 1 : 3 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของอาร์บีซีแต่ละตอนจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

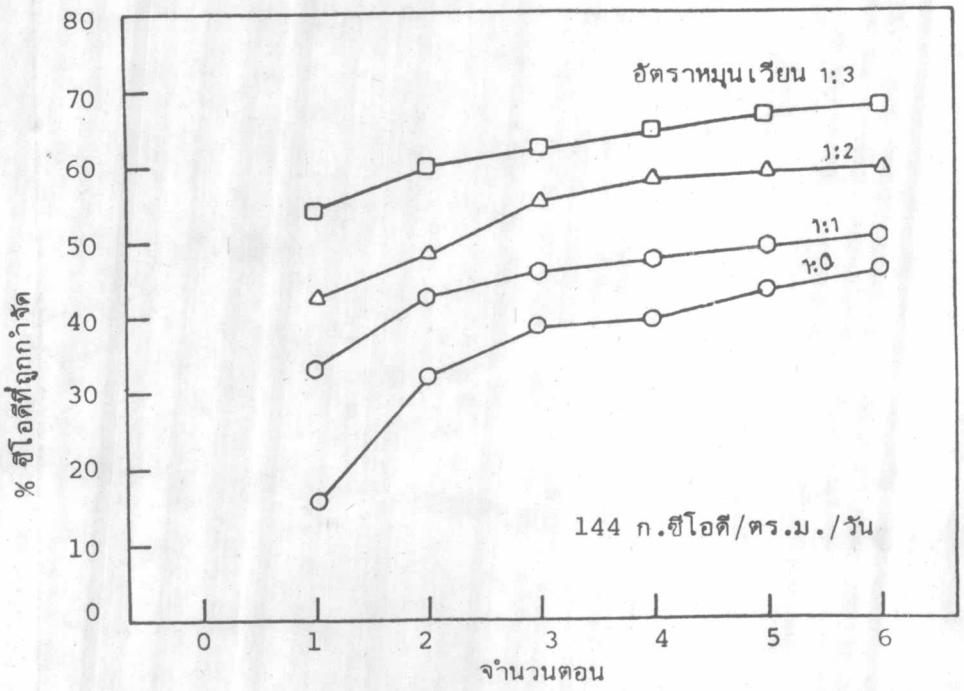
จากการตรวจดูสิ่งมีชีวิตบนเมือกจุลชีพในอาร์บีซีแต่ละตอนพบว่า เมื่อไม่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง ที่ค่าอินทรีย์บรรทุกต่ำ ๆ จะพบสิ่งมีชีวิตประเภท Free swiming ciliate, Stalked ciliate, Rotifer และ Worm ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดต้องการออกซิเจน (ดูในตารางที่ 5.7) เกิดบนเมือกจุลชีพในทุก ๆ ตอนของอาร์บีซี เมื่อเพิ่มค่าอินทรีย์บรรทุกให้สูงขึ้น ในอาร์บีซีตอนแรก ๆ (ตอนที่ 1 ถึง 3) จะพบสิ่งมีชีวิตชนิดต้องการออกซิเจนน้อยมากหรือบางตอนอาจไม่พบเลย ส่วนอาร์บีซีตอนท้าย ๆ จึงพบสิ่งมีชีวิตประเภทดังกล่าว และที่ค่าอินทรีย์บรรทุกสูง ๆ (อินทรีย์บรรทุก 196 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน) ในอาร์บีซีตอนที่ 1 ถึง 3 จะไม่พบสิ่งมีชีวิตชนิดต้องการออกซิเจน แสดงว่าที่ค่าอินทรีย์บรรทุกสูง ๆ จุลชีพในตอนแรก ๆ ดำรงชีพในสภาพไม่ต้องการออกซิเจนหรือกึ่งต้องการออกซิเจน แต่เมื่อค่าอินทรีย์บรรทุกน้อยลง จุลชีพในตอนแรก ๆ จะค่อย ๆ เปลี่ยนจากการดำรงชีพจากไม่ต้องการออกซิเจนเป็นต้องการออกซิเจนซึ่งสัมพันธ์กับเรื่องสีของเมือกจุลชีพดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 5.4.1 เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง ที่ค่าอินทรีย์บรรทุกต่ำ ๆ (อินทรีย์บรรทุก 79 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน) การหมุนเวียนน้ำทิ้งจะไม่มีผลต่อการดำรงชีพของจุลชีพในอาร์บีซีแต่ละตอน กล่าวคือ จะพบสิ่งมีชีวิตประเภท Free swiming ciliate, Stalked ciliate, Rotifer และ Worm ในทุก ๆ ตอนของอาร์บีซีไม่ว่าจะมีหรือไม่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้งก็ตาม (ดูตารางที่ 5.7) เมื่อเพิ่มค่าอินทรีย์บรรทุกให้สูงขึ้น การหมุนเวียนน้ำทิ้งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการดำรงชีพของเมือกจุลชีพในอาร์บีซีในแต่ละตอน กล่าวคือ แต่เดิมเมื่อไม่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง อาร์บีซีตอนแรก ๆ (ตอนที่ 1 ถึง 3) จะพบสิ่งมีชีวิตจำพวก Ciliate หรือ Rotifer น้อยมาก หรือบางครั้งอาจไม่พบเลย แสดงว่าสิ่งมีชีวิตในอาร์บีซี เป็นชนิดไม่ต้องการออกซิเจน หรือชนิดกึ่งไร้ออกซิเจน (ดูตารางที่ 5.7) ส่วนตอนท้าย ๆ จะพบสิ่งมีชีวิตแบบชนิดต้องการออกซิเจนที่ค่าอินทรีย์บรรทุกเดียวกัน เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้งในอัตราส่วน 1 : 1 จะพบสิ่งมีชีวิตประเภท Free swimming, Stalked ciliate,



