บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการกำจัดไนโตรเจนโดยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งจะใช้กระบวนการไนทริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน เพื่อเป็นการปรับปรุงระบบบ่อเติมอากาศที่โรงงานอุตสาหกรรมบางโรงงานในภาคใต้ใช้ในการบำบัดน้ำเสียซึ่งโรงงานเหล่านี้มักจะมีปัญหาในการกำจัดไนโตรเจนเนื่องจากว่าระบบบ่อเติมอากาศจะมีความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนต่ำ และจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ากระบวนการไนทริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะเป็นวิธีที่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ดี แต่ส่วนมากที่มีการศึกษากระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะนำไปใช้กับระบบที่มีความเข้มข้นจุลินทรีย์อยู่มาก เช่น ระบบตะกอนเร่ง เป็นต้น แต่ระบบที่มีความเข้มข้นจุลินทรีย์อยู่น้อย เช่น ระบบบ่อเติมอากาศ ยังไม่ค่อยมีการศึกษา ดังนั้นในการวิจัยนี้ส่วนแรกได้ทำการศึกษาเพื่อหาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยการทดลองจะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ และจะทำการทดลองแบบทีละเทในห้องปฏิบัติการ แล้วทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ pH COD BOD_5 TKN NO_3^--N และ SS ส่วนที่สองได้ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานที่มีสภาวะที่ใกล้เคียงกับลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ที่สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดไนโตรเจนที่ดีที่สุด และส่วนสุดท้ายจะทำการกำหนดสภาวะขั้นตอนที่เหมาะสมต่อการกำจัดไนโตรเจนในการเดินระบบบำบัดทางชีวภาพที่มีระบบผสมของบ่อเติมอากาศ (กระบวนการไนทริฟิเคชัน) และบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน)

ซึ่งได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้ คือ

1. ผลของอิทธิพลของจุลินทรีย์ที่มีผลต่อกระบวนการกำจัดไนโตรเจน

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อดูว่าน้ำเสียสังเคราะห์จะต้องมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์หรือไม่ต้องเติมเชื้อจุลินทรีย์ จึงจะสามารถทำให้กระบวนการนี้กำจัดไนโตรเจนได้ ซึ่งการกำจัดไนโตรเจนจะมี 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการไนทริฟิเคชัน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเทรต และขั้นตอนที่สองเป็นกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน จะมีการเปลี่ยนไนเทรตเป็นก๊าซไนโตรเจน โดยการทดลองจะพิจารณาดูค่าไนโตรเจนในรูปของไนเทรต เนื่องจากว่า ถ้าเกิดกระบวนการไนทริฟิเคชัน ไนเทรตก็จะต้องเพิ่มมากขึ้นด้วย

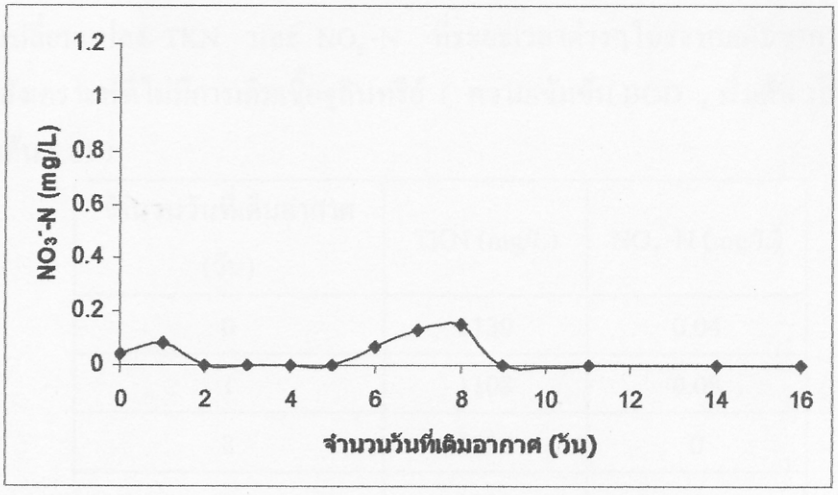
จากการศึกษาผลของจุลินทรีย์ที่มีผลต่อกระบวนการกำจัดไนโตรเจน ที่ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ผลของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ และ ผลของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ ผลการทดลองแสดงดังตาราง 9ถึง ตาราง 10 และ ภาพประกอบ 8 ถึง ภาพประกอบ 11

1.1 ผลของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์

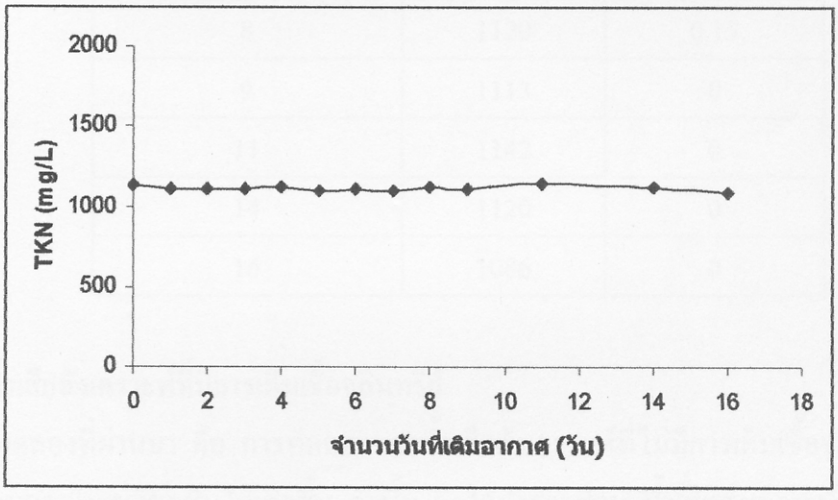
การศึกษาน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ น้ำเสียสังเคราะห์จะมีลักษณะน้ำเสียเริ่มต้น ได้แก่ ความเข้มข้น BOD_5 10 ± 5 mg/L ความเข้มข้น TKN 1200 ± 100 mg/L และ pH 5.6 ± 0.2 ซึ่งเป็นการทดลองในกระบวนการไนทริฟิเคชันโดยทำการเติมอากาศตลอดเวลา และทุก 24 ชั่วโมง จะนำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ pH COD BOD_5 TKN และ NO_3^--N (ภาคผนวก ข. ตาราง 30) โดยจะทำการเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 16 วัน

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลง TKN และ NO_3^--N ที่ระยะเวลาต่างๆของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์จะมีปริมาณ TKN และ ปริมาณ NO_3^--N เท่าเดิม ดังตาราง 9 และ ภาพประกอบ 8-9 แสดงให้เห็นว่าไม่เกิดกระบวนการไนทริฟิเคชัน เนื่องจากว่า กระบวนการไนทริฟิเคชัน จะมีการเปลี่ยนแอมโมเนียม (NH_4^+) ไปเป็น ไนเทรต (NO_3^-) ดังนั้น กระบวนการไนทริฟิเคชัน จึงควรจะมีปริมาณไนเทรตเพิ่มขึ้น แต่ TKN เท่าเดิม ดังสมการ (8)

$$NH_4^+ + 1.86O_2 + 1.98HCO_3^- \rightarrow 0.02C_5H_7O_2N + 0.98NO_3^- + 1.04H_2O + 1.88H_2CO_3 \quad (8)$$



ภาพประกอบ 8 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ NO_3^--N ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 10 ± 5 mg/L pH เริ่มต้น 5.6 ± 0.2)



ภาพประกอบ 9 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ TKN ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 10 ± 5 mg/L pH เริ่มต้น 5.6 ± 0.2)

ตาราง 9 ผลการเปลี่ยนแปลง TKN และ NO_3^--N ที่ระยะเวลาต่างๆในระบบเติมอากาศของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 10 mg/L pH เริ่มต้น 5.61)

จำนวนวันที่เติมอากาศ (วัน)	TKN (mg/L)	NO_3^--N (mg/L)
0	1130	0.04
1	1108	0.08
2	1115	0
3	1109	0
4	1120	0
5	1096	0
6	1112	0.07
7	1101	0.13
8	1120	0.15
9	1113	0
11	1142	0
14	1120	0
16	1086	0

1.2 ผลของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์

จากการทดลองที่ผ่านมา คือ การทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ จะพบว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันไม่เกิดขึ้น ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์จะมีลักษณะน้ำเสียเริ่มต้น ได้แก่ ความเข้มข้น BOD_5 10 ± 5 mg/L ความเข้มข้น TKN 1200 ± 100 mg/L pH 5.6 ± 0.2 ซึ่งมีลักษณะน้ำเสียเริ่มต้นเหมือนกับการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ แต่การทดลองนี้จะมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ 600 mg/L ลงไปในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย การทดลองนี้เป็นการทดลองในกระบวนการไนทริฟิเคชันโดยทำการเติมอากาศตลอดเวลา และทุก 24 ชั่วโมง จะนำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ pH COD BOD_5 TKN และ NO_3^--N (ภาคผนวก ข. ตาราง 31) โดยจะทำการเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 12 วัน

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลง TKN และ NO_3^--N ที่ระยะเวลาต่างๆของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ 600 mg/L พบว่า เมื่อใช้เวลาในการเติมอากาศมากขึ้น ไนโตรเจนในรูปของไนเทรตก็จะมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ดังแสดงในตาราง 10 และภาพประกอบ 10 ส่วนปริมาณ TKN จะเท่าเดิม ดังแสดงในตาราง 10 และภาพประกอบ 11 ซึ่งจากทางทฤษฎี จะเห็นว่า กระบวนการไนทริฟิเคชัน เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นไนเทรตไนโตรเจน (เกรียงศักดิ์, 2543) ดังสมการ (8)

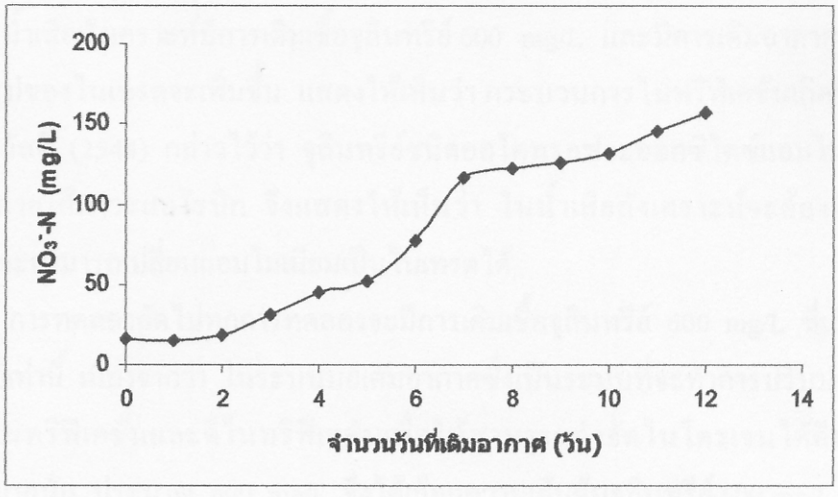
$$NH_4^+ + 1.86O_2 + 1.98HCO_3^- \rightarrow 0.02C_5H_7O_2N + 0.98NO_3^- + 1.04H_2O + 1.88H_2CO_3 \quad (8)$$

และกระบวนการไนทริฟิเคชัน ไนโตรเจนจะยังไม่ได้ถูกกำจัดเพียงแค่เปลี่ยนรูปไปเป็นไนเทรตเท่านั้น ดังนั้น ปริมาณ TKN จึงยังคงเท่าเดิม

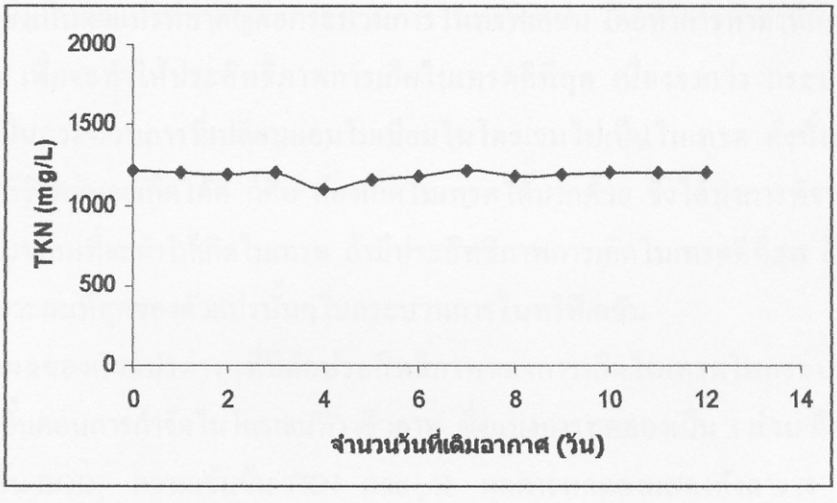
แสดงให้เห็นว่า การทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ จะมีกระบวนการไนทริฟิเคชันเกิดขึ้น

ตาราง 10 ผลการเปลี่ยนแปลง TKN และ NO_3^--N ที่ระยะเวลาต่างๆ ในระบบเติมอากาศของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 10 $\pm$ 5 mg/L pH เริ่มต้น 5.6 $\pm$ 0.2 และ ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L)

จำนวนวันที่เติมอากาศ (วัน)	TKN (mg/L)	NO_3^--N (mg/L)
0	1213	16.31
1	1208	15.5
2	1196	20.13
3	1199	33.89
4	1099	49.57
5	1156	56.78
6	1179	83.21
7	1210	127.98
8	1184	133.16
9	1195	137.34
10	1201	143.56
11	1197	158.91
12	1199	170.34



ภาพประกอบ 10 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ NO_3^--N ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 10 ± 5 mg/L pH เริ่มต้น 5.6 ± 0.2 และ ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L)



ภาพประกอบ 11 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ TKN ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 10 ± 5 mg/L pH เริ่มต้น 5.6 ± 0.2 และ ความ เข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L)

จากการทดลองระหว่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์และมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ 600 mg/L พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์เมื่อมีการเติมอากาศปริมาณไนโตรเจนในรูปของไนเทรตจะไม่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันไม่

เกิดขึ้น แต่เมื่อน้ำเสียสังเคราะห์มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ 600 mg/L และมีการเติมอากาศ ปริมาณไนโตรเจนในรูปของไนเทรตจะเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันเกิดขึ้น ซึ่ง ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544) กล่าวไว้ว่า จุลินทรีย์ชนิดออโตทรอฟจะออกซิไดซ์แอมโมเนียมไปเป็นไนเทรต ภายใต้ภาวะแอโรบิก จึงแสดงให้เห็นว่า ในน้ำเสียสังเคราะห์จะต้องมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์จึงจะสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียมเป็นไนเทรตได้

ดังนั้น การทดลองถัดไปทุกการทดลองจะมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ 600 mg/L ที่เลือกความเข้มข้นจุลินทรีย์เท่านี้ เนื่องจากว่า ในระบบบ่อเติมอากาศซึ่งเป็นระบบที่จะทำการปรับปรุงโดยใช้กระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชันเพื่อให้สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ดีนั้น จะมีจุลินทรีย์อยู่ไม่มากนัก ประมาณ 600 mg/L จึงได้เลือกความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L มาใช้ในการทดลอง

2. ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพของการเกิดไนเทรต-ไนโตรเจนในกระบวนการไนทริฟิเคชันของขั้นตอนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการไนทริฟิเคชัน ได้แก่ BOD_5 TKN และ pH ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อกระบวนการไนทริฟิเคชัน โดยทำการหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ เพื่อจะทำให้ประสิทธิภาพการเกิดไนเทรตดีที่สุด เนื่องจากว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันจะเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเทรต ดังนั้น การที่กระบวนการไนทริฟิเคชันจะเกิดได้ดี ก็คือ ต้องเกิดไนเทรตได้มากด้วย จึงได้ทำการพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆว่าเหมาะสมที่จะทำให้เกิดไนเทรต ถ้ามีประสิทธิภาพการเกิดไนเทรตดีที่สุด ก็คือ ค่านั้นจะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรนั้นๆในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

จากการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพของการเกิดไนเทรตในกระบวนการไนทริฟิเคชันของขั้นตอนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน คือ ศึกษาผลของความเข้มข้น BOD_5 ความเข้มข้น TKN และ pH ผลการทดลองแสดงดังตาราง 11 ถึง ตาราง 19 และภาพประกอบ 12 ถึง ภาพประกอบ 22

2.1 ผลของความเข้มข้น BOD_5 ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพการเกิดไนเทรต-ไนโตรเจนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

การศึกษาผลของความเข้มข้น BOD_5 ของสารป้อนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เพื่อศึกษาดูว่าความเข้มข้น BOD_5 ที่อยู่ในช่วง 0-4000 mg/L ค่าความเข้มข้นใดจะมีประสิทธิภาพในการเกิดไนโตรเจนในรูปของไนเทรตได้ดีที่สุด ได้ทำการศึกษาค่าความเข้มข้น BOD_5 4 ค่า คือ

10 ± 8 300 ± 50 2000 ± 100 และ 4000 ± 100 mg/L ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นมีลักษณะดังตาราง 11

ตาราง 11 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นเมื่อทำการศึกษาความเข้มข้น BOD_5 ของสารป้อนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

ความเข้มข้น BOD_5 (mg/L)	ความเข้มข้น TKN (mg/L)	pH	ความเข้มข้นจุลินทรีย์ (mg/L)
10 ± 8	600 ± 50	7.8 ± 0.2	600
300 ± 50	600 ± 50	7.8 ± 0.2	600
2000 ± 100	600 ± 50	7.8 ± 0.2	600
4000 ± 100	600 ± 50	7.8 ± 0.2	600

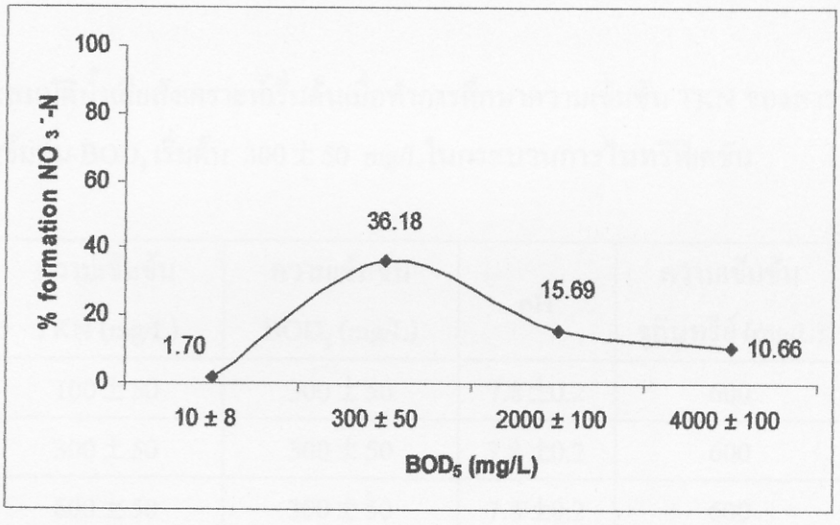
โดยทำการเติมอากาศตลอดเวลา และทุก 24 ชั่วโมงจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ pH COD BOD_5 TKN และ NO_3^--N เป็นระยะเวลา 7 วัน (ผลการทดลองที่ความเข้มข้น BOD_5 10 ± 8 300 ± 50 2000 ± 100 และ 4000 ± 100 mg/L อยู่ในภาคผนวก ข. ตาราง 32 33 34 และ 35 ตามลำดับ)

จากผลของความเข้มข้น BOD_5 ต่อปริมาณการเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า ดังตาราง 12 ความเข้มข้น BOD_5 ที่มีค่าเริ่มต้น 10 ± 8 300 ± 50 2000 ± 100 และ 4000 ± 100 mg/L จะมีค่าปริมาณ NO_3^--N เกิดขึ้น เท่ากับ 10.69 229.72 100.08 และ 66.61 mg/L ตามลำดับ และมีค่าเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N เท่ากับ 1.70 36.18 15.69 และ 10.66 ตามลำดับ ส่วนภาพประกอบ 12 จะแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 322 จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544) ที่กล่าวไว้ว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันจะเกิดขึ้น เมื่อสารอาหารชนิดคาร์บอนลดลงเหลือน้อยและระบบยังอยู่ในภาวะแอโรบิก คือ มีการเติมอากาศ และ ทวีลาภ (2544) กล่าวไว้ว่า ระบบจะต้องมีค่า BOD_5 และ COD ที่ค่อนข้างต่ำ จึงจะทำให้สารประกอบแอมโมเนียมไนโตรเจนดึงออกซิเจนจากปริมาณ dissolved oxygen ให้กลายเป็นสารประกอบไนเทรตได้ดี แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะทำให้สามารถเกิด NO_3^--N ได้มากที่สุด ดังนั้นในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 600 ± 50 mg/L pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน พบว่า

ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 100 mg/L จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพการเกิดไนเทรตดีที่สุด

ตาราง 12 ผลของความเข้มข้น BOD_5 ต่อปริมาณการเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 600 ± 50 mg/L pH เริ่มต้นประมาณ 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน)

ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น (mg/L)	NO_3^--N (mg/L)			%formation NO_3^--N
		influent	effluent	ปริมาณการเกิด	
10 ± 8	600 ± 50	0.53	11.22	10.69	1.70
300 ± 50	600 ± 50	0.22	229.94	229.72	36.18
2000 ± 100	600 ± 50	0.16	100.24	100.08	15.69
4000 ± 100	600 ± 50	0.09	66.70	66.61	10.66



ภาพประกอบ 12 ผลของความเข้มข้น BOD_5 ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 600 ± 50 mg/L pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน)

2.2 ผลของความเข้มข้น TKN ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพการเกิดไนเทรต-ไนโตรเจนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

การศึกษาผลของความเข้มข้น TKN ของสารป้อนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เพื่อศึกษาดูว่าความเข้มข้น TKN ที่อยู่ในช่วง 100-1200 mg/L ค่าความเข้มข้นใดจะมีประสิทธิภาพในการเกิดไนโตรเจนในรูปของไนเทรตได้ดีที่สุด ซึ่งจะแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ เมื่อความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 และ 2000 ± 100 mg/L เพื่อจะเปรียบเทียบดูว่า ผลของความเข้มข้น BOD_5 จะมีผลต่อความเข้มข้น TKN หรือไม่ ผลการทดลองแสดงดังตาราง 13 ถึงตาราง 17 และ ภาพประกอบ 13 ถึงภาพประกอบ 15

2.2.1 ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้นประมาณ 300 mg/L

การศึกษาผลของความเข้มข้น TKN ของสารป้อนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L เพื่อศึกษาดูว่าความเข้มข้นTKN ที่อยู่ในช่วง 100-1200 mg/L ค่าความเข้มข้นใดจะมีประสิทธิภาพในการเกิดไนโตรเจนในรูปของไนเทรตได้ดีที่สุด ได้ทำการศึกษาค่าความเข้มข้น TKN 5 ค่า คือ 100 ± 50 300 ± 50 600 ± 50 900 ± 50 และ 1200 ± 50 mg/L ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นมีลักษณะ ดังตาราง 13

ตาราง 13 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นเมื่อทำการศึกษาความเข้มข้น TKN ของสารป้อนที่มีความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

ความเข้มข้น TKN (mg/L)	ความเข้มข้น BOD_5 (mg/L)	pH	ความเข้มข้นจุลินทรีย์ (mg/L)
100 ± 50	300 ± 50	7.8 ± 0.2	600
300 ± 50	300 ± 50	7.8 ± 0.2	600
600 ± 50	300 ± 50	7.8 ± 0.2	600
900 ± 50	300 ± 50	7.8 ± 0.2	600
1200 ± 50	300 ± 50	7.8 ± 0.2	600

โดยทำการเติมอากาศตลอดเวลา และทุก 24 ชั่วโมงจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ pH COD BOD_5 TKN และ NO_3^--N เป็นระยะเวลา 7 วัน (ผลการทดลองที่ความ

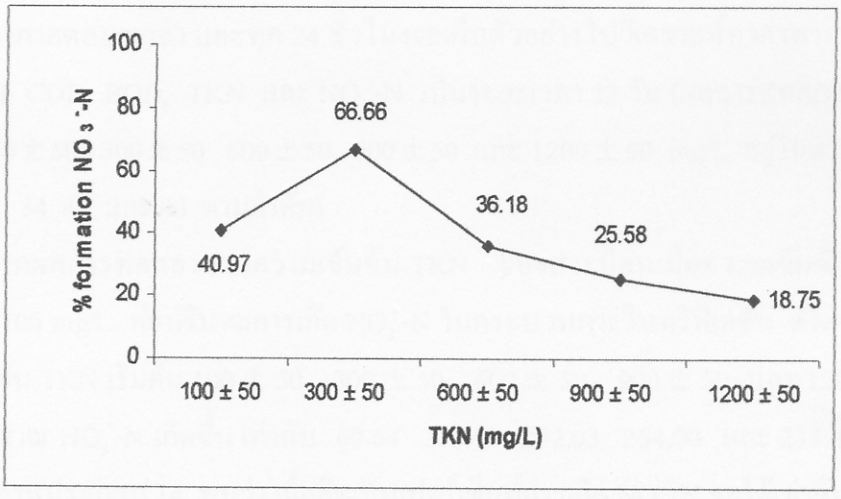
เข้มข้น TKN 100 ± 50 300 ± 50 600 ± 50 900 ± 50 และ 1200 ± 50 mg/L อยู่ในภาคผนวก ข. ตาราง 36 37 33 38 และ 39 ตามลำดับ)

จากผลการทดลองของความเข้มข้น TKN ของสารป้อนเมื่อความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ต่อปริมาณการเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน ดังตาราง 14 พบว่า ความเข้มข้น TKN ที่มีค่าเริ่มต้น 100 ± 50 300 ± 50 600 ± 50 900 ± 50 และ 1200 ± 50 mg/L จะมีค่าปริมาณ NO_3^--N เกิดขึ้น เท่ากับ 47.12 224.64 229.72 234.07 และ 231.24 mg/L ตามลำดับ ส่วนภาพประกอบ 13 พบว่า เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N จะได้เท่ากับ 40.97 66.66 36.18 25.58 และ 18.75 ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่า ที่ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N มากที่สุด การที่ความเข้มข้น TKN น้อยสามารถเกิด NO_3^--N ได้มาก อาจเนื่องมาจาก NO_3^--N เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ไปเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็น NO_3^--N ซึ่งในน้ำเสียจะมีความเข้มข้นจุลินทรีย์เท่ากัน จึงทำให้มีการเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็น NO_3^--N ได้ในปริมาณที่เท่าๆกัน ดังนั้นเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ที่ความเข้มข้น TKN น้อยจึงมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ได้มาก

แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะทำให้สามารถเกิด NO_3^--N ได้มากที่สุด ดังนั้นในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน พบว่า ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพการเกิดไนเทรตดีที่สุด

ตาราง 14 ผลของความเข้มข้น TKN ต่อปริมาณการเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L pH เริ่มต้น 7.8 ±0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และ ระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน)

ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น (mg/L)	NO_3^--N (mg/L)			% formation NO_3^--N
	influent	effluent	ปริมาณการเกิด	
100 ± 50	0.14	47.26	47.12	40.97
300 ± 50	1.14	225.78	224.64	66.66
600 ± 50	0.22	229.94	229.72	36.18
900 ± 50	1.11	235.18	234.07	25.58
1200 ± 50	0.8	232.04	231.24	18.75



ภาพประกอบ 13 ผลของความเข้มข้น TKN ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน)

2.2.2 ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้นประมาณ 2000 mg/L

การศึกษาผลของความเข้มข้น TKN ของสารป้อนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L เพื่อศึกษาดูว่าความเข้มข้น TKN ที่อยู่ในช่วง 100-1200 mg/L ค่าความเข้มข้นใดจะมีประสิทธิภาพในการเกิดไนโตรเจนในรูปของไนเทรตได้ดีที่สุด ได้ทำการศึกษาค่าความเข้มข้น TKN 5 ค่า คือ 100 ± 50 300 ± 50 600 ± 50 900 ± 50 และ 1200 ± 50 mg/L ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นมีลักษณะ ดังตาราง 15

ตาราง 15 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นเมื่อทำการศึกษาความเข้มข้น TKN ของสารป้อนที่มีความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

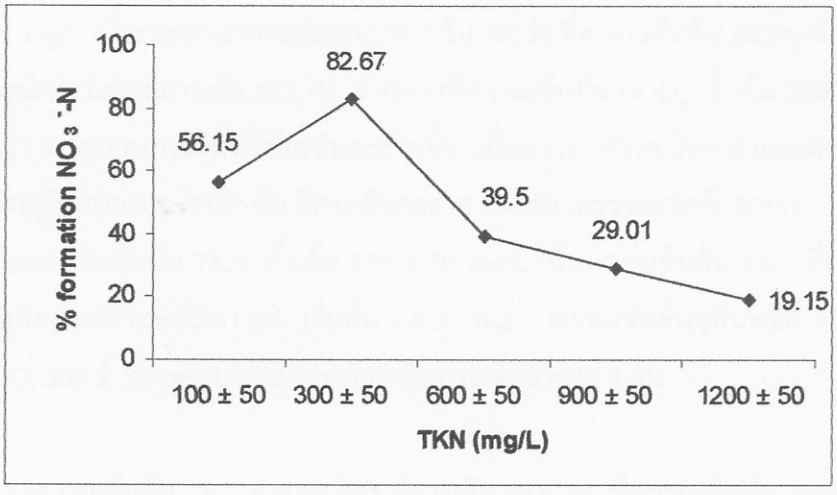
ความเข้มข้น TKN (mg/L)	ความเข้มข้น BOD_5 (mg/L)	pH	ความเข้มข้นจุลินทรีย์ (mg/L)
100 ± 50	2000 ± 100	7.8 ± 0.2	600
300 ± 50	2000 ± 100	7.8 ± 0.2	600
600 ± 50	2000 ± 100	7.8 ± 0.2	600
900 ± 50	2000 ± 100	7.8 ± 0.2	600
1200 ± 50	2000 ± 100	7.8 ± 0.2	600

โดยทำการเติมอากาศตลอดเวลา และทุก 24 ชั่วโมงจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ pH COD BOD_5 TKN และ NO_3^--N เป็นระยะเวลา 12 วัน (ผลการทดลองที่ความเข้มข้น TKN 100 ± 50 300 ± 50 600 ± 50 900 ± 50 และ 1200 ± 50 mg/L อยู่ในภาคผนวก ข. ตาราง 40 41 34 42 และ 43 ตามลำดับ)

จากผลการทดลองของความเข้มข้น TKN ของสารป้อนเมื่อความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L ต่อปริมาณการเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน ดังตาราง 16 พบว่า ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 100 ± 50 300 ± 50 600 ± 50 900 ± 50 และ 1200 ± 50 mg/L จะมีค่าปริมาณ NO_3^--N เกิดขึ้น เท่ากับ 60.64 260.40 252.03 264.00 และ 233.41 mg/L ตามลำดับ ส่วน ภาพประกอบ 14 พบว่า เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N จะได้เท่ากับ 56.15 82.67 39.50 29.01 และ 19.15 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้น TKN ที่มีค่าเริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N มากที่สุด ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N มากที่สุด ดังนั้นในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้น BOD_5เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน พบว่า ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพการเกิดไนเทรตดีที่สุด

ตาราง 16 ผลของความเข้มข้น TKN ต่อปริมาณการเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L , pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 12 วัน)

ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น (mg/L)	NO_3^--N (mg/L)			% formation NO_3^--N
	influent	effluent	ปริมาณการเกิด	
100 ± 50	1.09	61.73	60.64	56.15
300 ± 50	0.43	260.83	260.40	82.67
600 ± 50	0.16	252.19	252.03	39.50
900 ± 50	1.18	265.18	264.00	29.01
1200 ± 50	0.72	234.13	233.41	19.15



ภาพประกอบ 14 ผลของความเข้มข้น TKN ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และ ระยะเวลาในการเติมอากาศ 12 วัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองของความเข้มข้น TKN ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพการเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน ที่ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 และ 2000 ± 100 mg/L โดยจะทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 7 วัน เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ได้มีค่าความเข้มข้น BOD_5 ต่ำกว่าค่ากำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 mg/L จึงได้เลือกระยะเวลาเติมอากาศ 7 วันมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชันเพื่อหาความเข้มข้น TKN ของสารป้อนที่เหมาะสม (ผลการทดลองของความเข้มข้น TKN ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพการเกิด NO_3^--N ที่ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L คือ ภาคผนวก ข. ตาราง 36 37 33 38 และ 39 และ ที่ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L คือ ภาคผนวก ค. ตาราง 40 41 34 42 และ 43)

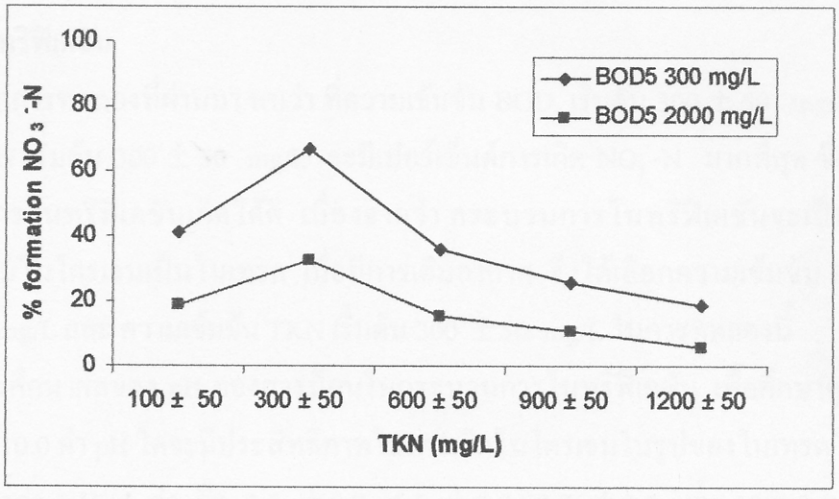
เมื่อมีการเปรียบเทียบผลการทดลองของความเข้มข้น TKN ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ที่ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 และ 2000 ± 100 mg/L เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า ที่ความเข้มข้น TKN เริ่มต้นประมาณ 300 ± 50 mg/L จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N เท่ากับ 66.66 และ 32.81 ดังตาราง 17 ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ที่มากที่สุดทั้งความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 และ 2000 ± 100 mg/L ดังนั้น ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จึงเป็นความเข้มข้น TKN ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการไนทริฟิเคชัน และที่ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L เมื่อพิจารณาดูเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ที่ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50

และ 2000 ± 100 mg/L เมื่อระยะเวลาการเติมอากาศ 7 วัน พบว่า ที่ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N มากกว่าที่ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L เนื่องจากว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันจะเกิดขึ้น เมื่อสารอาหารชนิดคาร์บอนลดลงเหลือน้อยและระบบยังอยู่ในภาวะแอโรบิก คือ มีการเติมอากาศ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

จึงได้มีการเลือกความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L เป็นความเข้มข้น TKN ที่เหมาะสมที่สุด สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่า pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L ความเข้มข้น BOD_5 300 ± 50 mg/L และ ระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน

ตาราง 17 ผลของความเข้มข้น TKN ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ที่ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้นต่างๆ ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และ ระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน)

ความเข้มข้น TKN เริ่มต้นประมาณ (mg/L)	% formation NO_3^--N	
	BOD_5 (mg/L)	
	300 ± 50	2000 ± 100
100 ± 50	40.97	18.7
300 ± 50	66.66	32.81
600 ± 50	36.18	15.69
900 ± 50	25.58	10.59
1200 ± 50	18.75	5.76



ภาพประกอบ 15 ผลของความเข้มข้น TKN ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ที่ BOD_5 เริ่มต้นต่างๆ ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (pH เริ่มต้น 7.8 $\pm$ 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน)

จากผลการทดลองที่ผ่านมา การกำจัดไนโตรเจนโดยวิธีทางชีวภาพซึ่งต้องใช้กระบวนการไนทริฟิเคชัน พบว่า จะมีประสิทธิภาพในการเกิด NO_3^--N ได้ดีที่ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้นไม่สูงมาก แต่น้ำเสียจากโรงงานส่วนมากจะมีความเข้มข้น BOD_5 สูง ดังนั้น ในช่วงแรกของระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งมีความเข้มข้น BOD_5 สูง จะต้องมีการกำจัดความเข้มข้น BOD_5 ก่อนโดยอาจจะใช้ระบบไร้อากาศ (anaerobic) ก็ได้ เนื่องจากระบบนี้จะสามารถกำจัด BOD_5 ได้ค่อนข้างดีและประหยัดค่าใช้จ่าย แต่จะมีข้อเสียที่จะต้องใช้ระยะเวลานาน แล้วหลังจากกำจัด BOD_5 ให้มีค่าไม่สูงแล้วจึงใช้กระบวนการไนทริฟิเคชัน ซึ่งจะเป็นขั้นตอนหนึ่งในการกำจัดไนโตรเจน โดยจะเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนในน้ำเสียให้เป็นไนเทรต แล้วจึงกำจัดไนเทรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจนซึ่งสามารถกำจัดไนโตรเจนออกนอกระบบบำบัดน้ำเสียได้ ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการไนทริฟิเคชันจึงเหมาะที่จะควบคุมให้มีการกำจัดไนโตรเจนในช่วงปลายของระบบบำบัดน้ำเสีย

2.3 ผลของ pH ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพการเกิดไนเทรต-ไนโตรเจนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า ที่ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L และ ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N มากที่สุด ซึ่งถือว่า ทำให้กระบวนการไนทริฟิเคชันเกิดได้ดี เนื่องจากว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันจะเป็นการเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นไนเทรต เมื่อมีการเติมอากาศ จึงได้เลือกความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L และ ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ในการทดลองนี้

การศึกษาผลของ pH ของสารป้อนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เพื่อศึกษาดูว่า pH ที่อยู่ในช่วง 2.7-10.0 ค่า pH ใดจะมีประสิทธิภาพในการเกิดไนโตรเจนในรูปของไนเทรตได้ดีที่สุด ได้ทำการศึกษาค่า pH 4 ค่า คือ 2.7 ±0.2 6.5 ±0.2 8.0 ±0.2 และ 10.0 ±0.2 ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นมีลักษณะ ดังตาราง 18

ตาราง 18 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นเมื่อทำการศึกษาค่า pH ของสารป้อนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

pH	ความเข้มข้น BOD_5 (mg/L)	ความเข้มข้น TKN (mg/L)	ความเข้มข้นจุลินทรีย์ (mg/L)
2.7 ± 0.2	316	310	600
6.5 ± 0.2	318	310	600
8.0 ± 0.2	334	365	600
10.0 ± 0.2	340	351	600

โดยทำการเติมอากาศตลอดเวลา และทุก 24 ชั่วโมงจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ pH COD BOD_5 TKN และ NO_3^--N เป็นระยะเวลา 7 วัน (ผลการทดลองที่ค่า pH 2.7 ± 0.2 6.5 ± 0.2 8.0 ± 0.2 และ 10.0 ± 0.2 อยู่ในภาคผนวก ข. ตาราง 44 45 46 และ 47 ตามลำดับ)

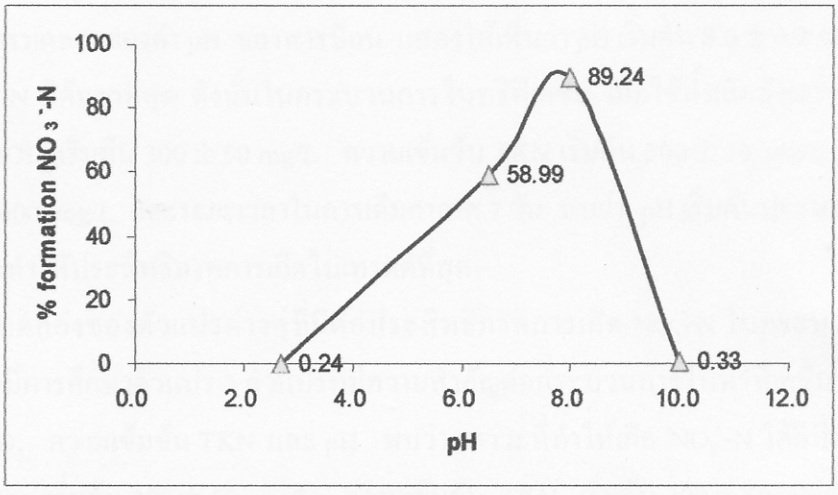
จากการทดลองของ pH ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพการเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน พบว่า จากตาราง 19 เมื่อ pH เริ่มต้น 2.7 ± 0.2 6.5 ± 0.2 8.0 ± 0.2 และ 10.0 ± 0.2 จะมีค่าปริมาณ NO_3^--N เกิดขึ้น เท่ากับ 0.78 182.86 325.76 และ 1.17 mg/L ตามลำดับ และภาพประกอบ 16 พบว่า เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N จะได้เท่ากับ 0.24 58.99 89.24

และ 0.33 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า pH เท่ากับ 8.0 ± 0.2 จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Camilla *et al.*, (2000) ได้ศึกษาผลของ pH ที่มีต่อ Nitrosomonas และ Nitrobacter ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน พบว่า pH ที่เหมาะสมสำหรับ Nitrosomonas คือ 8.1 และ Nitrobacter คือ 7.9 หรือ pH ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการไนทริฟิเคชัน คือ 8.0 ± 0.2 ซึ่งตรงกับผลการทดลอง

Shammas *et al.*, (1986) ศึกษาอันตรกิริยาของอุณหภูมิ pH และ ชีวมวล ที่มีต่อกระบวนการไนทริฟิเคชัน พบว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันมี pH ที่เหมาะสม เท่ากับ 8 ซึ่งถ้าค่า pH ต่ำกว่า 6.5 จะทำให้อัตราไนทริฟิเคชันลดลง

ตาราง 19 ผลของ pH ต่อปริมาณการเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50mg/L ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และ ระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน)

pH เริ่มต้น	ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น (mg/L)	NO_3^--N (mg/L)			%formation NO_3^--N
		influent	effluent	ปริมาณการเกิด	
2.7 ± 0.2	320	28.95	29.73	0.78	0.24
6.5 ± 0.2	310	35.68	218.54	182.86	58.99
8.0 ± 0.2	365	28.34	354.1	325.76	89.24
10.0 ± 0.2	351	28.95	30.12	1.17	0.33

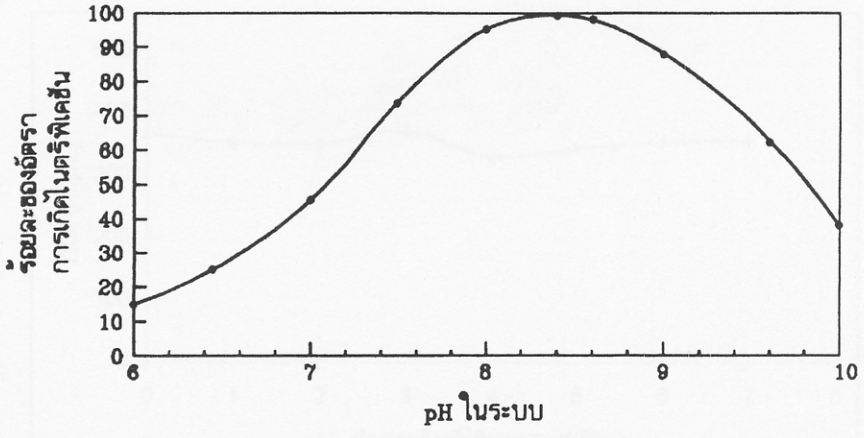


ภาพประกอบ 16 ผลของ pH ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 $\pm$ 50 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 $\pm$ 50 mg/L ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และ ระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน)

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2543) กล่าวว่า ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน ค่า pH ที่อยู่ในช่วง 7.2 ถึง 9.0 จะมีอัตราการเกิดไนทริฟิเคชันสูงสุด โดย pH มีผลต่อการเกิดไนทริฟิเคชัน ดังสมการ

$$\mu_{N,m}^{'} = \mu_N\left[1 - 0.833(7.2 - pH)\right]$$

และภาพประกอบ 17 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดไนทริฟิเคชันกับ pH ในระบบ



ภาพประกอบ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดไนทริฟิเคชันกับ pH ในระบบบำบัดแบบแขวนลอย

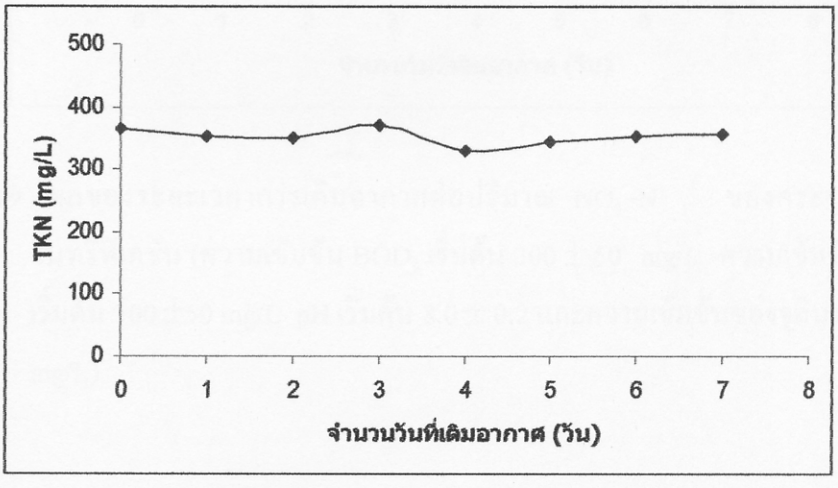
ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543 : 451

จากผลการทดลองของค่า pH ของสารป้อน แสดงให้เห็นว่า pH เริ่มต้น 8.0 ± 0.2 จะทำให้สามารถเกิด NO_3^--N ได้มากที่สุด ดังนั้นในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน พบว่า pH เริ่มต้นประมาณ 8.0 ± 0.2 จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพการเกิดไนเทรตดีที่สุด

จากการทดลองของตัวแปรต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพการเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อมีการศึกษาตัวแปร 3 ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการไนทริฟิเคชัน ได้แก่ ความเข้มข้น BOD_5 ความเข้มข้น TKN และ pH พบว่าสภาวะที่ทำให้เกิด NO_3^--N ได้ดีที่สุด คือ ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L pH เริ่มต้น 8.0 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังภาพประกอบ 18 ถึง ภาพประกอบ 22 (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข. ตาราง 47)

ก. TKN

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน ปริมาณ TKN ค่อนข้างคงที่ ดังภาพประกอบ 18 เนื่องจากว่าในกระบวนการไนทริฟิเคชันยังไม่ได้มีการกำจัดไนโตรเจนเป็นแค่เพียงการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน คือ เปลี่ยนจากแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเทรตเท่านั้น ส่วนการกำจัดไนโตรเจนนั้นจะเป็นขั้นตอนต่อไป คือ กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ซึ่งกระบวนการนี้จะมีการหยุดเติมอากาศ ที่ทำให้จะมีการเปลี่ยนไนเทรตไปเป็นก๊าซไนโตรเจน



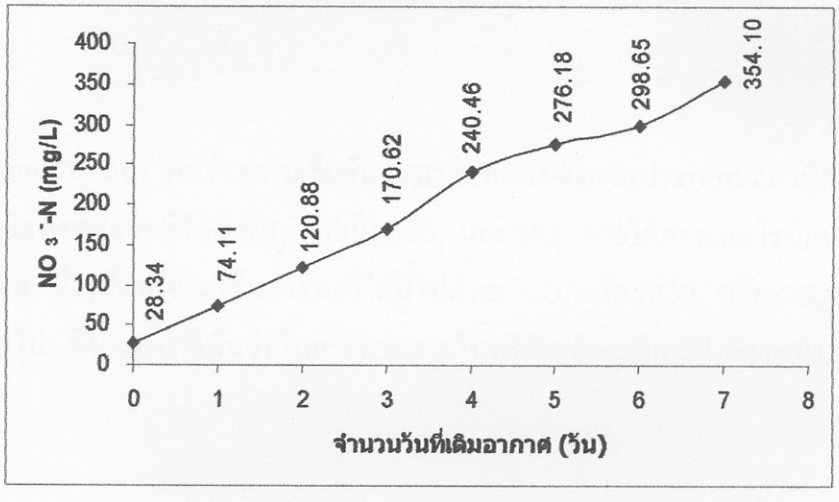
ภาพประกอบ 18 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ TKN ของกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300±50 mg/L pH เริ่มต้น 8.0 ± 0.2 และความเข้มข้นของจุลินทรีย์ 600 mg/L)

ข. NO_3^--N

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน ปริมาณ NO_3^--N จะเพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 19 เนื่องจากว่า ในกระบวนการไนทริฟิเคชันจะมีการเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเทรต ดังสมการ (8)

$$NH_4^+ + 1.86O_2 + 1.98HCO_3^- \rightarrow 0.02C_5H_7O_2N + 0.98NO_3^- + 1.04H_2O + 1.88H_2CO_3 \quad (8)$$

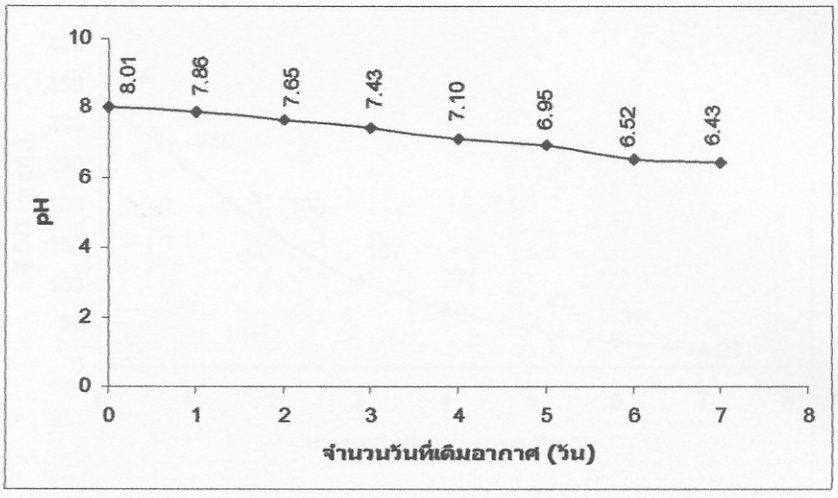
ซึ่งจากสมการก็จะเห็นว่า เมื่อมีการเติมอากาศ คือ มีออกซิเจน โดยออกซิเจนก็จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์หรือเป็นตัวรับอิเล็กทรอนของแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเทรต ดังนั้น ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน จึงมีปริมาณไนเทรตเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 19 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ NO_3^--N ของกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L pH เริ่มต้น 8.0 ± 0.2 และความเข้มข้นของจุลินทรีย์ 600 mg/L)

ค. pH

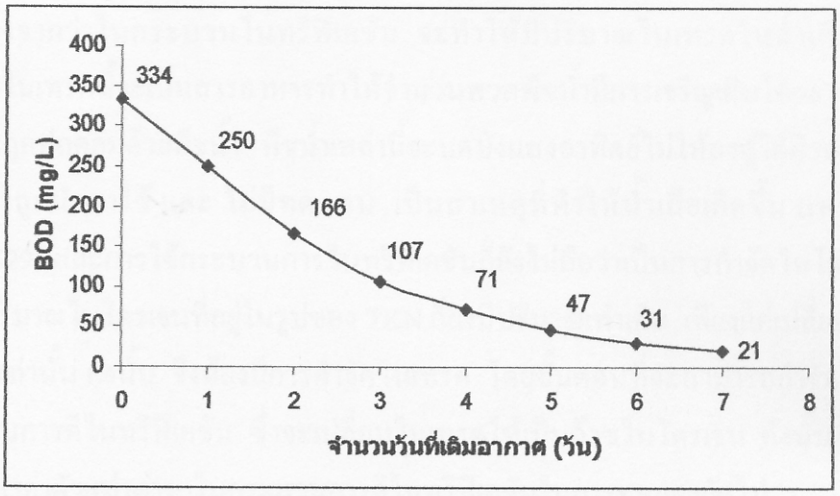
จากผลการทดลอง พบว่า pH จะลดลง ตามระยะเวลาในการเติมอากาศ ดังภาพประกอบ 20 เนื่องจากว่าในปฏิกิริยาไนทริฟิเคชันจะมีการปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมา ซึ่ง H^+ นี้จะไปทำลายสภาพด่างให้หายไป จึงทำให้ pH ลดลง



ภาพประกอบ 20 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อค่า pH ของกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 $\pm$ 50 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 $\pm$50 mg/L pH เริ่มต้น 8.0 $\pm$ 0.2 และความเข้มข้นของจุลินทรีย์ 600 mg/L)

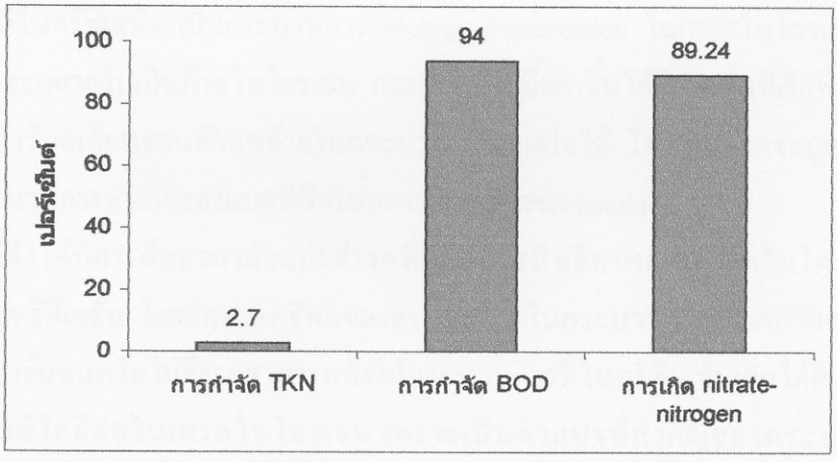
ง. BOD_5

จากผลการทดลอง พบว่า ความเข้มข้น BOD_5จะลดลง ดังภาพประกอบ 21 เนื่องจากว่าจุลินทรีย์ชนิดออโตทรอฟออกซิไดซ์ NH_4^+ ไปเป็น NO_2^- และ NO_3^- ภายใต้ภาวะแอโรบิกนั้นจะได้พลังงานออกมาด้วย ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้พลังงานที่ได้นี้ไปดึงเอา CO_2 หรือ HCO_3^- หรือ CO_3^{2-} มาเป็นแหล่งคาร์บอนต่อไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการไนทริฟิเคชันจะมีการกำจัด BOD_5 ด้วย



ภาพประกอบ 21 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ BOD_5 ของกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ±50 mg/L pH เริ่มต้น 8.0 ± 0.2 และความเข้มข้นของจุลินทรีย์ 600 mg/L)

และเมื่อมาพิจารณาดูเปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD TKN และ เปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน พบว่า เมื่อกระบวนการไนทริฟิเคชันมีการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD 94% ประสิทธิภาพการกำจัด TKN 2.7% และประสิทธิภาพการเกิด NO_3^--N 89.24 % ดังภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 22 ผลของเปอร์เซ็นต์การกำจัด TKN , BOD_5 และการเกิด NO_3^--N ของกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L pH เริ่มต้น 8.0 ± 0.2 และความเข้มข้นของจุลินทรีย์ 600 mg/L)

แต่เนื่องจากว่าในกระบวนไนทริฟิเคชัน จะทำให้มีปริมาณไนเทรตในน้ำเสียอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งไนเทรตนี้จะเป็นสารอาหารทำให้จำนวนพวกพืชน้ำมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แล้วบนผิวน้ำจะถูกปกคลุมด้วยพืชน้ำ พืชน้ำเหล่านี้จะบดบังแสงอาทิตย์ไม่ให้ลงสู่ใต้ผิวน้ำ ทำให้ออกซิเจนในน้ำถูกนำมาใช้ และ ไม่มีทดแทน เป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำเสียเกิดขึ้น (เพริศพิชญ์ คณาธารณา , 2529) และการใช้กระบวนการไนทริฟิเคชันก็ยังไม่ถือว่าเป็นการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสีย เพราะ ปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของ TKN ก็ยังมีปริมาณเท่าเดิม เพียงแค่เปลี่ยนไปเป็นรูปของไนเทรตเท่านั้น ดังนั้น จึงต้องมีการกำจัดไนเทรต โดยขั้นตอนที่จะสามารถกำจัดไนเทรตได้ คือ กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ซึ่งจะเปลี่ยนไนเทรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ดังนั้น จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันในการทดลองถัดไป

3 ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของขั้นตอนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ

จากการทดลองในกระบวนการไนทริฟิเคชัน พบว่า สุดท้ายของกระบวนการจะได้ไนเทรตเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งก็ยังไม่ถือว่ากระบวนการไนทริฟิเคชันจะสามารถกำจัดไนโตรเจนได้ เนื่องจากว่ายังไม่ได้มีการกำจัดไนโตรเจนเป็นแค่เพียงการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนให้มาอยู่ในรูปของไนเทรตไนโตรเจนเท่านั้น โดยการที่จะสามารถกำจัดไนโตรเจนได้นั้นจะต้องมีอีกหนึ่งขั้นตอนที่ทำต่อเนื่องจากกระบวนการไนทริฟิเคชัน คือ กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน เป็นกระบวนการ biological conversion ไนเทรตไนโตรเจนไปอยู่ในรูปไนไทรต์และกลายไปเป็นก๊าซไนโตรเจน กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้โดยแบคทีเรียที่สามารถใช้ไนเทรตเป็นตัวรับอิเล็กทรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจได้ โดยไนเทรตจะถูกใช้แทนออกซิเจนในกระบวนการหายใจของแบคทีเรียในสภาวะแอน็อกซิก (anoxic)

ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาหาตัวแปรต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยศึกษาอิทธิพลของคาร์บอน ว่าในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันต้องมีการเติมแหล่งคาร์บอนหรือไม่จึงจะสามารถทำให้กระบวนการดีไนทริฟิเคชันเกิดได้ดี และได้ศึกษาอัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรตไนโตรเจน เพราะเป็นตัวแปรที่สำคัญของกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ซึ่งการทดลองในส่วนนี้ ขั้นตอนแรกเมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์มาใส่ในปฏิกรณ์จะทำการเติมอากาศ เพื่อให้เกิดกระบวนการไนทริฟิเคชันก่อน โดยขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเทรต หลังจากนั้นจะหยุดเติมอากาศ เพื่อให้เกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนไนเทรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจน

จากการทดลองในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า ความเข้มข้น BOD_5 ความเข้มข้น TKN และ pH เริ่มต้น 300±50 mg/L 300±50 mg/L และ 8.0±0.2 ตามลำดับ เป็นสภาวะที่ทำให้เกิด NO_3^--N ได้ดีที่สุด จึงได้เลือกสภาวะนี้เป็นสภาวะสำหรับกระบวนการไนทริฟิเคชัน เป็นระยะเวลาเติมอากาศ 7 วัน แล้วจะหยุดเติมอากาศโดยปิดตัวเติมอากาศ เพื่อทดลองในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันต่อไป

3.1 ผลของการไม่เติมคาร์บอนและการเติมคาร์บอนจากเมทานอลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

การทดลองส่วนนี้จะทำการทดลองเพื่อศึกษาดูว่า การเติมคาร์บอนหรือการไม่เติมคาร์บอนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนได้ดี ได้ทำการศึกษาโดยแบ่งเป็น 2 ปฏิกรณ์ ซึ่งปฏิกรณ์แรก ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะไม่มีการเติมคาร์บอน และ ปฏิกรณ์ที่สองในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล ซึ่งลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นของทั้ง 2 ปฏิกรณ์ ดังตาราง 20 โดยลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นนี้จะได้มาจากสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิด NO_3^--N ได้ดีที่สุดในกระบวนการไนทริฟิเคชันจากการทดลองที่ผ่านมา

ตาราง 20 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นเมื่อทำการศึกษาผลของการไม่เติมคาร์บอนและการเติมคาร์บอนจากเมทานอลในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

	ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น (mg/L)	pH	ความเข้มข้นจุลินทรีย์เริ่มต้น (mg/L)
ไม่เติมคาร์บอน	300 ± 50	300 ± 50	8.0 ± 0.2	600
เติมคาร์บอน	300 ± 50	300 ± 50	8.0 ± 0.2	600

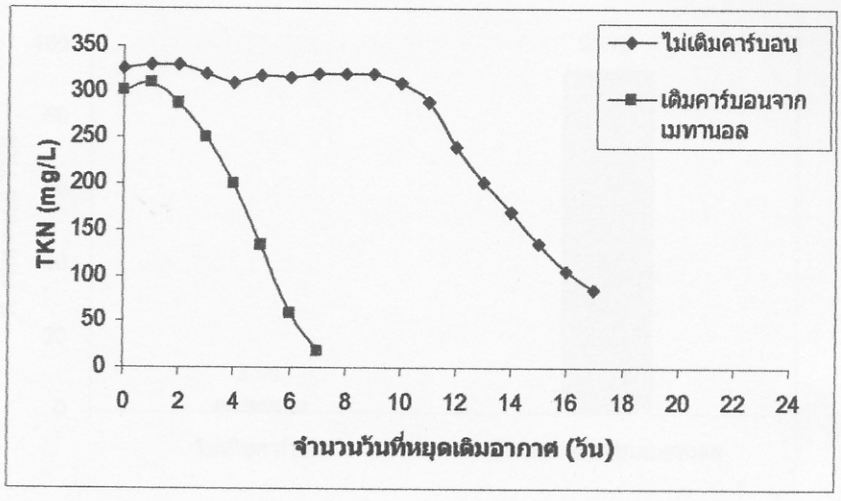
ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการไนทริฟิเคชันโดยจะนำน้ำเสียสังเคราะห์ไปเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทุก 24 ชั่วโมงจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (ผลการทดลอง ดังตาราง 48A สำหรับไม่มีการเติมคาร์บอนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน และ ตาราง 49A สำหรับมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอลในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน) เมื่อทำการเติมอากาศครบ 7 วันแล้วลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ ดังตาราง 21

ตาราง 21 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วันในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เพื่อทำการศึกษาผลของการไม่เติมคาร์บอนและการเติมคาร์บอนจากเมทานอลในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

	ความเข้มข้น BOD_5 (mg/L)	ความเข้มข้น TKN (mg/L)	pH	ความเข้มข้น COD (mg/L)	NO_3^--N (mg/L)
ไม่เติมคาร์บอน	18	326	6.13	21	306.66
เติมคาร์บอนจากเมทานอล	17	302	6.22	25	257.07

ขั้นตอนต่อไปเป็นกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยจะทำการหยุดเติมอากาศ แล้วปฏิกรณ์แรกจะไม่ต้องเติมคาร์บอน ซึ่งจะนำน้ำเสียสังเคราะห์นั้นไปทำการทดลองต่อได้ทันที ส่วนปฏิกรณ์ที่สองจะมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล โดยการเติมเมทานอล (CH_3OH) 10 mL ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชันมาแล้วจนมีปริมาตรเหลืออยู่ประมาณ 35 L เพื่อให้ได้ COD/NO_3^--N เท่ากับ 3.8 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่จะทำให้กระบวนการดีไนทริฟิเคชันเกิดได้ดี จะได้ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ความเข้มข้น COD 1090 mg/L ความเข้มข้น BOD_5 791 mg/L ความเข้มข้น TKN 302 mg/L และ pH 6.52 โดยทั้งสองปฏิกรณ์นี้จะทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทุก 24 ชั่วโมง จนกว่าจะได้ค่าความเข้มข้น BOD_5 และความเข้มข้น TKN ต่ำกว่าค่ากำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 และ 100 mg/L ตามลำดับ (ผลการทดลองดังตาราง 48B สำหรับไม่มีการเติมคาร์บอนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน และ ตาราง 49B สำหรับมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอลในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน)

จากผลการทดลองของการไม่เติมคาร์บอนและการเติมคาร์บอนจากเมทานอลในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TKN ที่ระยะเวลาต่างๆ เมื่อเกิดกระบวนการไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อไม่มีการเติมคาร์บอนจะใช้เวลาในการหยุดเติมอากาศเพื่อกำจัดไนโตรเจน (TKN) มากกว่ามีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล โดยพิจารณาจากความเข้มข้น TKN ต่ำกว่า 100 mg/L และ ความเข้มข้น BOD_5 ต่ำกว่า 20 mg/L ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง พบว่า กรณีที่ไม่มีการเติมคาร์บอน และ กรณีที่มีการเติมคาร์บอนจากเมทานอลจะใช้เวลาในการกำจัดไนโตรเจน เท่ากับ 17 และ 7 วัน ตามลำดับ หลังจากหยุดเติมอากาศ ดังภาพประกอบ 23

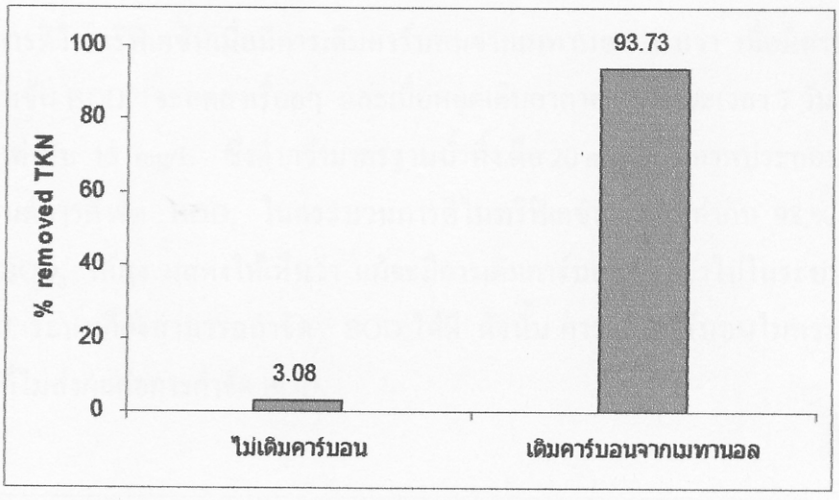


ภาพประกอบ 23 ผลของการไม่เติมคาร์บอนและเติมคาร์บอนจากเมทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TKN ที่ระยะเวลาต่างๆ ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

และจากผลการทดลองของการไม่เติมคาร์บอนและการเติมคาร์บอนจากเมทานอลในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัด TKN เมื่อเกิดกระบวนการไนทริฟิเคชัน(เติมอากาศ) เป็นระยะเวลา 7 วัน และ เกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (หยุดเติมอากาศ) เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจน เมื่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชันไม่มีการเติมคาร์บอนและมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล เท่ากับ 3.08 และ 93.73 ตามลำดับ ดังตาราง 22 และภาพประกอบ 24

ตาราง 22 ผลของการไม่เติมคาร์บอนและเติมคาร์บอนจากเมทานอลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน เป็นระยะเวลา 14 วัน

	TKN (mg/L)		% removed TKN
	influent	effluent	
ไม่เติมคาร์บอน	325	315	3.08
เติมคาร์บอนจากเมทานอล	303	19	93.73



ภาพประกอบ 24 ผลของการไม่เติมคาร์บอนและเติมคาร์บอนจากเมทานอลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน เป็นระยะเวลา 14 วัน

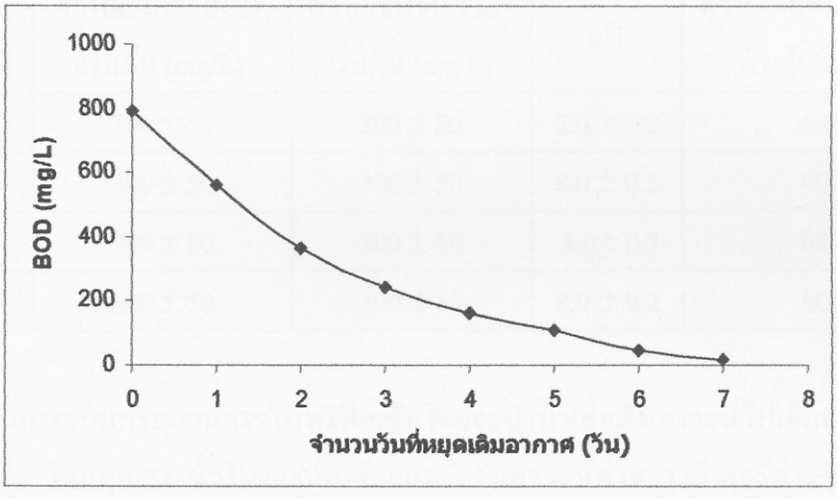
เนื่องจากในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน จุลินทรีย์ดีไนทริฟายเป็นได้ทั้งแบบเฮเทอโรทรอฟและ ออโตทรอฟ แต่เฮเทอโรทรอฟมีบทบาทมากกว่าออโตทรอฟอย่างมาก ซึ่งจุลินทรีย์แบบเฮเทอโรทรอฟนี้ต้องการสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ไนเทรตเป็นตัวรับอิเล็กทรอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมอินทรีย์คาร์บอนเข้าสู่ระบบด้วย จากภาพประกอบ 5 (บทที่ 1) จะเห็นได้ว่า ต้องมีการใช้อินทรีย์คาร์บอนในการลดรูปของไนโตรเจนทุกขั้นตอน ตั้งแต่ไนเทรต (NO_3^-) ไปเป็นไนไทรต์ (NO_2^-) ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไปจนถึงก๊าซไนโตรเจน(N_2) (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ , 2544) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ว่า เมื่อมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอน ก็จะสามารถกำจัดไนโตรเจนได้ดีกว่าไม่มีการเติมคาร์บอน ดังนั้น ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน จะต้องมีการเติมคาร์บอนหลังจากเกิดกระบวนการไนทริฟิเคชัน

Bernet *et al.*,(1999) กล่าวว่า กรณีที่มี COD/TKN ต่ำจะทำให้เกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันไม่สมบูรณ์ จึงต้องมีการเติมคาร์บอนจากภายนอก

Demuynek *et al.*, (1994) พบว่า การเพิ่ม COD เข้าไประหว่างช่วงแอน็อกซิก มีความจำเป็นเพื่อจะทำให้การกำจัดไนโตรเจนเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

และเนื่องจาก ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันนั้น ถ้ามีการเติมคาร์บอนเข้าไป ก็จะทำให้ค่าความเข้มข้น BOD_5 มีค่าสูงขึ้น ซึ่งค่าความเข้มข้น BOD_5 นั้นมีความสำคัญมากในมาตรฐานน้ำทิ้ง โดยมาตรฐานน้ำทิ้งจะกำหนดไว้ว่าน้ำทิ้งจะต้องมีค่าความเข้มข้น BOD_5 ต่ำกว่า 20 mg/L จึงจะสามารถปล่อยน้ำทิ้งนั้นลงสู่แม่น้ำ ลำคลองได้ ดังนั้น จึงต้องพิจารณาดูค่าความเข้มข้น BOD_5

ของกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล พบว่า เมื่อมีการหยุดเติมอากาศความเข้มข้น BOD_5 จะลดลงเรื่อยๆ และเมื่อหยุดเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน ค่าความเข้มข้น BOD_5 เท่ากับ 15 mg/L ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 mg/L ดังภาพประกอบ 25 และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD_5 ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน จะได้เท่ากับ 98 % ซึ่งถือว่าสามารถกำจัด BOD_5 ได้สูง แสดงให้เห็นว่า แม้จะมีการเติมคาร์บอนเพิ่มเข้าไปในระบบหลังจากหยุดเติมอากาศ ระบบก็ยังสามารถกำจัด BOD_5ได้ดี ดังนั้น การเติมคาร์บอนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันก็ไม่ส่งผลต่อการกำจัด BOD_5



ภาพประกอบ 25 ผลของระยะเวลาการหยุดเติมอากาศต่อปริมาณ BOD_5 ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล

3.2 ผลของการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

จากการทดลองที่ 3.1 พบว่า เมื่อมีการเติมอากาศในกระบวนการไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 7 วัน แล้วหยุดเติมอากาศในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ซึ่งเมื่อหยุดเติมอากาศจะต้องมีการเติมคาร์บอน จึงจะทำกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ดี คือ สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ดี ในการทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษาดูว่า ถ้ามีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเป็นน้ำเสียตั้งต้นนั้นจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนดีหรือไม่ และได้ทำการศึกษาหาอัตราส่วน COD/NO_3^--N ที่เหมาะสมที่จะทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนได้ดีที่สุด ซึ่งอัตราส่วน COD/NO_3^--N จะเป็นตัวแปรที่สำคัญของกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาอัตราส่วน COD/NO_3^--N ในช่วง 1.5-10.0 ซึ่งทำการทดลอง 4 ค่า คือ 1.5 3.8 6.0 และ 10.0 จะมีลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น ดังตาราง 23 โดยลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นนี้จะได้มาจากสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิด NO_3^--N ได้ดีที่สุดในกระบวนการไนทริฟิเคชันจากการทดลองที่ผ่านมา

ตาราง 23 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นเมื่อทำการศึกษาอัตราส่วน COD/NO_3^--N เมื่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

COD/NO_3^--N	ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น (mg/L)	pH	ความเข้มข้นจุลินทรีย์ เริ่มต้น (mg/L)
1.5	300 ± 50	300 ± 50	8.0 ± 0.2	600
3.8	300 ± 50	300 ± 50	8.0 ± 0.2	600
6.0	300 ± 50	300 ± 50	8.0 ± 0.2	600
10.0	300 ± 50	300 ± 50	8.0 ± 0.2	600

ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการไนทริฟิเคชันโดยจะนำน้ำเสียสังเคราะห์ไปเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทุก 24 ชั่วโมงจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (ผลการทดลอง สำหรับเมื่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ COD/NO_3^--N เท่ากับ 1.5 3.8 6.0 และ 10.0 ดังตาราง 50A 51A 52A และ 53A ตามลำดับ) เมื่อทำการเติมอากาศครบ 7 วันแล้วลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ ดังตาราง 24

ตาราง 24 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีการเติมอากาศในกระบวนการไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อทำการศึกษาอัตราส่วน COD/NO_3^--N เมื่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

COD/NO_3^--N	ความเข้มข้น BOD_5 (mg/L)	ความเข้มข้น TKN (mg/L)	pH	ความเข้มข้น COD (mg/L)	NO_3^--N (mg/L)
1.5	13	317	6.12	22	305.51
3.8	12	300	6.05	20	279.51
6.0	12	302	6.31	21	290.71
10.0	13	306	6.06	23	299.79

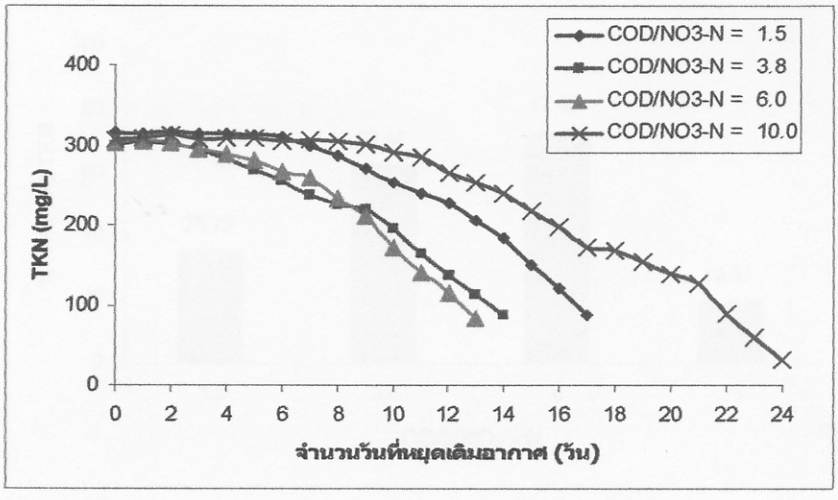
ขั้นตอนต่อไปเป็นกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยจะทำการหยุดเติมอากาศ และจะมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชันมาแล้วจนมี ปริมาตรเหลืออยู่ประมาณ 35 L เพื่อให้ได้ COD/NO_3^--N เท่ากับ 1.5 3.8 6.5 และ 10.0 ซึ่งจะมีลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ ดังตาราง 25

ตาราง 25 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน เมื่อมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์เป็นแหล่งคาร์บอนให้ได้ค่า COD/NO_3^--N ต่างๆ

COD/NO_3^--N	น้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นแหล่งคาร์บอน		น้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน			
	COD (mg/L)	ปริมาตร (L)	COD (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	TKN (mg/L)	pH
1.5	2087	10	481	300	315	6.12
3.8	5060	10	1140	712	305	6.05
6.0	8454	10	1895	1250	300	6.31
10.0	15669	10	3500	2187	304	6.06

โดยทั้งสี่ปฏิกรณ์นี้จะทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทุก 24 ชั่วโมง จนกว่าจะได้ค่าความเข้มข้น BOD_5 และความเข้มข้น TKN ต่ำกว่าค่ากำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 และ 100 mg/L ตามลำดับ (ผลการทดลองสำหรับเมื่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ COD/NO_3^--N เท่ากับ 1.5 3.8 6.0 และ 10.0 ดังตาราง 50B 51B 52B และ 53B ตามลำดับ)

จากผลการทดลองของระยะเวลาที่หยุดเติมอากาศต่อปริมาณ TKN ที่ COD/NO_3^--N ต่างๆ ในกระบวนการ ดีไนทริฟิเคชันที่มีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ และ เมื่อเกิดกระบวนการไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยพิจารณาจากความเข้มข้น TKN ต่ำกว่า 100 mg/L และความเข้มข้น BOD_5 ต่ำกว่า 20 mg/L ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง พบว่า ค่า COD/NO_3^--N เท่ากับ 1.5 3.8 6.0 และ 10.0 จะใช้เวลาในการกำจัดไนโตรเจนหลังจากหยุดเติมอากาศ (กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน) เท่ากับ 17 14 13 และ 24 วัน ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 26

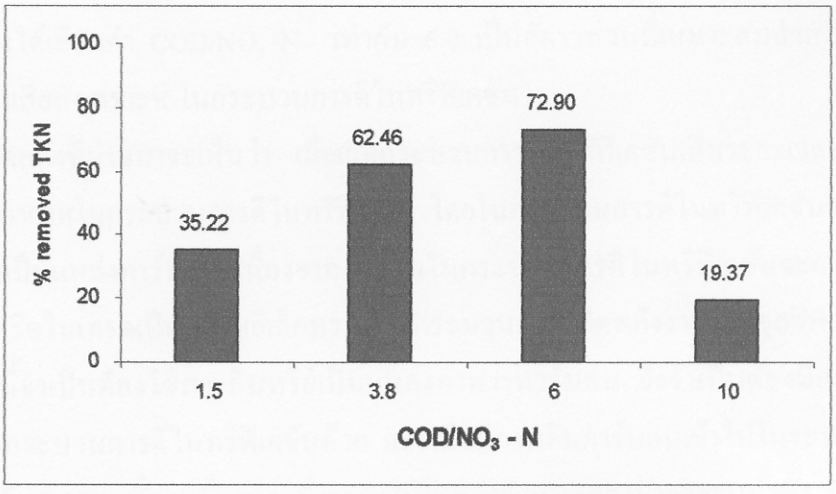


ภาพประกอบ 26 ผลของระยะเวลาที่หยุดเติมอากาศต่อปริมาณ TKN ที่ COD/NO_3^--N ต่างๆ ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

และจากผลการทดลองของ COD/NO_3^--N ต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัด TKN เป็นระยะเวลา 20 วัน เมื่อเกิดกระบวนการไนทริฟิเคชัน(เติมอากาศ) เป็นระยะเวลา 7 วัน และ เกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (หยุดเติมอากาศ) เป็นระยะเวลา 13 วัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจนของปฏิกรณ์ที่มีค่า COD/NO_3-N เท่ากับ 1.5 3.8 6.0 และ 10.0 จะได้เท่ากับ 35.22 62.46 72.90 และ 19.37% ตามลำดับ ดังตาราง 26 และภาพประกอบ 27

ตาราง 26 ผลของ COD/NO_3^--N ต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัด TKN เป็นระยะเวลา 20 วัน

COD/NO_3^--N	TKN (mg/L)		% removed TKN
	influent	effluent	
1.5	318	206	35.22
3.8	301	113	62.46
6.0	310	84	72.90
10.0	315	254	19.37



ภาพประกอบ 27 ผลของ COD/NO_3^--N ต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัด TKN เป็นระยะเวลา 20 วัน

แสดงให้เห็นว่า ปฏิกรณ์ที่มีค่า COD/NO_3^--N เท่ากับ 6.0 จะใช้เวลาในการกำจัดไนโตรเจนน้อยที่สุด คือ 13 วันและมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจนมากที่สุด คือ 72.90%

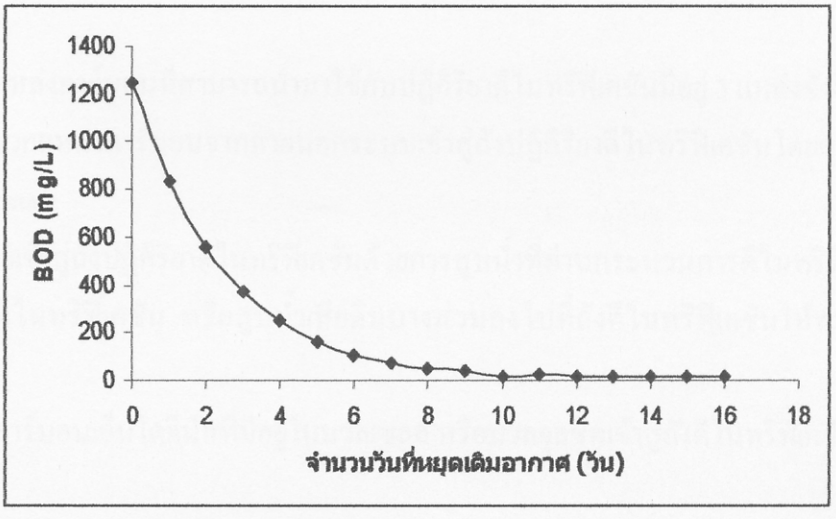
อัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรต-ไนโตรเจน (COD/NO_3^--N) มีความสำคัญต่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน เพราะแบคทีเรียซึ่งเป็นชนิดเฮเทอโรทรอฟเป็นส่วนใหญ่ต้องใช้คาร์บอนเป็นองค์ประกอบหรือเป็นแหล่งพลังงานในการทำงาน โดยทฤษฎีแล้วอัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรต-ไนโตรเจน เท่ากับ 5-10 แต่ในทางปฏิบัติแล้วอัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรต-ไนโตรเจน เท่ากับ 3-7 และหากว่า อัตราส่วนซีโอดีต่อไนเทรต-ไนโตรเจนต่ำ จะทำให้เกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันไม่สมบูรณ์ โดยจะเกิดเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ ก๊าซไนตรัสออกไซด์นี้ถือว่าเป็นก๊าซพิษที่สำคัญในส่วนของก๊าซเรือนกระจก (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ , 2544)

Obaja *et al.,* (2005) ศึกษาการกำจัดสารอาหารทางชีวภาพโดยระบบ SBR ซึ่งใช้แหล่งคาร์บอนจากภายใน พบว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันไม่ได้เป็นวิธีของการกำจัดไนโตรเจนเท่านั้น แต่เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนด้วย ซึ่งกระบวนดีไนทริฟิเคชันจะเกิดได้สมบูรณ์ เมื่ออัตราส่วน COD/NO_3^--N เท่ากับหรือสูงกว่า 1.7

จากงานวิจัย ซึ่งได้ทำการศึกษาหาอัตราส่วน COD/NO_3^--N ที่เหมาะสมในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันโดยระบบที่มีจุลินทรีย์อยู่มาก เช่น SBR เป็นต้น พบว่า ผลการทดลองจะสอดคล้องกับผลการทดลองจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยระบบที่มีจุลินทรีย์อยู่ไม่มากนัก จากงานวิจัยนี้ที่ว่า COD/NO_3^--N ในช่วง 3.8-6 จะทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนที่ดี

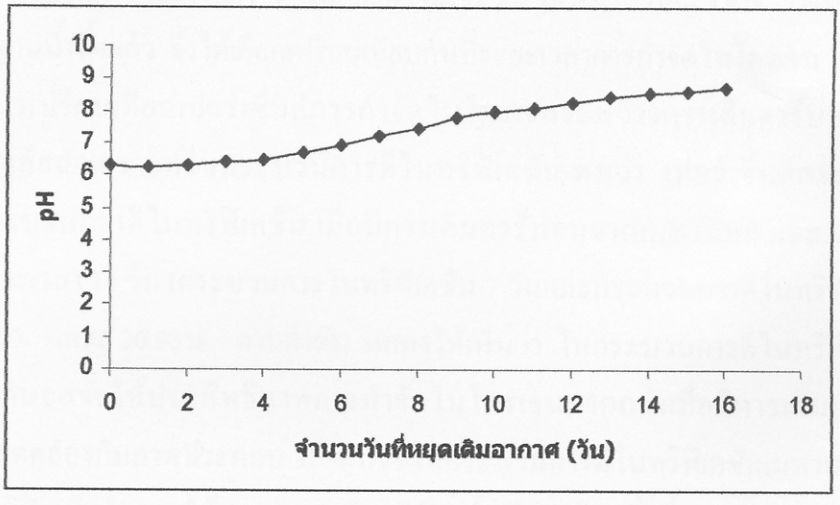
ดังนั้น จึงได้เลือกค่า COD/NO_3^--N เท่ากับ 6.0 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

จากการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นว่า เมื่อเกิดกระบวนการไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 7 วัน แล้วมีการหยุดเติมอากาศในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะต้องมีการเติมคาร์บอนเป็นแหล่งคาร์บอน เนื่องจาก จุลชีพในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะสามารถใช้ออกซิเจนและหรือไนเทรตเป็นตัวรับอิเล็กทรอนในกระบวนการผลิตพลังงานของจุลชีพเหล่านี้ โดยที่จุลชีพเหล่านี้จำเป็นต้องใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารคาร์บอน จึงจำเป็นต้องมีการเติมคาร์บอนเข้าไปในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันด้วย และเมื่อมีการเติมคาร์บอนเข้าไปในระบบก็จะทำให้ค่าความเข้มข้น BOD_5 เพิ่มสูงขึ้นมาก ซึ่งจะทำให้ผ่านค่ากำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้ง จึงได้มีการพิจารณาดูค่าความเข้มข้น BOD_5 ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเมื่อมีการเติมคาร์บอนด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ (COD/NO_3^--N = 6.0) หลังจากหยุดเติมอากาศ พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป ความเข้มข้นของ BOD_5 จะลดลงด้วย แสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะมีการกำจัด BOD_5 เกิดขึ้น ซึ่งถ้าระบบสามารถกำจัด BOD_5 ได้มาก ก็จะทำให้การเกิดดีไนทริฟิเคชัน ($NO_3^- \longrightarrow N_2$) มีได้มากด้วย และจากผลการทดลองเมื่อมีการหยุดเติมอากาศเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า ความเข้มข้น BOD_5 จะเท่ากับ 15 mg/L ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 mg/L และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD_5 ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน จะได้เท่ากับ 98 % แสดงให้เห็นว่าการเติมคาร์บอนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันไม่ส่งผลต่อการกำจัดบีโอดี



ภาพประกอบ 28 ผลของระยะเวลาการหยุดเติมอากาศต่อปริมาณ BOD_5 ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันโดยมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียตั้งต้น เมื่อ COD/NO_3^--N เท่ากับ 6.0

และเมื่อพิจารณาดูค่า pH ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีค่า COD/NO_3^--N เท่ากับ 6.0 พบว่า pH จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามระยะเวลาการหยุดเติมอากาศ ดังภาพประกอบ 29 เนื่องจากว่า NO_3^--N ที่ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนจะทำให้เกิดสภาพด่างขึ้น ซึ่งจะตรงกันข้ามกับการเกิดไนทริฟิเคชันที่จะไปลดสภาพด่าง แต่การเกิดดีไนทริฟิเคชันจะไปเพิ่มสภาพด่าง (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ , 2543)



ภาพประกอบ 29 ผลของระยะเวลาการหยุดเติมอากาศต่อค่า pH ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันโดยมีการเติมคาร์บอน (น้ำเสียตั้งต้น) เมื่อ COD/NO_3^--N เท่ากับ 6.0

เนื่องจาก แหล่งคาร์บอนที่สามารถนำมาใช้กับปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชันมีอยู่ 3 แหล่งดังนี้

1. เติมใส่พวกแหล่งคาร์บอนจากภายนอกระบบเข้าสู่ถังปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชันโดยตรงเช่น เมทานอล และ Acetate

2. นำน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชันด้วยการสูบน้ำที่ผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชันแล้วกลับเข้าสู่ถังดีไนทริฟิเคชัน หรือสูบน้ำเสียดิบบางส่วนลงไปที่ถังดีไนทริฟิเคชันให้พอเพียงพอดี

3. ใช้พวกคาร์บอนเอ็นโดจีนัสที่มีอยู่ในมวลเซลล์ หรือมวลจุลชีพเข้าสู่ถังดีไนทริฟิเคชัน

ดังนั้น จึงได้มีการเปรียบเทียบระหว่างการเติมคาร์บอนจากเมทานอลและการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำเสียตั้งต้น เพื่อเปรียบเทียบดูว่า แหล่งคาร์บอนจากเมทานอลหรือน้ำเสียสังเคราะห์ แหล่งคาร์บอนใดจะทำให้มีการเกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมากกว่ากัน โดยมีการ

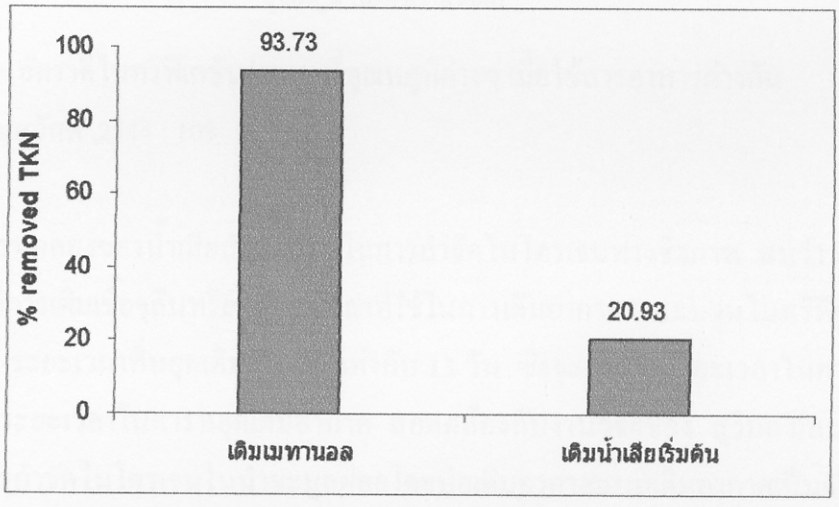
เติมเมทานอลหรือน้ำเสียสังเคราะห์ให้ได้ COD/NO_3^--N เท่ากับ 3.8 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่สามารถทำให้กระบวนการดีไนทริฟิเคชันเกิดได้สมบูรณ์ โดยจะนำผลการทดลองจากตาราง 49 สำหรับมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล และ ตาราง 50 สำหรับมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ มาเปรียบเทียบกัน ซึ่งทำการเปรียบเทียบกันที่ระยะเวลาการกำจัดไนโตรเจน 14 วัน (กระบวนการไนทริฟิเคชัน 7 วัน และกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน 7 วัน) ที่เปรียบเทียบที่ระยะเวลา 14 วัน เนื่องจากในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอลแล้วหยุดเติมอากาศไปได้เป็นระยะเวลา 7 วัน ค่าความเข้มข้น BOD_5 และ TKN จะผ่านค่ากำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้งแล้ว จึงได้เลือกเปรียบเทียบกันที่ระยะเวลาการกำจัดไนโตรเจน 14 วัน

จากผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจนระหว่างการเติมคาร์บอนจากเมทานอลและน้ำเสียสังเคราะห์ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน เมื่อมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล และ น้ำเสียสังเคราะห์ เป็นระยะเวลา 14 วัน (กระบวนการไนทริฟิเคชัน 7 วันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน 7 วัน) เท่ากับ 93.73 %และ 20.93% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมเมทานอลจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนมากกว่าเมื่อมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งสอดคล้องกับภาพประกอบ 31 พบว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมทานอลทำให้เกิดอัตราดีไนทริฟิเคชันจำเพาะได้สูงกว่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียตั้งต้น ทั้งนี้เพราะเมทานอลย่อยได้ง่ายและมีแบคทีเรียซึ่งชอบเมทานอลเป็นพิเศษ ส่วนสารอินทรีย์ในน้ำเสียตั้งต้นอัตราการไฮโดรไลซิสของสารอาหารและเซลล์จะเป็นตัวกำหนดอัตราดีไนทริฟิเคชัน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ ,2544)

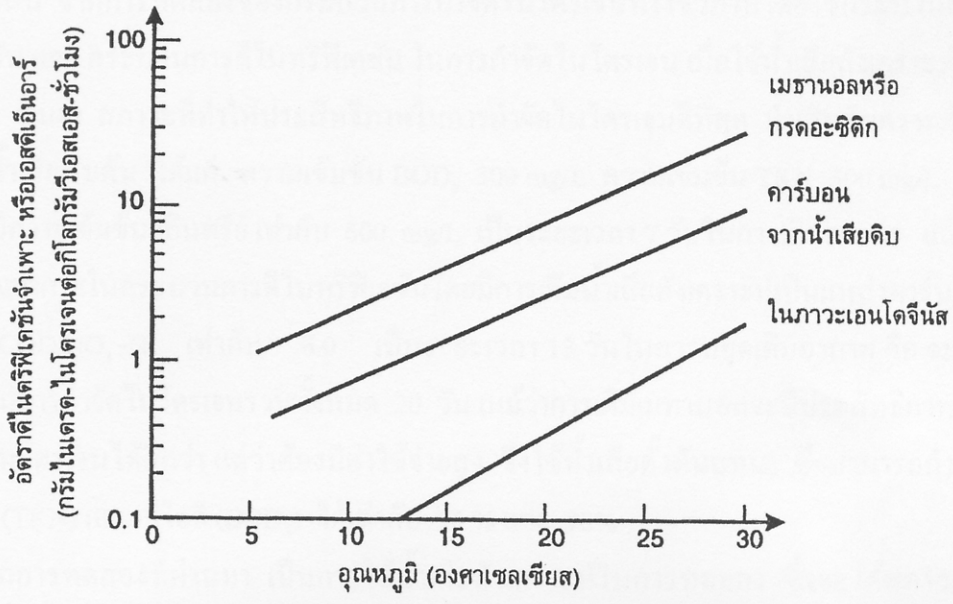
ดังนั้น ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอลจะทำให้กระบวนการดีไนทริฟิเคชันเกิดได้ดีกว่าจากน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเป็นน้ำเสียตั้งต้น แต่ถ้านำไปใช้กับการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงาน น่าจะใช้น้ำเสียตั้งต้นเป็นแหล่งคาร์บอนดีกว่า เพราะถ้าใช้เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนจะทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงมาก แต่ถ้าใช้น้ำเสียตั้งต้นเป็นแหล่งคาร์บอนก็จะมีข้อเสียเหมือนกัน คือ ต้องใช้ระยะเวลาในการกำจัดไนโตรเจนนานกว่าใช้เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนแต่ค่าใช้จ่ายจะไม่สูง

ตาราง 27 ผลการเปรียบเทียบของเปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจนระหว่างการเติมคาร์บอนด้วยเมทานอลและน้ำเสียสังเคราะห์ ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (COD/NO_3^--N เท่ากับ 3.8 และระยะเวลา 14 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาในกระบวนการไนทริฟิเคชัน 7 วันและในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน 7 วัน)

	TKN (mg/L)		% removed TKN
	influent	effluent	
เติมคาร์บอนจากเมทานอล	303	19	93.73
เติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์	301	238	20.93



ภาพประกอบ 30 ผลเปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจนระหว่างการเติมคาร์บอนด้วยเมทานอลและน้ำเสียสังเคราะห์ ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (COD/NO_3^--N เท่ากับ 3.8 และระยะเวลา 14 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาในกระบวนการไนทริฟิเคชัน 7 วันและในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน 7 วัน)



ภาพประกอบ 31 อัตราดีไนทริฟิเคชันจำเพาะที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อใช้สารอาหารต่างกัน
ที่มา : ธงชัย พรรณสวัสดิ์ ,2544 : 108

จากผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ในการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์จะต้องมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ ระยะเวลาที่ใช้ในการเติมอากาศ (กระบวนไนทริฟิเคชัน) เท่ากับ 7 วัน และ ระยะเวลาที่หยุดเติมอากาศ เท่ากับ 13 วัน ซึ่งจะเห็นว่าระยะเวลาในการเติมอากาศจะน้อยกว่าระยะเวลาในการหยุดเติมอากาศ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุวิมล และ สุพร (2000) ที่ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยโดยบ่อเติมอากาศแบบเติมอากาศเป็นจังหวะ โดยศึกษาระยะเวลาเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศที่ระยะเวลาเท่ากัน และที่ระยะเวลาเปิดเครื่องเติมอากาศน้อยกว่าระยะเวลาปิดเครื่องเติมอากาศ พบว่า ที่ระยะเวลาเปิดเครื่องเติมอากาศน้อยกว่าระยะเวลาปิดเครื่องเติมอากาศจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน 79.4% ซึ่งดีกว่าระยะเวลาเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศเท่ากัน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน 66.0%

Argaman *et al.*, (1986) พบว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันที่มีการเติมอากาศจะเป็นการกำจัดแอมโมเนีย และการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดนั้นจะมีขึ้นได้เมื่อมีกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเกิดขึ้นในระบบ ดังนั้นการมีช่วงแอน็อกซิก ที่นานขึ้นก็จะทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดถูกกำจัดได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามการควบคุมการเปลี่ยนแปลงเวลาในการเติมอากาศมีผลต่อการกำจัดไนโตรเจนของระบบโดยถ้ามีระยะเวลาการเติมอากาศที่สั้นเกินไป จะทำให้กระบวนการไนทริฟิเคชันเกิดไม่สมบูรณ์

ดังนั้น จากการทดลองของกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพโดยใช้กระบวนการไนทริฟีเคชัน และ กระบวนการดีไนทริฟีเคชัน ในการกำจัดไนโตรเจน เมื่อใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลอง พบว่า สภาวะที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนดีที่สุด น้ำเสียสังเคราะห์จะมีลักษณะน้ำเสียเริ่มต้น ได้แก่ ความเข้มข้น BOD_5 300 mg/L ความเข้มข้น TKN 300 mg/L pH 8.0 โดยที่มีความเข้มข้นจุลินทรีย์ เท่ากับ 600 mg/L เป็นระยะเวลา 7 วันในการเติมอากาศ แล้วมีการหยุดเติมอากาศในกระบวนการดีไนทริฟีเคชันโดยมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์เป็นแหล่งคาร์บอนให้ได้มีค่า COD/NO_3^--N เท่ากับ 6.0 เป็นระยะเวลา 13 วันในการหยุดเติมอากาศ คือ จะใช้ระยะเวลาในการกำจัดไนโตรเจนรวมทั้งหมด 20 วัน (แม้ว่าการเติมเมทานอลจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนได้ดีกว่า แต่ว่าต้องมีค่าใช้จ่ายสูง จึงใช้น้ำเสียตั้งต้นแทน) ซึ่งสามารถกำจัดไนโตรเจน (TKN) และ บีโอดี (BOD_5) ได้เท่ากับ 96 % และ 98%

จากการทดลองที่ผ่านมา เป็นการใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลอง ซึ่งจะได้สภาวะที่เหมาะสมของน้ำเสียเริ่มต้น ได้แก่ ความเข้มข้น BOD_5 300 mg/L ความเข้มข้น TKN 300 mg/L และ pH 8.0 จึงได้ทำการทดลองต่อไปดูว่า ถ้านำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้นั้นไปทดลองกับน้ำเสียจริงจากโรงงานจะสามารถกำจัดไนโตรเจนได้เหมือนใช้น้ำเสียสังเคราะห์หรือไม่ ดังการทดลองถัดไป

4. ผลของการกำหนดสภาวะขั้นตอนที่เหมาะสมต่อการกำจัดไนโตรเจนในการเดินระบบบำบัดทางชีวภาพที่มีระบบผสมของบ่อเติมอากาศและบ่อไร้อากาศ

จากการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงจากโรงงานอาหารทะเล ซึ่งเป็นน้ำเสียรวมจากกระบวนการผลิตอาหารทะเลบรรจุกระป๋องและอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง(โรงงาน บริษัท ซี ฮอร์ส จำกัด) จะทำให้ทราบระยะเวลาของบ่อเติมอากาศ(กระบวนการไนทริฟีเคชัน) และบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนทริฟีเคชัน) ที่สภาวะของน้ำเสียใดน้ำเสียหนึ่งเท่านั้น ซึ่งน้ำเสียเริ่มต้นก่อนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแต่ละโรงงานจะมีคุณสมบัติของน้ำเสียไม่เหมือนกัน ดังนั้น การที่จะกำหนดสภาวะขั้นตอนที่เหมาะสมต่อการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการไนทริฟีเคชันและกระบวนการดีไนทริฟีเคชัน อาจจะทำได้จากการคำนวณโดยใช้สมการต่างๆ ไม่ต้องไปทำการทดลองในห้องปฏิบัติการทุกโรงงานก็ได้ แต่การคำนวณนั้นในกระบวนการไนทริฟีเคชันและกระบวนการดีไนทริฟีเคชันจะต้องมีค่าคงที่ต่างๆ ซึ่งตามเอกสารทั่วไป ก็จะมีการกำหนดค่าคงที่ต่างๆไว้แล้ว แต่ค่าคงที่เหล่านี้จะได้มาจากการทดลองของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีจุลินทรีย์อยู่มาก เช่น ระบบตะกอนเร่ง เป็นต้น สำหรับระบบบำบัด น้ำเสียที่มีจุลินทรีย์อยู่น้อย เช่น ระบบบ่อเติมอากาศ เหมือนกับที่ได้ทำในงานวิจัยนี้ยังไม่มีการหาค่าคงที่ต่างๆไว้ ดังนั้น ในงานวิจัยส่วนนี้

จึงได้ทำการหาค่าคงที่ต่างๆในกระบวนการไนทริฟิเคชันของระบบบ่อเติมอากาศ โดยคำนวณหาค่าคงที่ต่างๆจากค่าที่ได้จากการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ แล้วจะทำการยืนยันว่าค่าคงที่ที่คำนวณได้นั้น จะใช้ได้กับน้ำเสียจริงที่ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีจุลินทรีย์อยู่น้อยหรือไม่ โดยการคำนวณหาระยะเวลาของกระบวนการไนทริฟิเคชันของน้ำเสียจริงจากโรงงานอาหารทะเล (โรงงาน บริษัท ซีฮอร์ส จำกัด) เพื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ได้จากการทดลองของน้ำเสียจริงจากโรงงานอาหารทะเล (โรงงาน บริษัท ซีฮอร์ส จำกัด)

และถ้าหากว่าความเข้มข้นของ BOD_5 เริ่มต้นมากกว่า 300 mg/L จะต้องมีการบำบัดด้วยวิธีอื่นๆก่อน อาทิเช่น ระบบเอเอส (AS), ระบบบ่อเติมอากาศ (AL) , ระบบบ่อไร้อากาศ (Anaerobic) เป็นต้น เพื่อลดค่าความเข้มข้น BOD_5 ให้ได้ 300 mg/L แล้วจึงนำไปคำนวณหาระยะเวลาของกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันต่อไป

ส่วนแรกจะทำการคำนวณหาค่าคงที่ต่างๆในกระบวนการไนทริฟิเคชันของบ่อเติมอากาศ โดยนำข้อมูลจากผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์มาทำการคำนวณ

4.1 คำนวณหาค่าคงที่ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการไนทริฟิเคชันของบ่อเติมอากาศ

1. คำนวณหาค่าอัตราการใช้ไนโตรเจนต่อมวลจุลชีพไนตริไฟล์ (U_N)

จากสมการ (28)

$$t = \frac{(N_0 - N)}{U_N X_N} \qquad (28)$$

เมื่อ t = เวลาเก็บกักของระบบไนทริฟิเคชัน (day)

N_0 = ความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสีย (mg/L)

N = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำทิ้ง (mg/L)

X_N = ความเข้มข้นของมวลจุลชีพไนทริไฟล์ (mg/L)

จากผลการทดลอง

t = 7 day

N_0 = TKN = 302 mg/L

N = TKN – ปริมาณไนเทรตที่เกิดขึ้น = 302-280.12 = 21.88 mg/L

X = 600 mg/L

กำหนดให้

$$X_N = 0.08X = 0.08 \times 600 = 48 \text{ mg/L}$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (28) จะได้

$$7 = \frac{(302 - 21.88)}{U_N(48)}$$

$$U_N = 0.8337 \text{ day}^{-1}$$

2. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสลายตัวเอ็นโดจีนัส $(k_{d,N})$

จากสมการ (29)

$$\frac{1}{\theta_c} = Y_N U_N - k_{d,N} \qquad (29)$$

เมื่อ θ_c = อายุสลัดจ์ (day)

Y_N = สัมประสิทธิ์ปริมาณผลิตเซลล์ของไนทริฟิเคชัน (mg.MLVSS/mg.N)

$k_{d,N}$ = สัมประสิทธิ์การสลายตัวเอ็นโดจีนัส (day^{-1})

จากผลการทดลอง

θ_c = 7 day

Y_N = 600/310 = 1.94

แทนค่าลงในสมการ (29) จะได้

$$\frac{1}{7} = (1.94 \times 0.8337) - k_{d,N}$$

$$k_{d,N} = 1.47 \text{ day}^{-1}$$

3. คำนวณหาค่าอายุสลัดจ์ต่ำสุด $(\theta_{c,\min})$

จากสมการ (30)

$$\theta_c = (SF)(\theta_{c,\min}) \qquad (30)$$

กำหนดให้

SF = 2.5

แทนค่าลงในสมการ (30) จะได้

$$7 = (2.5)(\theta_{c,\min})$$

$$\theta_{c,\min} = 2.8 \text{ day}$$

4. คำนวณหาค่าอัตราการใช้ไนโตรเจนสูงสุด (k_N)

จากสมการ (31)

$$\frac{1}{\theta_{c,\min}} = Y_N k_N - k_{d,N} \quad (31)$$

แทนค่าลงในสมการ (31) จะได้

$$\frac{1}{2.8} = 1.94k_N - 1.47 \quad \text{ดังนั้น} \quad k_N = 0.94 \text{ /day}$$

5. คำนวณหาค่าอัตราเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลชีพไนทริไฟล์ ณ สภาวะหนึ่ง $(\mu'_{N,m})$

จากสมการ (32)

$$k_N = \frac{\mu'_{N,m}}{Y_N} \quad (32)$$

$$0.94 = \frac{\mu'_{N,m}}{1.94}$$

$$\mu'_{N,m} = 1.8236 \text{ day}^{-1}$$

6. คำนวณหาค่าอัตราเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลชีพไนทริไฟล์ $(\mu_{N,m})$

จากสมการ (33)

$$\mu'_{N,m} = \mu_{N,m}\left(\frac{DO}{K_{DO} + DO}\right)\left(e^{0.098(T-15)}\right)\left[1 - 0.833(7.2 - pH)\right]$$

(33)

จากการทดลอง

DO = 2.5 mg/L

pH = 8.0

Temperature = 25 °C

จากตาราง 1

$$K_{DO} = 1.3 \text{ mg/L}$$

แทนค่าลงในสมการ (33) จะได้

$$1.8236 = \mu_{N,m}\left(\frac{2.5}{1.3 + 2.5}\right)\left(e^{0.098(25-15)}\right)\left[1 - 0.833(7.2 - 8.0)\right]$$

$\mu_{N,m} = 0.6243$ day^{-1}

สามารถสรุปค่าคงที่ต่างๆของกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อเป็นระบบบ่อเติมอากาศได้ดังตาราง 28

ตาราง 28 สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของไนทริฟายอิงแบคทีเรีย เมื่อเป็นระบบบ่อเติมอากาศ

สัมประสิทธิ์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า
อัตราเติบโตจำเพาะสูงสุด	$\mu_{N,m}$	day^{-1}	0.6243
สัมประสิทธิ์ปริมาณผลิตเซลล์	Y_N	(mgMLVSS/mgN)	1.94
สัมประสิทธิ์การเน่าเปื่อย	$k_{d,N}$	day^{-1}	1.47

4.2 คำนวณหาค่าคงที่ที่ใช้ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของบ่อเติมอากาศ

คำนวณหาค่า อัตราการเกิดดีไนทริฟิเคชันที่ 20°C (U_{DN})

จากสมการ (34)

$$t = \frac{NO_{3,\text{inf}} - NO_{3,eff}}{U_{DN}^{'} X_v} \tag{34}$$

และจากสมการ (35)

$$U_{DN}^{'} = U_{DN} \times 1.09^{(T-20)} \times (1 - DO) \tag{35}$$

เมื่อ $NO_{3,\text{inf}}$ = ความเข้มข้นของ NO_3^--Nในน้ำเข้ากระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (mgNO_3-N /L)

$NO_{3,eff}$ = ความเข้มข้นของ NO_3^--N ในน้ำออกกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (mgNO_3-N /L)

t = ระยะเวลาของบ่อไร้อากาศ (day)

U'_{DN} = อัตราการเกิดดีไนทริฟิเคชันที่อุณหภูมิใดๆ (mgNO_3-N / (mgMLVSS .d))

X_v = ความเข้มข้นของมวลของเฮเทอโรทรอฟ (mgMLVSS /L)

จากการทดลอง

t = 7 day

$NO_{3,\text{inf}} = 290.71$ mg/L

$NO_{3,eff}$ = 72.93 mg/L

X_v = 600 mg/L

$T = 25\ ^{\circ}C$

$DO = 0.2$ mg/L

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (35) จะได้

$$13\,day = \frac{(290.71 - 72.93)mg/L}{U'_{DN}(600\,mg/L)}$$

$$U'_{DN} = 0.0279$$

และแทนค่าลงในสมการ (34) จะได้

$$0.0279 = U_{DN} \times 1.09^{(25-20)} \times (1 - 0.2)$$

$$U_{DN} = 0.0227 \ \ mgNO_3\text{-}N/(mgMLVSS\ .d)$$

ดังนั้น ค่าคงที่ที่ใช้ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของบ่อเติมอากาศ คือ อัตราการเกิดดีไนทริฟิเคชันที่ 20°C (U_{DN}) มีค่าเท่ากับ 0.0227 $mgNO_3$-N / (mgMLVSS .d)

5. ผลการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพของน้ำเสียจริงจากโรงงานอาหารทะเล

ในการทดลองนี้ได้นำน้ำเสียจริงจากโรงงานอาหารทะเล ซึ่งเป็นน้ำเสียรวมจากกระบวนการผลิตอาหารทะเลบรรจุกระป๋องและอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง (บริษัท ซีฮอร์ส จำกัด) ซึ่งได้ผ่านการบำบัดมาบ้างแล้วในบางขั้นตอน โดยผ่านการเติมอากาศมาแล้วหนึ่งบ่อ มาทำการทดลองเพื่อหาระยะเวลาและประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยสภาวะเริ่มต้นของน้ำเสียจริงที่นำมาทดลอง ได้แก่

1. pH เท่ากับ 7.73
2. ความเข้มข้น BOD_5 เท่ากับ 306 mg/L
3. ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 193 mg/L

ซึ่งสภาวะนี้เป็นสภาวะที่ใกล้เคียงกับสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันได้ดีที่สุด ที่ได้จากการทดลองจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านมา สภาวะเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ดีที่สุด ได้แก่

1. pH เท่ากับ 8.15
2. ความเข้มข้น BOD_5 เท่ากับ 308 mg/L
3. ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 302 mg/L

ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการไนทริฟิเคชันโดยจะนำน้ำเสียปริมาณ 40 L ไปเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยทุก 24 ชั่วโมงจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (ผลการทดลอง ดังภาคผนวก ข. ตาราง 54A) เมื่อทำการเติมอากาศครบ 7 วันแล้วลักษณะน้ำเสียจริงได้แก่

1. pH เท่ากับ 5.10
2. ความเข้มข้น COD เท่ากับ 22 mg/L
3. ความเข้มข้น BOD_5 เท่ากับ 9 mg/L
4. ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 192 mg/L
5. NO_3^--N เท่ากับ 133.72 mg/L

ขั้นตอนต่อไปเป็นกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยจะทำการหยุดเติมอากาศ และจะมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียตั้งต้น ลงในน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชันมาแล้วที่มีปริมาตรเหลืออยู่ประมาณ 35 L เพื่อให้ได้ COD/NO_3^--N เท่ากับ 6.0 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการทำให้กระบวน ดีไนทริฟิเคชันเกิดขึ้นได้ดี ซึ่งอัตราส่วน COD/NO_3^--N ได้มาจากการทดลองเมื่อใช้น้ำเสียสังเคราะห์ โดยสภาวะของน้ำเสียตั้งต้นที่จะเติมเป็นแหล่งคาร์บอน เป็นน้ำเสียจริงที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่

1. pH เท่ากับ 6.92
2. ความเข้มข้น BOD_5 เท่ากับ 1568 mg/L
3. ความเข้มข้น COD เท่ากับ 3450 mg/L
4. ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 201 mg/L

โดยเติมน้ำเสียตั้งต้นลงไปปริมาตร 10 L จะได้ค่า COD/NO_3^--N เท่ากับ 6.1 ซึ่งใกล้เคียงกันมากกับอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ค่า COD/NO_3^--N เท่ากับ 6.0 โดยจะมีลักษณะน้ำเสียจริงตอนเริ่มต้นของกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ได้แก่

1. pH เท่ากับ 5.45
2. ความเข้มข้น BOD_5 เท่ากับ 401 mg/L
3. ความเข้มข้น COD เท่ากับ 883 mg/L
4. ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 195 mg/L

โดยจะทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทุก 24 ชั่วโมง จนกว่าจะได้ค่าความเข้มข้น BOD_5 และความเข้มข้น TKN ต่ำกว่าค่ากำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 และ 100 mg/L ตามลำดับ (ผลการทดลอง ดังภาคผนวก ข. ตาราง 54B)

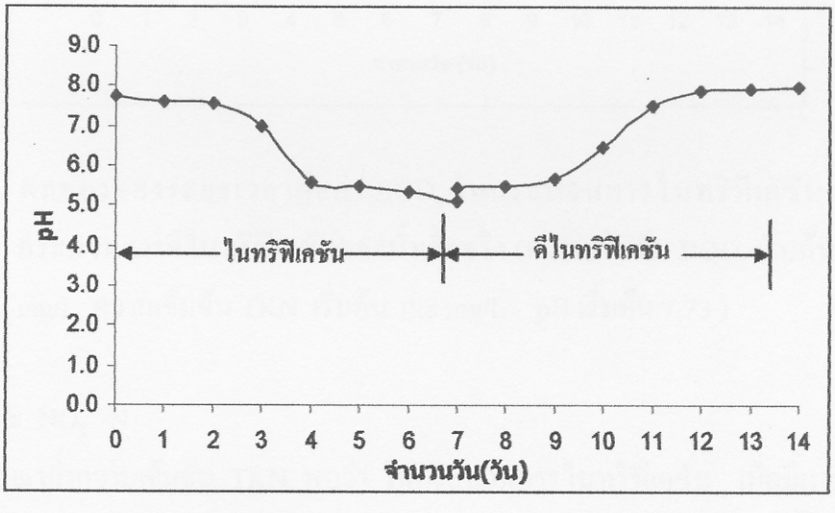
ซึ่งการทดลองนี้ ได้แบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

5.1 ผลของระยะเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆในกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ของน้ำเสียจริง

จากผลการทดลองของระยะเวลาต่อค่าตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ของน้ำเสียจริง โดยมีตัวแปรที่นำมาพิจารณามี 4 ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ pH ความเข้มข้น BOD_5 ความเข้มข้น TKN และ NO_3^--N ซึ่งผลการทดลอง แสดงให้เห็น ดังภาพประกอบ 32 ถึง ภาพประกอบ 35 (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข. ตาราง 54)

ก. pH

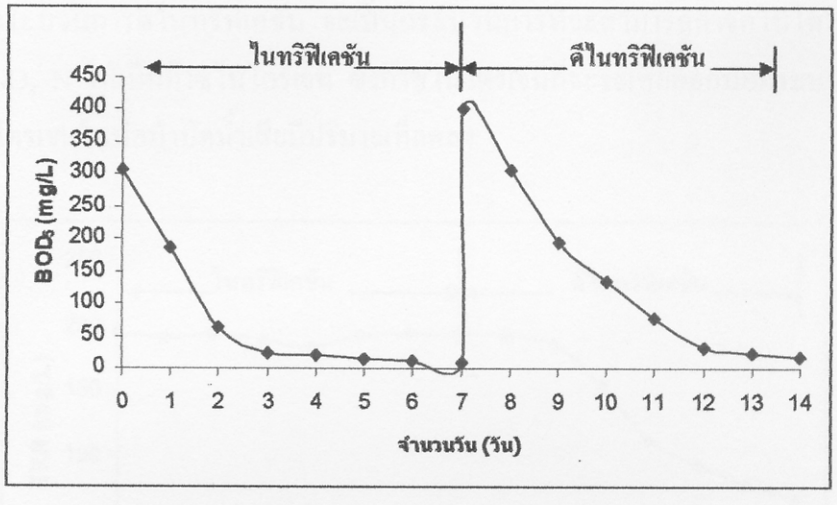
จากผลการทดลองของน้ำเสียจริง ดังภาพประกอบ 32 ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อมีระยะเวลาเติมอากาศ 7 วัน พบว่า ค่า pH จะลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่เติมอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับ ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544) ที่กล่าวไว้ว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันจะมีการปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมา ซึ่งไฮโดรเจนไอออนจะไปทำลายสภาพด่างให้หายไป ทำให้ pH ลดลง ดังนั้น ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน น้ำเสียเริ่มต้นจึงน่าจะมีค่า pH ที่ไม่ต่ำเกินไป ควรมีค่า pH ค่อนไปทางด่างหรือประมาณ 7.5-9.0 จึงจะทำให้กระบวนการไนทริฟิเคชันมีประสิทธิภาพในการเกิด NO_3^--N ที่สูง ส่วนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน พบว่า ค่า pH จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่หยุดเติมอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับ ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544) ที่กล่าวไว้ว่า กระบวนการดีไนทริฟิเคชันทำให้ช่วยเพิ่มสภาพด่างไบคาร์บอเนต จึงทำให้ pH เพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 32 ผลของของระยะเวลาต่อค่า pH ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของน้ำเสียจริง (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 306 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 193 mg/L pH เริ่มต้น 7.73)

ข. BOD_5

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้น BOD_5 พบว่า ทั้งกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการ ดีไนทริฟิเคชันความเข้มข้น BOD_5 จะลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลา และจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดในมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 mg/L โดยในกระบวนไนทริฟิเคชัน เมื่อมีการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน ค่าความเข้มข้น BOD_5 จะเท่ากับ 9 mg/L ส่วนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะมีการเติมน้ำเสียตั้งต้นเป็นแหล่งคาร์บอน ทำให้ค่าความเข้มข้น BOD_5 เพิ่มสูงขึ้น เท่ากับ 401 mg/L เมื่อมีการหยุดเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน ค่าความเข้มข้น BOD_5 เท่ากับ 16 mg/L ดังภาพประกอบ 33 แสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมคาร์บอนเข้าไปในระบบบำบัดน้ำเสียจะไม่ส่งผลต่อการกำจัดบีโอดี ยังสามารถกำจัดบีโอดีได้ดีเหมือนกระบวนการไนทริฟิเคชัน



ภาพประกอบ 33 ผลของของระยะเวลาต่อค่า BOD_5 ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของน้ำเสียจริง (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 306 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 193 mg/L pH เริ่มต้น 7.73)

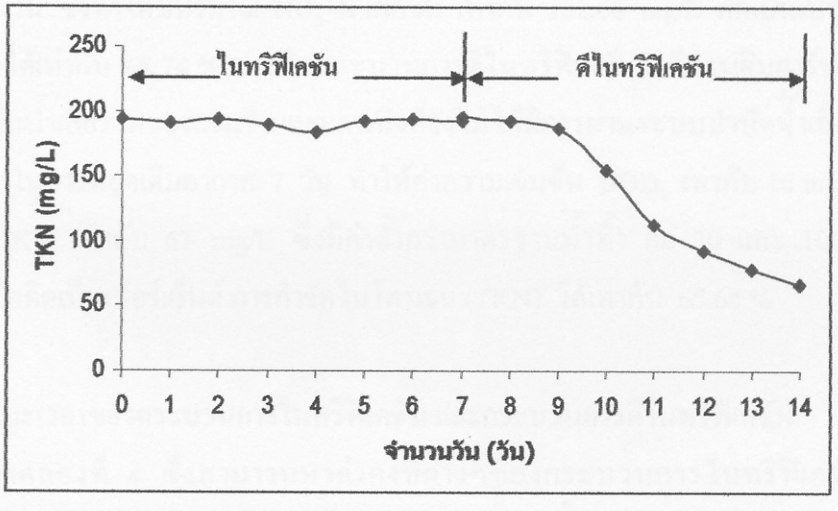
ค. TKN และ NO_3^--N

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้น TKN พบว่า ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อมีการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน ความเข้มข้น TKN ยังคงเท่าเดิม ดังภาพประกอบ 34 เนื่องจากไนโตรเจนไม่ได้สูญเสียไปไหน แค่เปลี่ยนจากรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็น NO_3^--N เท่านั้น ซึ่งพิจารณาได้จากภาพประกอบ 35 จะเห็นว่า เมื่อมีการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน NO_3^--N จะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ดังสมการ(8)

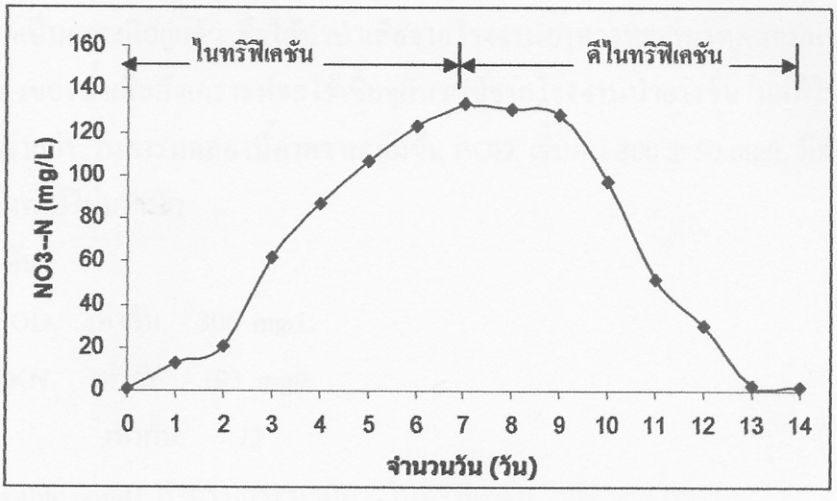
$$NH_4^+ + 1.86O_2 + 1.98HCO_3^- \rightarrow 0.02C_5H_7O_2N + 0.98NO_3^- + 1.04H_2O + 1.88H_2CO_3 \quad (8)$$

ซึ่งจากสมการ พบว่า แอมโมเนียมไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนในรูปของไนเทรตแสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการไนทริฟิเคชันไนโตรเจนยังไม่ได้ถูกกำจัดออกนอกระบบ เป็นแค่การเปลี่ยนรูปไนโตรเจนเท่านั้น ดังนั้น ความเข้มข้น TKN จึงมีปริมาณเท่าเดิม

และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้น TKN ในกระบวนดีไนทริฟิเคชันโดยมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียตั้งต้น พบว่า เมื่อมีการหยุดเติมอากาศความเข้มข้น TKN จะลดลงตามระยะเวลาการหยุดเติมอากาศ จนเมื่อหยุดเติมอากาศเป็นระยะเวลา 5 วัน ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 92 mg/L ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดในมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 100 mg/L ดังภาพประกอบ 34 และเมื่อพิจารณาค่า NO_3^--N ก็จะพบว่า NO_3^--N จะลดลงเรื่อยๆตามระยะเวลาที่หยุดเติมอากาศ เนื่องจากว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน จะเป็นกระบวนการที่จะสามารถกำจัดไนโตรเจนได้โดยการเปลี่ยน NO_3^--N ให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งก๊าซไนโตรเจนก็จะระเหยออกนอกระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้ไนโตรเจนในบ่อบำบัดน้ำเสียมีปริมาณที่ลดลง



ภาพประกอบ 34 ผลของระยะเวลาต่อปริมาณ TKN ในกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของน้ำเสียจริง (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 306 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 193 mg/L pH เริ่มต้น 7.73)



ภาพประกอบ 35 ผลของระยะเวลาต่อปริมาณ NO_3^--N ในกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของน้ำเสียจริง (ความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 306 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 193 mg/L pH เริ่มต้น 7.73)

ดังนั้นจากการทดลองของน้ำเสียจริง พบว่า ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน จะใช้ระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน ซึ่งทำให้มีปริมาณ NO_3^--N เกิดขึ้น เท่ากับ 132.66 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิด NO_3^--N ได้เท่ากับ 68.74 % และในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียตั้งต้นซึ่งเป็นน้ำเสียรวมของแช่แข็งและแคนนิ่งที่ยังไม่ได้มีการผ่านระบบบำบัดน้ำเสียใดเลย ซึ่งจะใช้ระยะเวลาในการหยุดเติมอากาศ 7 วัน ทำให้ค่าความเข้มข้น BOD_5 เท่ากับ 16 mg/L และค่าความเข้มข้น TKN เท่ากับ 67 mg/L ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 และ 100 mg/L ตามลำดับ และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ การกำจัดไนโตรเจน (TKN) ได้เท่ากับ 65.64 %

5.2 คำนวณหาระยะเวลาของกระบวนการไนทริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

จากผลการทดลองที่ 4 ซึ่งสามารถหาค่าคงที่ต่างๆของกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของบ่อเติมอากาศได้ ในการทดลองนี้จึงจะทำการยืนยันว่า ค่าคงที่ที่หามาได้จากการทดลองที่ 4 นั้นสามารถนำไปใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีจุลินทรีย์อยู่น้อยได้ โดยทำการคำนวณหาระยะเวลาของบ่อเติมอากาศ (กระบวนการไนทริฟิเคชัน) และบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน) ของน้ำเสียจริง แล้วจึงนำเวลาที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 5.1 ซึ่งเป็นผลการทดลองของน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตภัณฑ์อาหารทะเล (บริษัท ซีฮอร์ส จำกัด) การที่นำน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลมาทดสอบแทนโรงงานน้ำยางข้น เนื่องจากโรงงานน้ำยางข้นในปัจจุบันนี้ได้ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งแล้ว ซึ่งระบบนี้สามารถ

กำจัดไนโตรเจนได้เป็นอย่างดีอยู่แล้ว จึงได้นำน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลมาทดสอบแทน ซึ่งแม้ว่าในการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์จะใช้เชื้อจุลินทรีย์จากโรงงานน้ำยางข้น แต่ก็ไม่ส่งผลกระทบมาก เนื่องจากว่า ในการทดลองนี้ค่าความเข้มข้น BOD_5 เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L มีค่าไม่สูง จึงส่งผลต่อเชื้อจุลินทรีย์ไม่มากนัก

ลักษณะน้ำเสียเริ่มต้น

ความเข้มข้น BOD_5 เท่ากับ 306 mg/L

ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 193 mg/L

pH เท่ากับ 7.73

บ่อเติมอากาศ (aerobic pond) สำหรับกระบวนการไนทริฟิเคชัน

กำหนด

1. อัตราการไหลของน้ำเสีย (Q) = 500 m^3/d
2. DO ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน = 2.5 mg/L
3. อุณหภูมิ = 30 °C

<u>คำนวณหาระยะเวลา</u>

1. คำนวณหาค่าอัตราเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลชีพไนทริไฟล์ ณ สภาวะหนึ่ง $(\mu'_{N,m})$

จากสมการ (33)

$$\mu'_{N,m} = \mu_{N,m}\left(\frac{DO}{K_{DO}+DO}\right)\left(e^{0.098(T-15)}\right)\left[1-0.833(7.2-pH)\right] \qquad (33)$$

จากตาราง 1 $K_{DO} = 1.3$

และจากตาราง 28 $\mu_{N,m} = 0.6243$ day^{-1}

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (33)

$$\mu'_{N,m} = 0.6243\left(\frac{2.5}{1.3+2.5}\right)\left(e^{0.098(30-15)}\right)\left[1-0.833(7.2-7.73)\right]$$

$$= 2.57 \quad day^{-1}$$

2. คำนวณหาค่าอัตราการใช้ไนโตรเจนสูงสุด (k_N)

จากสมการ (32)

$$k_N = \frac{\mu'_{N,m}}{Y_N} \qquad (32)$$

จากตาราง 28 $Y_N = 1.94$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (32) จะได้

$$k_N = \frac{2.57}{1.94}$$
$$= 1.32 \text{ day}^{-1}$$

3. คำนวณหาค่าอายุสลัดจ์ (θ_c)

จากสมการ (31)

$$\frac{1}{\theta_{c,\min}} = Y_N k_N - k_{d,N} \quad (31)$$

จากตาราง 28

$$k_{d,N} = 1.47 \text{ day}^{-1}$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (31) จะได้

$$\frac{1}{\theta_{c,\min}} = 1.94(1.32) - 1.47$$
$$\theta_{c,\min} = 1.09 \text{ วัน}$$

คำนวณหาค่า θ_c จากสมการ (30)

$$\theta_c = (SF)(\theta_{c,\min}) \quad (30)$$

เมื่อ

SF = safety factor

กำหนดให้

$$SF = 2.5$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (30) จะได้

$$\theta_c = (2.5)(1.09) = 2.73 \text{ day}$$

4. คำนวณหาค่าอัตราการใช้ไนโตรเจนต่อมวลจุลชีพไนทริไฟล์ (U_N)

จากสมการ (29)

$$\frac{1}{\theta_c} = Y_N U_N - k_{d,N} \quad (29)$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (29) จะได้

$$\frac{1}{2.73} = (1.94U_N - 1.51)$$
$$U_N = 0.95 \text{ day}^{-1}$$

5. คำนวณหาค่าแอมโมเนียในน้ำทิ้ง (N)

จากสมการ (36) และ (37)

$$U_N = \frac{k_N N}{(K_N + N)} \tag{36}$$

$$K_N = 10^{(0.051T - 1.158)} \tag{37}$$

แทนค่าในสมการ (37) จะได้

$$K_N = 10^{((0.051 \times 30) - 1.158)}$$

$$= 2.36 \text{ mg/L}$$

แทนค่าต่างๆในสมการ (36) จะได้

$$0.95 = \frac{1.32N}{(2.36 + N)}$$

$$N = 6.06 \text{ mg/L}$$

6. คำนวณหาเวลาเก็บกักของกระบวนการไนทริฟิเคชัน (t)

จากสมการ (28)

$$t = \frac{(N_0 - N)}{U_N X_N} \tag{28}$$

กำหนดให้

$$X_N = 0.08X = 0.08 \times 500 = 40 \text{ mg/L}$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (28) จะได้

$$t = \frac{(193 - 6.06)}{(0.95)(40)} = 4.9 \text{ day}$$

จากการคำนวณหาเวลาเก็บกักของกระบวนการไนทริฟิเคชัน พบว่า ใช้ระยะเวลา 4.9 day

ซึ่งจากการทดลองจะใช้ระยะเวลา 7 day แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาจากการทดลองและจากการคำนวณจะมีความแตกต่างกัน 30% ซึ่งถือว่ายอมรับได้ อาจเนื่องมาจาก ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณได้คำนวณมาจากน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย ส่วนน้ำเสียจริงอาจจะเหลือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากแล้วเพราะมีการผ่านบ่อบำบัดมาบางขั้นตอน ดังนั้น จากผลการทดลองและจากการคำนวณจึงใช้ระยะเวลาแตกต่างกันบ้าง

ดังนั้น ถ้าจะนำค่าคงที่เหล่านี้ไปคำนวณก็ควรคำนวณค่า SF ของเวลาเก็บกักของกระบวนการไนทริฟิเคชัน 30-35 % ด้วย

บ่อไร้อากาศ (Anoxic) สำหรับกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

กำหนด

1. อัตราการไหลของน้ำเสีย (Q) = 500 m^3/day
2. ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำเข้า ($NO^-_{3,inf}$) = 133.52 mg/L
2. ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำออก ($NO^-_{3,eff}$) = 1.79 mg/L
3. ความเข้มข้นของมวลของเฮเทอโรทรอฟ (X_v) = 500 mg.MLVSS/L
4. อุณหภูมิ (T) = 30 °C
5. ความเข้มข้นออกซิเจนละลาย (DO) ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน = 0.2 mg/L

<u>เวลา</u>

จากสมการ (34)

$$t = \frac{NO_{3,\text{inf}} - NO_{3,eff}}{U'_{DN} X_v} \tag{34}$$

และจากสมการ (35)

$$U'_{DN} = U_{DN} \times 1.09^{(T-20)} \times (1 - DO) \tag{35}$$

จากการคำนวณในการทดลองที่ 4

U_{DN} ที่ 20 °C = 0.0227 $mgNO_3$-N /(mgMLVSS .d)

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (35) จะได้

$$U'_{DN} = 0.0227 \times 1.09^{(30-20)} \times (1 - 0.2)$$
$$= 0.043$$

และแทนค่าต่างๆ ลงในสมการ (34) จะได้

$$t = \frac{133.52 - 1.79}{0.043 \times 500}$$
$$= 6.13 \text{ day}$$

ซึ่งจากการทดลองจะใช้ระยะเวลา 7 day แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาจากการทดลองและจากการคำนวณจะมีความแตกต่างกัน 12.4 % ซึ่งถือว่าแตกต่างกันน้อยมาก อาจเนื่องมาจาก ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณได้คำนวณมาจากน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย ส่วนน้ำเสียจริงอาจจะเหลือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากแล้วเพราะมีการผ่านบ่อบำบัดมาบางขั้นตอน แต่

ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียตั้งต้น ซึ่งสารอินทรีย์จะที่ย่อยสลายได้ง่ายยังมีอยู่ จึงทำให้ระยะเวลาจากผลการทดลองและจากการคำนวณแตกต่างกันน้อยกว่าในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

ดังนั้น สามารถที่จะนำค่าคงที่ของอัตราการเกิดดีไนทริฟิเคชันที่ 20°C (U_{DN}) มีค่าเท่ากับ 0.0227 $mgNO_3$-N / (mgMLVSS .d) สำหรับกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ไปใช้ในการคำนวณหาระยะเวลาของบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน) ของระบบบำบัดที่มีจุลินทรีย์อยู่น้อยได้เลย

และจากการคำนวณหาระยะเวลาของบ่อเติมอากาศและบ่อไร้อากาศได้แล้ว ก็จะสามารถนำระยะเวลาที่คำนวณได้มาหาปริมาตรของบ่อเติมอากาศและบ่อไร้อากาศได้ ดังนี้

<u>ปริมาตรของบ่อเติมอากาศ (กระบวนการไนทริฟิเคชัน)</u>

การทราบระยะเวลากักเก็บหรือระยะเวลาในการเติมอากาศ (t) ทำให้สามารถคำนวณปริมาตรของบ่อเติมอากาศได้โดยใช้สมการ (38)

$$V = Qt \tag{38}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของบ่อ (m^3)

Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย (m^3/day)

t = ระยะเวลากักเก็บ (day)

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (38) จะได้

$$V = (500)(4.9)$$
$$= 2450 \ m^3$$

หาขนาดของบ่อมีอากาศ (กว้าง ยาว ลึก)

กำหนดให้ บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง : ยาว = 1: 5

น้ำลึกในถัง = 2.5 m

ดังนั้น ขนาดพื้นที่ของบ่อ = ปริมาตร / น้ำลึก

= 2450/2.5 = 980 m^2

= 980/1600 = 0.61 ไร่

พื้นที่ของบ่อ = (กว้าง)(ยาว)

สมมติให้ X เป็น ความกว้างของบ่อ

5X เป็น ความยาวของบ่อ

∴ พื้นที่ของบ่อ = (X)(5X)

$980\ m^2 = 5X^2$

$X = 14\ m$

∴ ความกว้างของบ่อ = 14 m

ความยาวของบ่อ = 70 m

กำหนดให้ระยะผนังเหนือน้ำ = 0.50 m

∴ ความลึกของบ่อ = 3.00 m

จากการคำนวณ แสดงให้เห็นว่า ระบบบ่อมีอากาศ (กระบวนการไนตริฟิเคชัน) จะใช้ระยะเวลาเติมอากาศ 4.9 วัน มีปริมาตร 2,450 m^3 มีขนาดกว้าง 14 m ยาว 70 m ลึก 3.00 m และมีพื้นที่ 980 m^2 หรือ 0.61 ไร่

<u>ปริมาตรของบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน)</u>

จากสมการ (38)

$$V = Qt \qquad (38)$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (28) จะได้

$V = (500\ m^3/d)(6.13\ day)$

$= 3{,}065\ m^3$

หาขนาดของบ่อไร้อากาศ (กว้าง ยาว ลึก)

กำหนดให้ บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง : ยาว = 1: 5

น้ำลึกในถัง = 2.5 m

ดังนั้น ขนาดพื้นที่ของบ่อ = ปริมาตร / น้ำลึก

$= 3065/2.5 = 1226\ m^2$

$= 1226/1600 = 0.77$ ไร่

พื้นที่ของบ่อ = (กว้าง)(ยาว)

สมมติให้ X เป็น ความกว้างของบ่อ

5X เป็น ความยาวของบ่อ

∴ พื้นที่ของบ่อ = (X)(5X)

$1226\ m^2 = 5X^2$

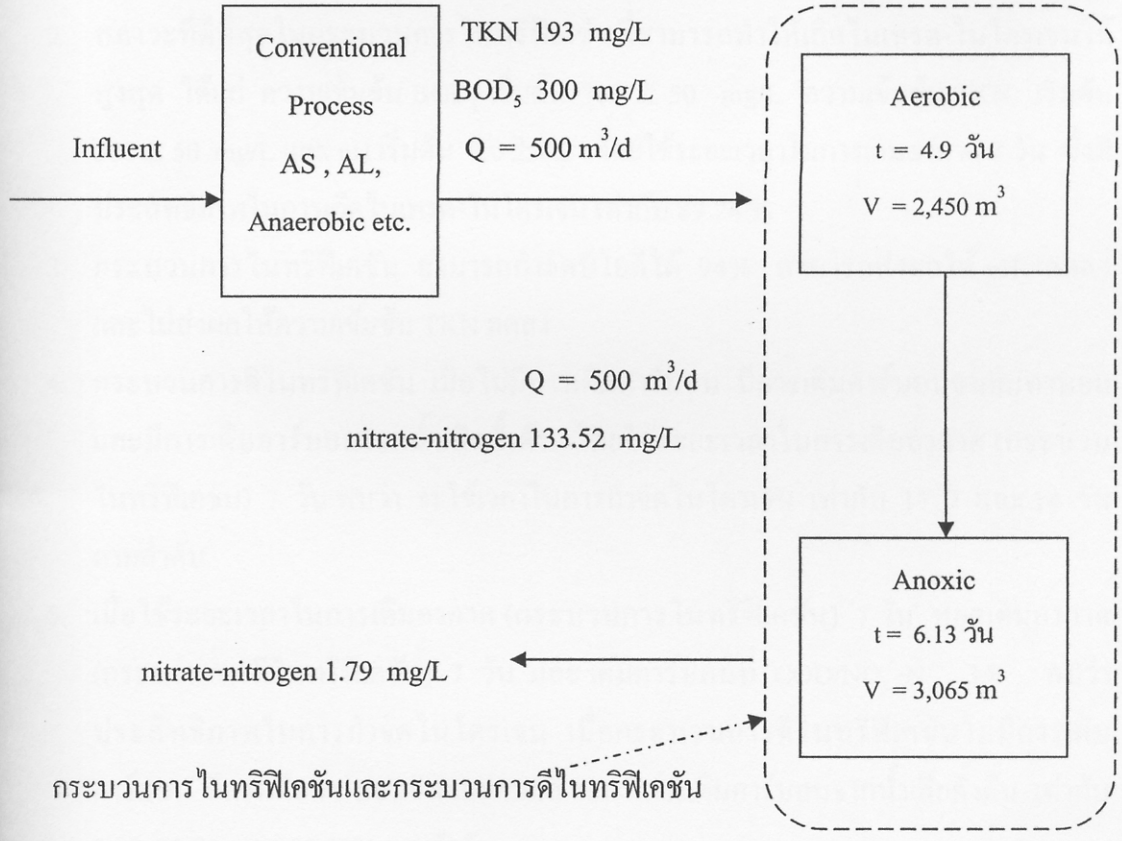
$X = 15.65\ m$

$\therefore$ ความกว้างของบ่อ = 15.65 m

ความยาวของบ่อ = 78.29 m

กำหนดให้ระยะผนังเหนือน้ำ = 0.50 m

$\therefore$ ความลึกของบ่อ = 3.00 m

แสดงให้เห็นว่า ระบบบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน) จะใช้เวลา 6.13 วัน มีปริมาตร 3065 m^3 มีขนาดกว้าง 15.25 m ยาว 78.29 m ลึก 3.00 m และมีพื้นที่ 1226 m^2 หรือ 0.77 ไร่

<u>สรุป</u>