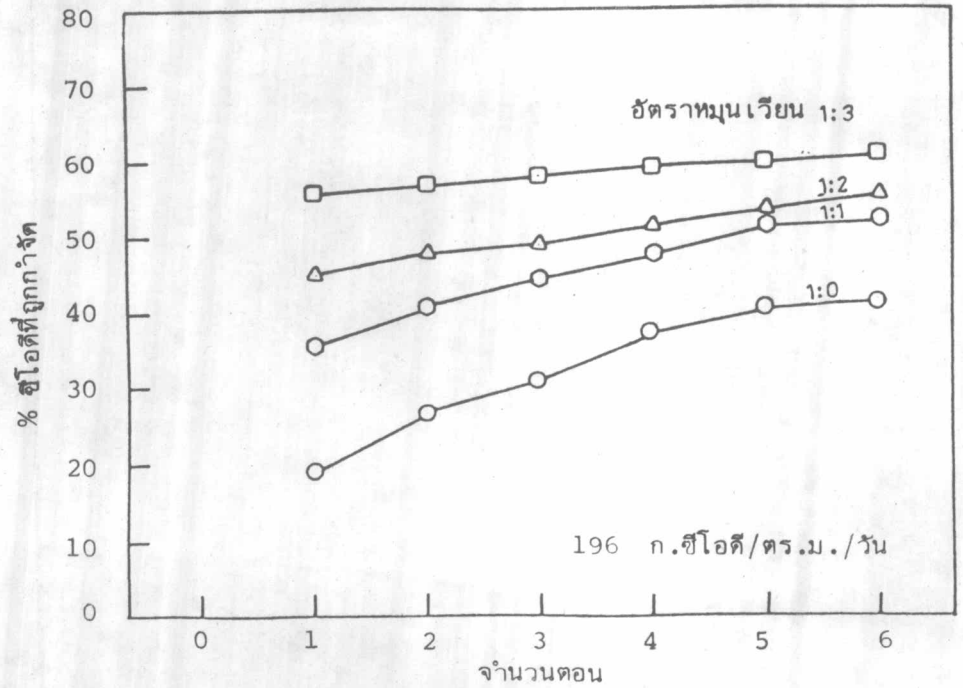
รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละตอน ของอาร์บีซี เมื่ออินทรีย์บรรทุกมีค่า 79 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน



รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละตอน ของอาร์บีซี เมื่ออินทรีบรรทุกมีค่า 112 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน



รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละตอนของอาร์บีซี เมื่ออินทรีย์บรรทุกมีค่า 144 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน



รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละตอนของอาร์บีซี เมื่ออินทรีย์บรรทุกมีค่า 196 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน

ตารางที่ 5.7 ลักษณะจุลชีพที่ตรวจพบโดยกล้องจุลทัศน์

การทดลองที่		ตอนที่				
	1	2	3	4	5	6
1	F	F,S*,R*,W	F,S*,R*,W	F,S*,R*	F,S*,R*	F,S,R*
2	-	F*	F	F	F,S*,R,W	F,S*,R*
3	-	-	F	F	F,S	F,S*
4	-	-	-	F	F	F,S
5	F	F,S	F,S,R	F,S,R	F,S,R	F,S,R,W
6	F	F,S	F,S,R	F,S*,R*	F*,S*,R*	F*,S*,R*
7	F	F	F*,S,R	F*,S*,R*	F*,S*,R*	F*,S*,R*
8	-	F	F,S	F,S	F,S	F,S

หมายเหตุ F = FREE SWIMMING CILIATES

S = STALKED CILIATES

R = ROTIFERS

W = WORMS

* = มีปริมาณมาก

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

การทดลองที่	ตอนที่					
	1	2	3	4	5	6
9	F	F,S	F,S	F,S	F,S	F,S
10	F,S,R,W	F,S,R,W	F,S,R,W	F,S,R*,W	F,S*,R*,W	F,S*,R*,W
11	-	F,S	F,S,R	F,S,R,W	F,S,R,W	F,S*,R*,W
12	F,S	F,S,R	F,S,R,W	F,S,R*,W	F,S*,R*,W	F,S*,R*,W
13	F	F,S,R	F,S,R*	F,S*,R*,W	F,S*,R*,W	F,S*,R*,W
14	-	-	F	F,S*	F*,S*	F*,S*
15	-	F	F	F,S	F,S	F*,S*
16	-	F	F,S	F,S	F,S	F*,S*

หมายเหตุ F = FREE SWIMMING CILIATES

S = STALKED CILIATES

R = ROTIFER

W = WORMS

* = มีปริมาณมาก

Rotifer และ Round Worm ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดที่ต้องการออกซิเจนเกือบทุกตอนของระบบอาร์บีซี ยกเว้นตอนที่ 1 และ 2 เท่านั้นที่ยังไม่พบ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำทิ้ง เป็น 1 : 2 และ 1 : 3 ตามลำดับ จะพบสิ่งมีชีวิตชนิดต้องการออกซิเจนในทุก ๆ ตอนของอาร์บีซี (ดูตารางที่ 5.7) แต่ที่ค่าอินทรีย์บรรทุกสูงมาก ๆ (อินทรีย์บรรทุก 196 ก.ซีโอดี/ตร.ม./วัน) อาร์บีซีตอนแรกเท่านั้นคงในสภาพไร้ออกซิเจน เนื่องจากไม่พบสิ่งมีชีวิตชนิดต้องการออกซิเจน ผลจากการตรวจดูสิ่งที่มีชีวิตบนเมือกจุลชีพนี้จะสอดคล้องกับสีของเมือกจุลชีพที่ปรากฏ คือ เมื่อเมือกจุลชีพมีสีเทาหรือขาว แสดงว่าจุลชีพอยู่ในสภาพไม่ต้องการออกซิเจนหรือกึ่งไม่ต้องการออกซิเจน ส่วนเมือกจุลชีพที่มีสีน้ำตาล แสดงว่าอยู่ในสภาพต้องการออกซิเจน ซึ่งจากการสังเกตการเกิดของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ แสดงว่าการหมุนเวียนน้ำทิ้งทำให้การทำงานของอาร์บีซีในแต่ละตอนดีขึ้นกว่าเมื่อไม่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง