

## บทที่ 3

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาการกำจัดไนโตรเจน โดยวิธีทางชีวภาพเป็นระบบที่นับว่าเหมาะสม เพราะเป็นระบบที่ประหยัดค่าใช้จ่าย และสามารถดำเนินการได้พร้อมๆกับ การกำจัดความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ แต่เนื่องจากระบบดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในบางประการ เช่น ข้อมูลที่ได้ศึกษาวิจัยกันมากจะเป็นระบบที่มีความเข้มข้นจุลินทรีย์ปริมาณมาก เช่น ระบบตะกอนเร่ง และได้มีข้อมูลต่างๆที่จำเป็นสำหรับระบบเช่นค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบระบบก็ได้มีการศึกษาไว้แล้ว ส่วนในระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่มีขนาดไม่ใหญ่มากเพราะเป็นระบบที่ดูแลได้ง่ายเช่นระบบบ่อเติมอากาศ ยังมีการศึกษาการลดไนโตรเจนในระบบน้อยมาก ระบบบ่อเติมอากาศนี้ประกอบด้วยหลายๆ บ่อต่อเรียงกัน มีการเติมอากาศในบ่อต้นๆ และให้เป็นบ่อธรรมชาติในบ่อหลังๆ ระบบนี้มีความเข้มข้นจุลินทรีย์ต่ำทำให้ความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนต่ำ รวมทั้งยังไม่มีข้อมูลสนับสนุนทางด้านการออกแบบที่จะทำให้สามารถกำหนดขนาด และสถานะในการเดินระบบ และเพื่อให้มีกระบวนการกำจัดไนโตรเจนควบคู่กับการบำบัดสารประกอบคาร์บอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับปรุงระบบบ่อเติมอากาศให้มีขั้นตอนของกระบวนการ ในทรีพีเคชัน และกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ซึ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลักที่สามารถกำจัดไนโตรเจน ในส่วนแรกของงานวิจัยเป็นการศึกษาเพื่อหาตัวแปรต่างๆในระบบบ่อเติมอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการในทรีพีเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน และหาค่าคงที่ที่ใช้ในการออกแบบคำนวณของแต่ละกระบวนการ โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ใช้ปฏิกรณ์แบบที่ละเท และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ส่วนที่สองได้ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานที่มีสถานะที่ใกล้เคียงกับลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ที่สถานะที่เหมาะสมในการกำจัดไนโตรเจนที่ดีที่สุด และส่วนสุดท้ายจะทำการกำหนดสถานะขั้นตอนที่เหมาะสมต่อการกำจัดไนโตรเจนในการเดินระบบบำบัดทางชีวภาพที่มีระบบผสมของบ่อเติมอากาศ (กระบวนการในทรีพีเคชัน) และบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน) ซึ่งได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้ คือ

#### 3.1 อิทธิพลของจุลินทรีย์ที่มีต่อกระบวนการกำจัดไนโตรเจน

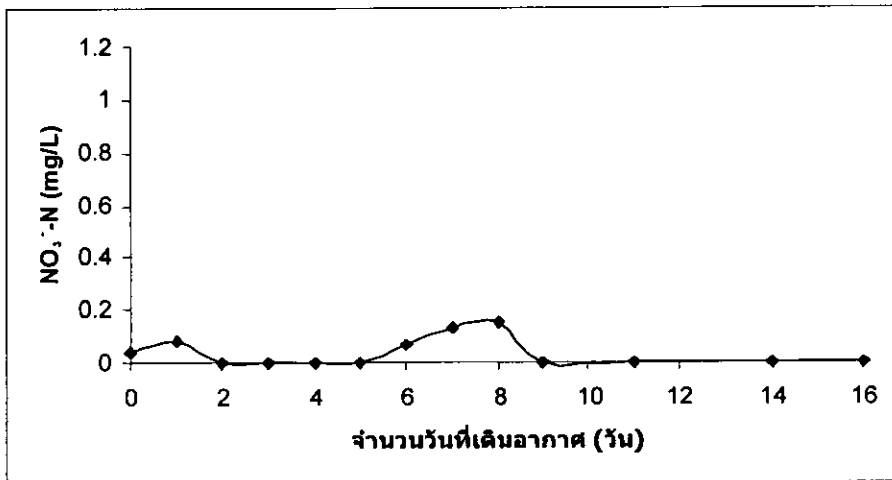
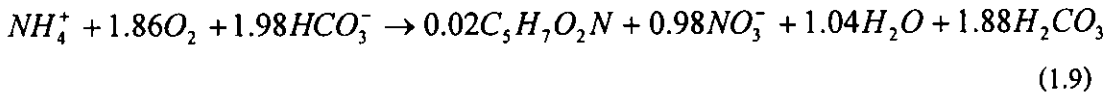
การศึกษาในขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาอิทธิพลของจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนแอม โมเนียม ในโตรเจน ไปเป็นไนเตรตในกระบวนการในทรีพีเคชัน ซึ่งเป็นโดยติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนในรูปของไนเตรต โดยประสิทธิภาพของกระบวนการในทรีพีเคชัน ขึ้นกับปริมาณไนเตรตที่เพิ่มขึ้น

การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน เป็นการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ และการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ ผลการทดลองแสดงดังตาราง 3.1 ถึง ตาราง 3.2 และ ภาพประกอบ 3.1 ถึง ภาพประกอบ 3.4

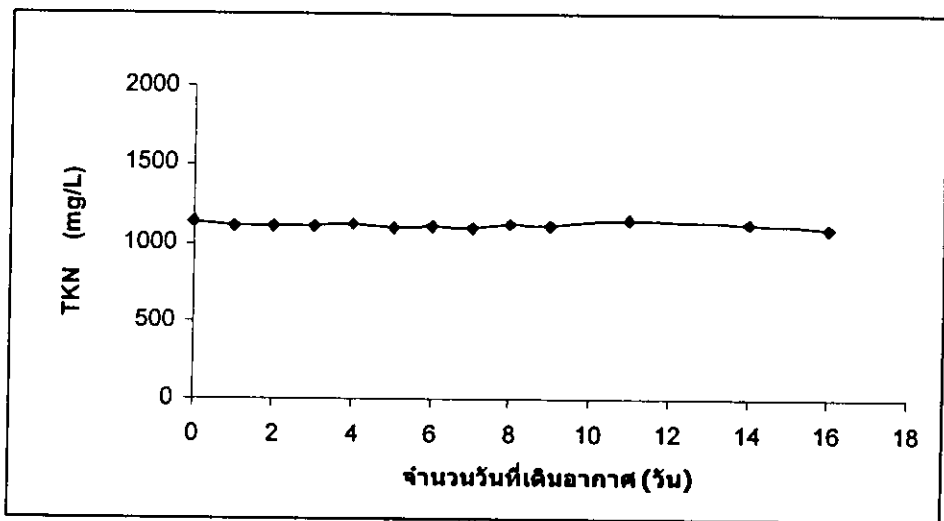
### 3.1.1 ผลของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์

การศึกษาน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ มีความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> 10 ± 5 mg/L ความเข้มข้น TKN 1200 ± 100 mg/L และ pH 5.6 ± 0.2 ทำการทดลองโดยทำการเติมอากาศตลอดเวลาเพื่อให้มีสภาวะ Oxic ที่เป็นสภาวะของกระบวนการไนตริฟิเคชัน วิเคราะห์หาค่า pH COD BOD<sub>5</sub> TKN และ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N (ภาคผนวก ข. ตาราง ข1) โดยจะทำการเก็บตัวอย่าง ทุก วัน เป็นระยะเวลา 16 วัน

จากผลการทดลอง พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์จะมีปริมาณ TKN และ ปริมาณ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่าเดิม ดังตาราง 3.1 และ ภาพประกอบ 3.1-3.2 แสดงให้เห็นว่า ไม่เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน เนื่องจากว่า กระบวนการไนตริฟิเคชัน จะมีการเปลี่ยนแอมโมเนียม (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ไปเป็น ไนเตรต (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ดังสมการ (1.9) ดังนั้น กระบวนการไนตริฟิเคชัน จึงควรมีปริมาณไนเตรตเพิ่มขึ้น แต่ TKN เท่าเดิม



ภาพประกอบ 3.1 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 10 ± 5 mg/L pH เริ่มต้น 5.6 ± 0.2)



ภาพประกอบ 3.2 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ TKN ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 10 ± 5 mg/L pH เริ่มต้น 5.6 ± 0.2)

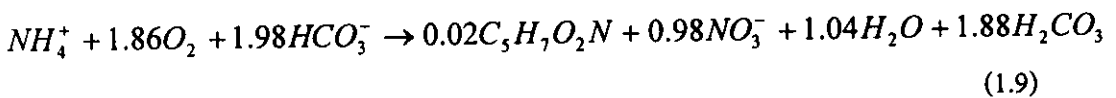
ตาราง 3.1 ผลการเปลี่ยนแปลง TKN และ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ที่ระยะเวลาต่างๆในระบบเติมอากาศของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 10 ± 5 mg/L pH เริ่มต้น 5.6 ± 0.2 )

จำนวนวันที่เติมอากาศ (วัน)	TKN (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -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

### 3.1.2 ผลของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์

ทำการศึกษาน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ น้ำเสียเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเหมือนน้ำเสียสังเคราะห์ในหัวข้อ 3.1.1 คือมีความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> 10 ± 5 mg/L ความเข้มข้น TKN 1200 ± 100 mg/L pH 5.6 ± 0.2 ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ 600 mg/L เพิ่มลงไป การทดลองนี้ทำการเติมอากาศตลอดเวลา เพื่อให้มีสถานะของกระบวนการไนตริฟิเคชันคือมีสภาพเป็น oxic zone ทำการเก็บตัวอย่างทุกวัน เป็นระยะเวลา 12 วัน และวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ pH COD BOD<sub>5</sub> TKN และ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N (ภาคผนวก ข. ตาราง ข2)

ผลการทดลองกรณีน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ 600 mg/L พบว่า เมื่อใช้เวลาในการเติมอากาศมากขึ้น ไนโตรเจนในรูปของไนเตรตก็จะมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นด้วยดังแสดงในตาราง 3.2 และภาพประกอบ 3.3 ส่วนปริมาณ TKN จะเท่าเดิม ดังแสดงในตาราง 3.2 และภาพประกอบ 3.4 ซึ่งสอดคล้องกับทางทฤษฎี โดย กระบวนการไนตริฟิเคชัน เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นไนเตรตไนโตรเจน (เกรียงศักดิ์, 2543) ดังสมการ (1.9)



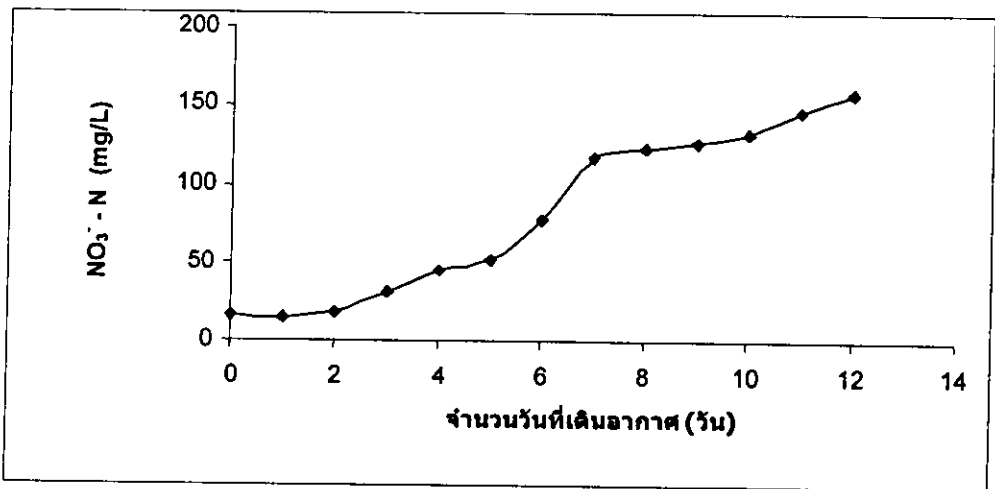
ดังนั้นไนโตรเจนจะยังไม่ได้ถูกกำจัด เพียงแค่เปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรตเท่านั้น ดังนั้น ปริมาณ TKN จึงยังคงเท่าเดิม

แสดงให้เห็นว่า การทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ จะมีกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้น

ตาราง 3.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 10 ± 5 mg/L pH เริ่มต้น 5.6 ± 0.2 และ ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L )

จำนวนวันที่เติมอากาศ (วัน)	TKN (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -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

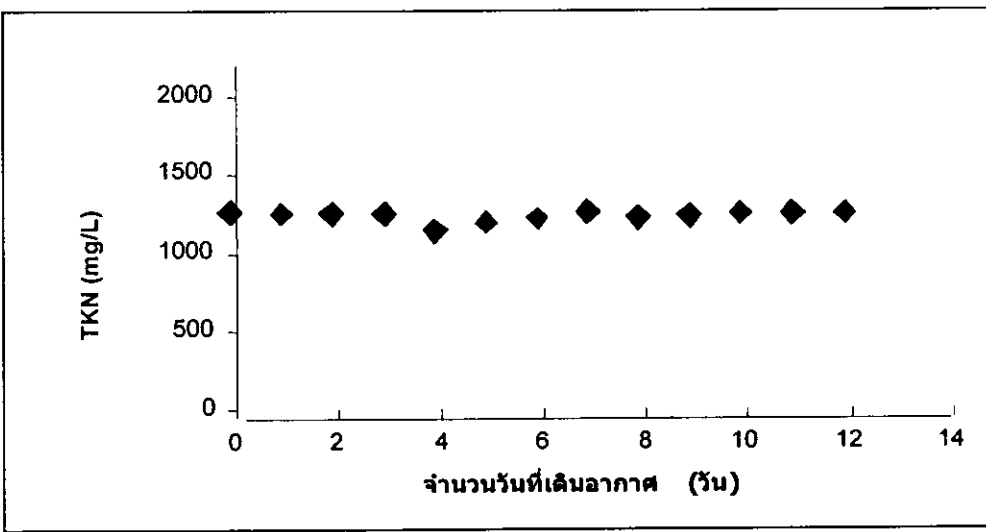
จำนวนวันที่เติมอากาศ (วัน)	TKN (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)
6	1179	83.21
7	1210	127.98
8	1184	133.16
9	1195	137.34
10	1201	143.56
11	1197	158.91
12	1199	170.34



ภาพประกอบ 3.3 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 10 ± 5 mg/L pH เริ่มต้น 5.6 ± 0.2 และ ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L)

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์และมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ 600 mg/L พบว่า กระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้น ก็ต่อเมื่อระบบต้องมีสถานะเป็น Oxic และต้องมีจุลินทรีย์ ในระบบด้วย ผลที่ได้จากกระบวนการนี้คือมีผลิตภัณฑ์เป็นไนเตรตที่เพิ่มขึ้น ซึ่ง ธงชัย พรหมสวัสดิ์ (2544) กล่าวว่า จุลินทรีย์ชนิดออกซิโดทรอพอจะออกซิไดซ์แอมโมเนียมไปเป็นไนเตรต ภายใต้ภาวะแอโรบิก จึงแสดงให้เห็นว่า ในน้ำเสียสังเคราะห์จะต้องมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์จึงจะสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียมเป็นไนเตรตได้

ดังนั้น การทดลองทุกการทดลองที่ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการกำจัดไนโตรเจนโดยไนตริฟิเคชันและ ดีไนตริฟิเคชัน จึงมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ ค่าความเข้มข้นจุลินทรีย์ที่ใช้จะใกล้เคียงกับที่มีในระบบบ่อเติมอากาศ คือประมาณ 600 mg/l



ภาพประกอบ 3.4 ผลของระยะเวลาการเดินอากาศต่อปริมาณ TKN ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น  $10 \pm 5$  mg/L pH เริ่มต้น  $5.6 \pm 0.2$  และ ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L )

### 3.2 ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพของการเกิดไนเตรต-ไนโตรเจนในกระบวนการไนทริฟิเคชันของขั้นตอนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ

กระบวนการไนทริฟิเคชันจะเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเตรต ดังนั้น การที่กระบวนการไนทริฟิเคชันจะเกิดได้ดี ก็คือ ต้องเกิดไนเตรตได้มากด้วย จึงได้ทำการพิจารณาค่า ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องในกระบวนการไนทริฟิเคชัน ได้แก่ BOD<sub>5</sub>, TKN และ pH ที่เหมาะสม เพื่อจะทำให้ประสิทธิภาพการเกิดไนเตรตดีที่สุด เนื่องจาก จากการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพของการเกิดไนเตรตในกระบวนการ ไนทริฟิเคชันของขั้นตอนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน คือ ศึกษาผลของความเข้มข้น BOD<sub>5</sub>, ความเข้มข้น TKN และ pH ผลการทดลองแสดงดังตาราง 3.3 ถึง ตาราง 3.11 และภาพประกอบ 3.5 ถึง ภาพประกอบ 3.15

#### 3.2.1 ผลของความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพการเกิดไนเตรต-ไนโตรเจนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

ทำการศึกษาค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> 4 ค่า คือ  $10 \pm 8$   $300 \pm 50$   $2000 \pm 100$  และ  $4000 \pm 100$  mg/L ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เพื่อศึกษาว่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ที่อยู่ในช่วง 0-4000 mg/L ค่าความเข้มข้นใดจะมีประสิทธิภาพในการเกิดไนโตรเจนในรูปของไนเตรตได้ดีที่สุด ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นมีลักษณะ ดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นเมื่อทำการศึกษาความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ของสารป้อนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

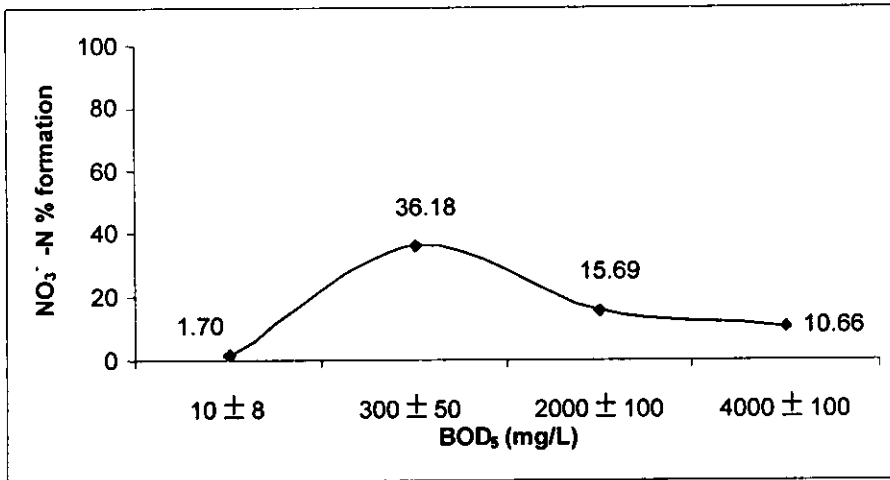
ความเข้มข้น BOD <sub>5</sub> (mg/L)	ความเข้มข้น TKN (mg/L)	pH	ความเข้มข้น จุลินทรีย์ (mg/L)
10 ± 8	600 ± 50	7.8 ± 0.2	600
300 ± 50	600 ± 50	7.8 ± 0.2	600
2000 ± 100	600 ± 50	7.8 ± 0.2	600
4000 ± 100	600 ± 50	7.8 ± 0.2	600

โดยทำการเติมอากาศตลอดเวลา และทุก 24 ชั่วโมงจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ pH COD BOD<sub>5</sub> TKN และ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เป็นระยะเวลา 7 วัน (ผลการทดลองที่ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> 10 ± 8 300 ± 50 2000 ± 100 และ 4000 ± 100 mg/L อยู่ในภาคผนวก ข. ตาราง ข3 ข4 ข5 และ ข6 ตามลำดับ)

จากผลของความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ต่อปริมาณการเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า ดังตาราง 3.4 ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ที่มีค่าเริ่มต้น 10 ± 8 300 ± 50 2000 ± 100 และ 4000 ± 100 mg/L จะมีค่าปริมาณ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เกิดขึ้น เท่ากับ 10.69 229.72 100.08 และ 66.61 mg/L ตามลำดับ และมีค่าเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 1.70 36.18 15.69 และ 10.66 ตามลำดับ ส่วนภาพประกอบ 3.5 จะแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 322 จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ ธงชัย พรหมสวัสดิ์ (2544) ที่กล่าวไว้ว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันจะเกิดขึ้น เมื่อสารอาหารชนิดคาร์บอนลดลงเหลือน้อยและระบบยังอยู่ในภาวะแอโรบิก คือ มีการเติมอากาศ และ ทวีลาภ (2544) กล่าวไว้ว่า ระบบจะต้องมีค่า BOD<sub>5</sub> และ COD ที่ค่อนข้างต่ำ จึงจะทำให้สารประกอบแอมโมเนียมไนโตรเจนดึงออกซิเจนจากปริมาณ dissolved oxygen ให้กลายเป็นสารประกอบไนเตรตได้ดี แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะทำให้สามารถเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ได้มากที่สุด ดังนั้นในกระบวนการ ไนทริฟิเคชัน เมื่อใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 600 ± 50 mg/L pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน พบว่า ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 100 mg/L จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพการเกิดไนเตรตดีที่สุด

ตาราง 3.4 ผลของความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ต่อปริมาณการเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 600 ± 50 mg/L pH เริ่มต้นประมาณ 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน )

ความเข้มข้น BOD <sub>5</sub> เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)			%formation NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -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 3.5 ผลของความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ในกระบวนการ ไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 600 ± 50 mg/L pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน )

### 3.2.2 ผลของความเข้มข้น TKN ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพการเกิดไนเตรต-ไนโตรเจน ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้น TKN ในช่วง 100-1200 mg/L ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพในการเกิดไนโตรเจนในรูปของไนเตรตของ และเพื่อจะเปรียบเทียบดูว่า ผลของความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ที่มีต่อความเข้มข้น TKN จึงทำการทดลอง 2 ชุด คือ เมื่อความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น



300 ± 50 และ 2000 ± 100 mg/L ผลการทดลองแสดงดังตาราง 3.5 ถึงตาราง 3.9 และ ภาพประกอบ 3.6 ถึงภาพประกอบ 3.8

### 3.2.2.1 ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L

การศึกษาผลของความเข้มข้น TKN ในช่วง 100-1200 mg/L ของสารป้อนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L เพื่อกำหนดค่าความเข้มข้น TKN ที่เหมาะสมที่จะให้ประสิทธิภาพในการเกิดไนโตรเจนในรูปของไนเตรตได้ดีที่สุด ในการทดลองได้ปรับค่าความเข้มข้น TKN 5 ค่า คือ 100 ± 50 300 ± 50 600 ± 50 900 ± 50 และ 1200 ± 50 mg/L และน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นมีลักษณะต่างๆ ดังแสดงในตาราง 3.5

ตาราง 3.5 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นในการศึกษาความเข้มข้น TKN ของสารป้อนที่มีความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

การทดลองที่	ความเข้มข้น BOD <sub>5</sub> (mg/L)	pH	ความเข้มข้น จูลินทรีย์ (mg/L)	ความเข้มข้น TKN (mg/L)
1	300 ± 50	7.8 ± 0.2	600	100 ± 50
2	300 ± 50	7.8 ± 0.2	600	300 ± 50
3	300 ± 50	7.8 ± 0.2	600	600 ± 50
4	300 ± 50	7.8 ± 0.2	600	900 ± 50
5	300 ± 50	7.8 ± 0.2	600	1200 ± 50

โดยทำการเติมอากาศตลอดเวลา และจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ pH COD BOD<sub>5</sub> TKN และ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน (ตาราง ข4 ข7 ข8 ข9 และ ข10 ตามลำดับ)

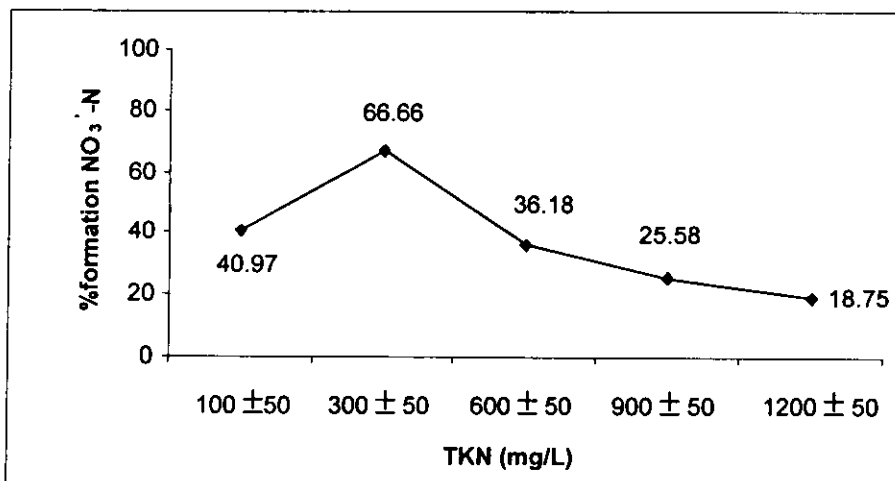
ผลการทดลองจากตาราง 3.6 พบว่า เมื่อความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ปริมาณการเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ในกระบวนการไนทริฟิเคชันลดลงเมื่อความเข้มข้น TKN เพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้น TKN ที่มีค่าเริ่มต้น 100 ± 50 300 ± 50 600 ± 50 900 ± 50 และ 1200 ± 50 mg/L จะมีค่าปริมาณ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เกิดขึ้น เท่ากับ 47.12 224.64 229.72 234.07 และ 231.24 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N จะได้เท่ากับ 40.97 66.66 36.18 25.58 และ 18.75 ตามลำดับดังแสดงในภาพประกอบ 3.6 สรุปได้ว่า ที่ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N มากที่สุด การที่ความเข้มข้น TKN น้อยสามารถเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ได้มาก อาจเนื่องมาจาก NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ไปเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็น NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ซึ่งในน้ำเสียจะมี

ความเข้มข้นจุลินทรีย์เท่ากัน จึงทำให้มีการเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็น  $\text{NO}_3^-$ -N ได้ในปริมาณที่เท่าๆกัน ดังนั้นเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิด  $\text{NO}_3^-$ -N ที่ความเข้มข้น TKN น้อยจึงมีเปอร์เซ็นต์การเกิด  $\text{NO}_3^-$ -N ได้มาก

ดังนั้นในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้น  $\text{BOD}_5$  เริ่มต้น  $300 \pm 50$  mg/L pH เริ่มต้น  $7.8 \pm 0.2$  ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน พบว่า ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น  $300 \pm 50$  mg/L จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพการเกิดไนเตรตดีที่สุด

ตาราง 3.6 ผลของความเข้มข้น TKN ต่อปริมาณการเกิด  $\text{NO}_3^-$ -N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น  $\text{BOD}_5$  เริ่มต้น  $300 \pm 50$  mg/L pH เริ่มต้น  $7.8 \pm 0.2$  ความเข้มข้น จุลินทรีย์ 600 mg/L และ ระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน

ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น (mg/L)	$\text{NO}_3^-$ -N (mg/L)			% formation $\text{NO}_3^-$ -N
	influent	effluent	ปริมาณการเกิด	
$100 \pm 50$	0.14	47.26	47.12	40.97
$300 \pm 50$	1.14	225.78	224.64	66.66
$600 \pm 50$	0.22	229.94	229.72	36.18
$900 \pm 50$	1.11	235.18	234.07	25.58
$1200 \pm 50$	0.8	232.04	231.24	18.75



ภาพประกอบ 3.6 ผลของความเข้มข้น TKN ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด  $\text{NO}_3^-$ -N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น  $\text{BOD}_5$  เริ่มต้น  $300 \pm 50$  mg/L pH เริ่มต้น  $7.8 \pm 0.2$  ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน )

### 3.2.2.2 ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้นประมาณ 2000 mg/L

การศึกษาผลของความเข้มข้น TKN ในช่วง 100-1200 mg/L ของสารป้อนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L เพื่อดูค่าความเข้มข้น TKN ที่เหมาะสมให้ค่าประสิทธิภาพในการเกิดไนโตรเจนในรูปของไนเตรตได้ดีที่สุด ในการทดลองได้ปรับค่าความเข้มข้น TKN 5 ค่า คือ 100 ± 50 300 ± 50 600 ± 50 900 ± 50 และ 1200 ± 50 mg/L เช่นเดียวกับกรณีที่ศึกษาในช่วงความเข้มข้น BOD 300 ± 50 mg/L ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นมีลักษณะ ดังแสดงใน ตาราง 3.7

ตาราง 3.7 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นเมื่อทำการศึกษาความเข้มข้น TKN ของสารป้อนที่มีความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

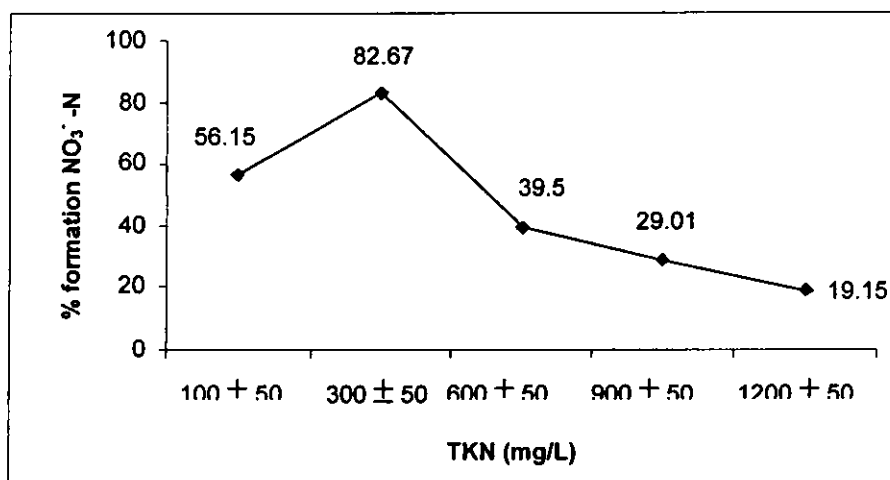
การทดลองที่	ความเข้มข้น BOD <sub>5</sub> (mg/L)	pH	ความเข้มข้น จุลินทรีย์ (mg/L)	ความเข้มข้น TKN (mg/L)
1	2000 ± 100	7.8 ± 0.2	600	100 ± 50
2	2000 ± 100	7.8 ± 0.2	600	300 ± 50
3	2000 ± 100	7.8 ± 0.2	600	600 ± 50
4	2000 ± 100	7.8 ± 0.2	600	900 ± 50
5	2000 ± 100	7.8 ± 0.2	600	1200 ± 50

โดยทำการเติมอากาศตลอดเวลา และจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ pH COD BOD<sub>5</sub> TKN และ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ทุกวัน เป็นระยะเวลา 12 วัน (ภาคผนวก ข. ตาราง ข5 ข11 ข12 ข13 และ ข14 ตามลำดับ)

ตาราง 3.8 แสดงผลการทดลองของกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L ที่ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 100 ± 50 300 ± 50 600 ± 50 900 ± 50 และ 1200 ± 50 mg/L จะมีค่าปริมาณ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เกิดขึ้น เท่ากับ 60.64 260.40 252.03 264.00 และ 233.41 mg/L ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N จะได้เท่ากับ 56.15 82.67 39.50 29.01 และ 19.15 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 3.7 ซึ่งที่ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N มากที่สุด เช่นเดียวกับในกรณีที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน

ตาราง 3.8 ผลของความเข้มข้น TKN ต่อปริมาณการเกิด  $\text{NO}_3^-$ -N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น  $\text{BOD}_5$  เริ่มต้น  $2000 \pm 100$  mg/L , pH เริ่มต้น  $7.8 \pm 0.2$  ความเข้มข้น จุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 12 วัน)

ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น (mg/L)	$\text{NO}_3^-$ -N (mg/L)			% formation $\text{NO}_3^-$ -N
	influent	effluent	ปริมาณการเกิด	
$100 \pm 50$	1.09	61.73	60.64	56.15
$300 \pm 50$	0.43	260.83	260.40	82.67
$600 \pm 50$	0.16	252.19	252.03	39.50
$900 \pm 50$	1.18	265.18	264.00	29.01
$1200 \pm 50$	0.72	234.13	233.41	19.15



ภาพประกอบ 3.7 ผลของความเข้มข้น TKN ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด  $\text{NO}_3^-$ -N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น  $\text{BOD}_5$  เริ่มต้น  $2000 \pm 100$  mg/L pH เริ่มต้น  $7.8 \pm 0.2$  ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และ ระยะเวลาในการเติมอากาศ 12 วัน)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองของความเข้มข้น TKN ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพการเกิด  $\text{NO}_3^-$ -N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน ที่ความเข้มข้น  $\text{BOD}_5$  เริ่มต้น  $300 \pm 50$  และ  $2000 \pm 100$

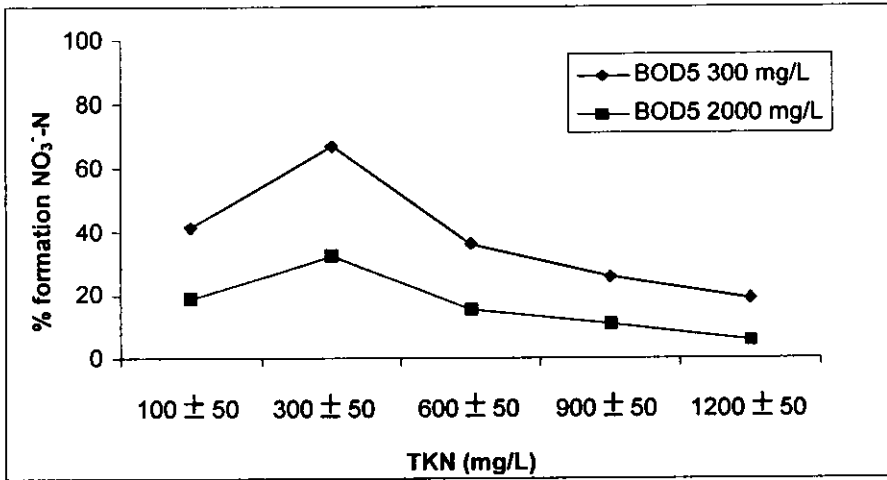
mg/L โดยจะทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลาการเติมอากาศเท่ากันเท่ากับ 7 วัน เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ได้มีค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ต่ำกว่าค่ากำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 mg/L จึงได้เลือกระยะเวลาเติมอากาศ 7 วันมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ในกระบวนการไนทริฟิเคชันเพื่อหาความเข้มข้น TKN ของสารป้อนที่เหมาะสม (ผลการทดลองของความเข้มข้น TKN ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพการเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ที่ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L คือ ภาคผนวก ข. ตาราง ข4 ข7 ข8 ข9 และ ข10 และ ที่ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L คือ ภาคผนวก ค. ตาราง ข5 ข11 ข12 ข13 และ ข14 )

พบว่า ที่ความเข้มข้น TKN เริ่มต้นประมาณ 300 ± 50 mg/L จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ที่มากที่สุดสำหรับทั้งกรณี ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 50 และ 2000 ± 100 mg/L เท่ากับ 66.66 และ 32.81 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 3.9 ดังนั้น ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จึงเป็นความเข้มข้น TKN ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการไนทริฟิเคชัน และที่ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L เมื่อระยะเวลาการเติมอากาศ 7 วัน และจากภาพประกอบ 3.8 พบว่า ที่ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N มากกว่าที่ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 2000 ± 100 mg/L เนื่องจากว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันจะเกิดขึ้น เมื่อสารอาหารชนิดคาร์บอนลดลงเหลือน้อยและระบบยังอยู่ในภาวะแอโรบิก คือ มีการเติมอากาศ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ , 2544)

จึงสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ คือที่ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> 300 ± 50 mg/L และ ระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน

ตาราง 3.9 ผลของความเข้มข้น TKN ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ที่ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้นต่างๆ ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน ( pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และ ระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน

ความเข้มข้น TKN เริ่ม ต้นประมาณ (mg/L)	% formation NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	
	BOD <sub>5</sub> (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 3.8 ผลของความเข้มข้น TKN ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub>-N ที่ BOD<sub>5</sub> เริ่มต้นต่างๆ ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (pH เริ่มต้น 7.8 ± 0.2 ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน )

จากผลการทดลองในกระบวนการไนทริฟิเคชัน ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการกำจัดไนโตรเจนโดยวิธีทางชีวภาพ พบว่า ที่ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้นไม่สูงมาก จะมีประสิทธิภาพในการเกิด NO<sub>3</sub>-N ได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นสูงๆ แต่น้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานส่วนมากจะมีความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> สูง ดังนั้น ในช่วงแรกของระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งมีความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> สูง จะต้องมีการกำจัดความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ก่อน โดยใช้ระบบที่เหมาะสมของโรงงานเช่น อาจจะใช้ระบบไร้อากาศ (anaerobic) เนื่องจากระบบนี้จะสามารถกำจัด BOD<sub>5</sub> ได้ค่อนข้างดีและประหยัดค่าใช้จ่าย แต่จะมีข้อเสียที่จะต้องใช้ระยะเวลานาน จึงเหมาะสำหรับ กรณีที่มีพื้นที่รองรับมาก และที่ตั้งของโรงงานอยู่ห่างไกลจากชุมชนเพื่อป้องกันปัญหากลิ่นรบกวน หรือในบางโรงงานอาจใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบมีอากาศ เช่น ระบบบ่อเติมอากาศ หรือระบบตะกอนเร่ง หลังจากกำจัด BOD<sub>5</sub> ให้มีค่าในระดับที่เหมาะสมคือประมาณ 300 mg/L แล้วจึงเริ่มปรับให้ระบบเป็นกระบวนการไนทริฟิเคชัน ได้ผลผลิตเป็นไนเตรต และกำจัดไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ตามลำดับ ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการไนทริฟิเคชันจึงเหมาะที่จะควบคุมให้มีการกำจัดไนโตรเจนในช่วงปลายของระบบบำบัดน้ำเสีย

### 3.2.3 ผลของ pH ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพการเกิดไนเตรต-ไนโตรเจนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของ pH 4 ค่า คือ  $2.7 \pm 0.2$   $6.5 \pm 0.2$   $8.0 \pm 0.2$  และ  $10.0 \pm 0.2$  ของสารป้อนต่อประสิทธิภาพของกระบวนการไนทริฟิเคชัน โดยน้ำที่เข้าระบบเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าตัวแปรอื่นๆ ที่ทำให้กระบวนการไนทริฟิเคชันเกิดได้ดีที่สุด คือ มีค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub>  $300 \pm 50$  mg/L ความเข้มข้น TKN  $300 \pm 50$  mg/L ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L ลักษณะสมบัติของน้ำเข้าระบบดังแสดงในตาราง 3.10

ตาราง 3.10 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นเมื่อทำการศึกษาค่า pH ของสารป้อนในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

การทดลองที่	ความเข้มข้น BOD <sub>5</sub> (mg/L)	ความเข้มข้น TKN (mg/L)	ความเข้มข้น จุลินทรีย์ (mg/L)	pH
1	316	310	600	$2.7 \pm 0.2$
2	318	310	600	$6.5 \pm 0.2$
3	334	365	600	$8.0 \pm 0.2$
4	340	351	600	$10.0 \pm 0.2$

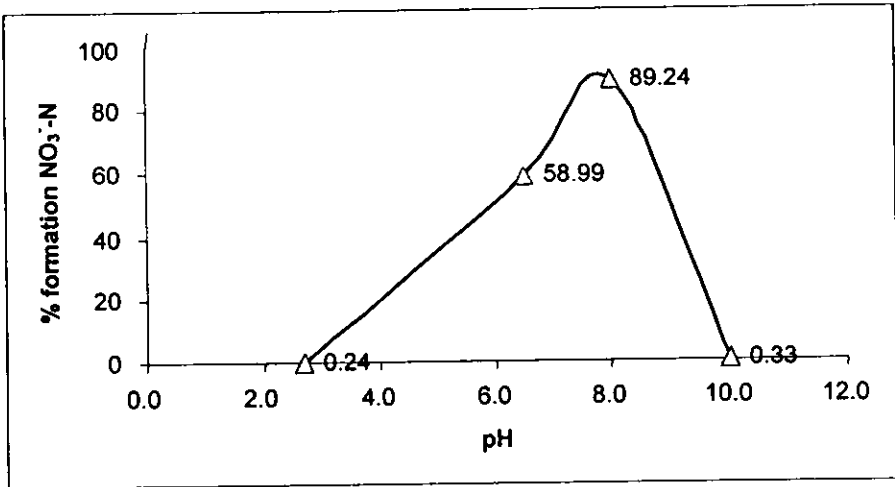
โดยทำการเติมอากาศตลอดเวลา และทุก 24 ชั่วโมงจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ pH COD BOD<sub>5</sub> TKN และ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เป็นระยะเวลา 7 วัน (ผลการทดลองที่ค่า pH  $2.7 \pm 0.2$   $6.5 \pm 0.2$   $8.0 \pm 0.2$  และ  $10.0 \pm 0.2$  อยู่ในภาคผนวก ข. ตาราง ข15 ข16 ข17 และ ข18 ตามลำดับ)

จากตาราง 3.11 ปริมาณ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เกิดขึ้น เท่ากับ 0.78 182.86 325.76 และ 1.17 mg/L ที่ pH เริ่มต้น  $2.7 \pm 0.2$   $6.5 \pm 0.2$   $8.0 \pm 0.2$  และ  $10.0 \pm 0.2$  ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การเกิดไนเตรดที่แสดงในภาพประกอบ 3.9 จะเท่ากับ 0.24 58.99 89.24 และ 0.33 ตามลำดับ แสดงว่าที่ pH เท่ากับ  $8.0 \pm 0.2$  จะมีเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-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

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

ตาราง 3.11 ผลของ pH ต่อปริมาณการเกิด  $\text{NO}_3^-$ -N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น  $\text{BOD}_5$  เริ่มต้น  $300 \pm 50$  mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น  $300 \pm 50$  mg/L ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และ ระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน)

pH เริ่มต้น	ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น (mg/L)	$\text{NO}_3^-$ -N (mg/L)			%formation $\text{NO}_3^-$ -N
		influent	effluent	ปริมาณการเกิด	
$2.7 \pm 0.2$	320	28.95	29.73	0.78	0.24
$6.5 \pm 0.2$	310	35.68	218.54	182.86	58.99
$8.0 \pm 0.2$	365	28.34	354.1	325.76	89.24
$10.0 \pm 0.2$	351	28.95	30.12	1.17	0.33



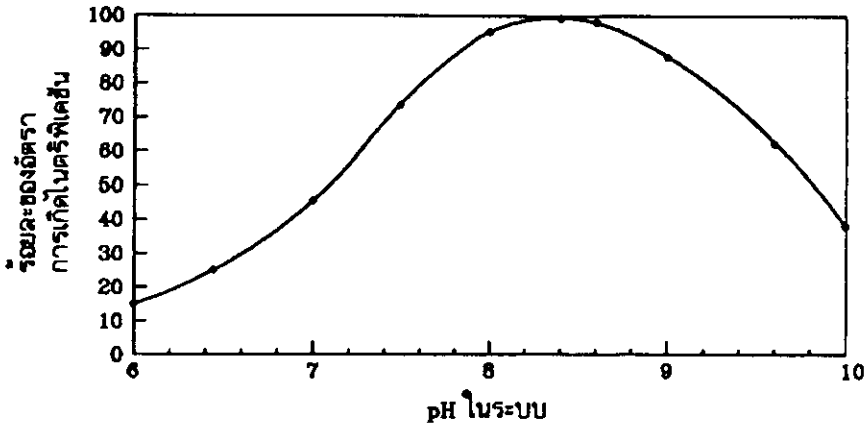
ภาพประกอบ 3.9 ผลของ pH ต่อเปอร์เซ็นต์การเกิด  $\text{NO}_3^-$ -N ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น  $\text{BOD}_5$  เริ่มต้น  $300 \pm 50$  mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น  $300 \pm 50$  mg/L ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 600 mg/L และ ระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน)

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

$$\mu'_{N,m} = \mu_N [1 - 0.833(7.2 - pH)]$$

ดังแสดงในภาพประกอบ 3.10

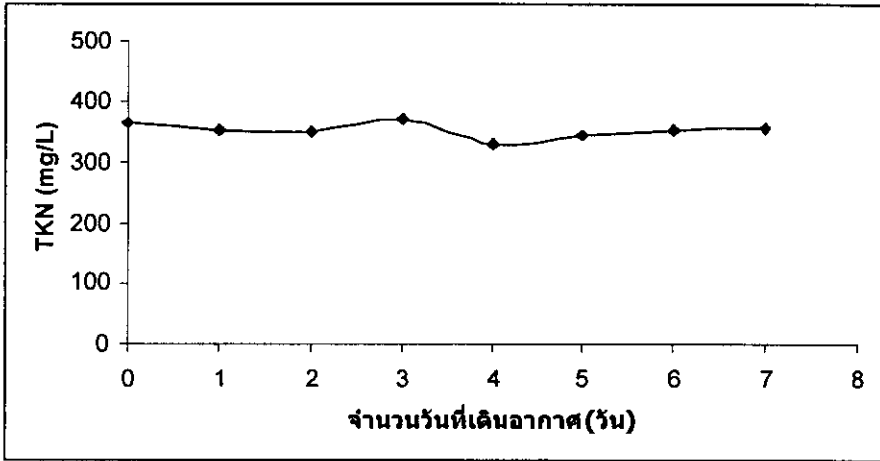




ภาพประกอบ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดไนตริกเคชั่นกับ pH ในระบบบำบัดแบบ  
แวนลอย

ที่มา : เกียรติศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2543 : 451

จากการทดลองผลของตัวแปรต่างๆเช่น ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub>, ความเข้มข้น TKN pH ความเข้มข้นจุลินทรีย์ และระยะเวลาการเติมอากาศ ต่อประสิทธิภาพการเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ในกระบวนการไนตริกเคชั่น พบว่าสภาวะที่ทำให้เกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ได้ดีที่สุด คือ ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> 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 ดังแสดงในภาพประกอบ 3.11 ถึง ภาพประกอบ 3.15 (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข. ตาราง ข18)



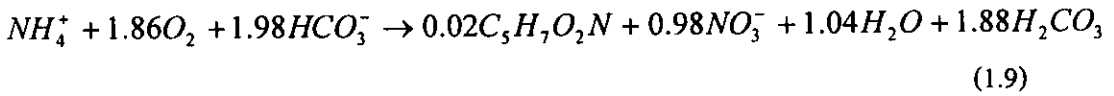
ภาพประกอบ 3.11 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ TKN ของกระบวนการไนตริกเคชั่น  
(ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 300±50  
mg/L pH เริ่มต้น 8.0 ± 0.2 และความเข้มข้นของจุลินทรีย์ 600 mg/L)

ก. TKN

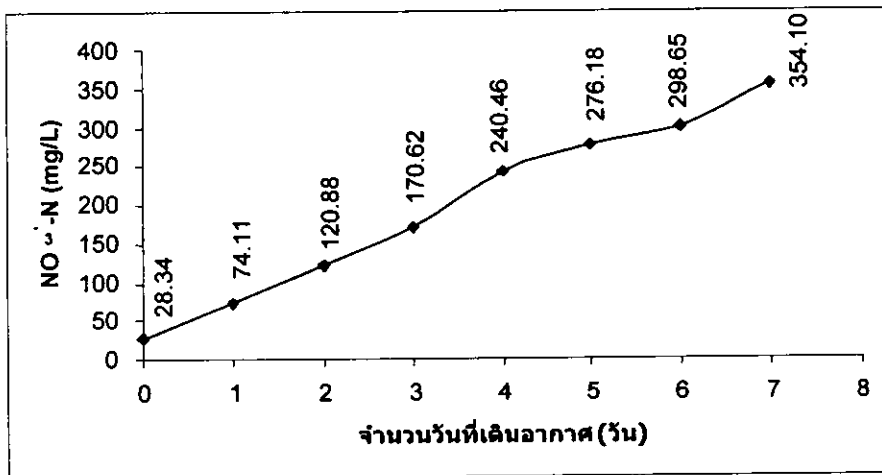
จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อผ่านกระบวนการไนทริฟิเคชัน 7 วัน ปริมาณ TKN ก่อนข้างคองที่ ดังภาพประกอบ 3.11 เนื่องจากในขั้นตอนนี้สารประกอบไนโตรเจน เปลี่ยนจากแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตเท่านั้น ส่วนการกำจัดไนโตรเจน ต้องผ่านอีกหนึ่งขั้นตอนคือ กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนไนเตรตไปเป็นก๊าซไนโตรเจน

ข.  $\text{NO}_3^-$ -N

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน ปริมาณ  $\text{NO}_3^-$ -N จะเพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 3.12 เนื่องจากว่า ในกระบวนการไนทริฟิเคชันจะมีการเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเตรต ดังสมการ (1.9)



ซึ่งจากสมการก็จะเห็นว่า เมื่อมีการเติมอากาศออกซิเจนก็จะทำหน้าที่เป็น ตัวออกซิไดซ์หรือเป็นตัวรับอิเล็กตรอนของแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็นไนเตรต ดังนั้น ในกระบวนการ ไนทริฟิเคชัน จึงมีปริมาณไนเตรตเพิ่มขึ้น

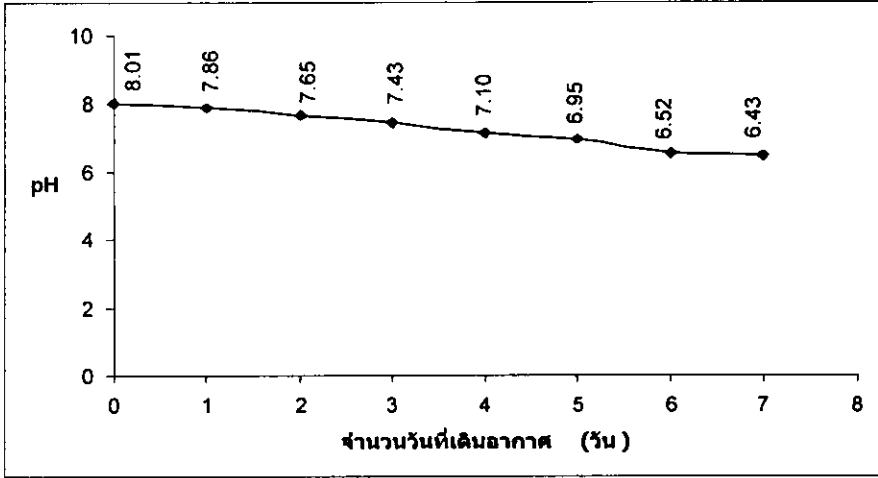


ภาพประกอบ 3.12 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ  $\text{NO}_3^-$ -N ของกระบวนการไนทริฟิเคชัน (ความเข้มข้น  $\text{BOD}_5$  เริ่มต้น  $300 \pm 50$  mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น  $300 \pm 50$  mg/L pH เริ่มต้น  $8.0 \pm 0.2$  และความเข้มข้นของจุลินทรีย์ 600 mg/L)

ค. pH

จากผลการทดลอง พบว่า pH จะลดลง ตามระยะเวลาในการเติมอากาศ ดังภาพประกอบ

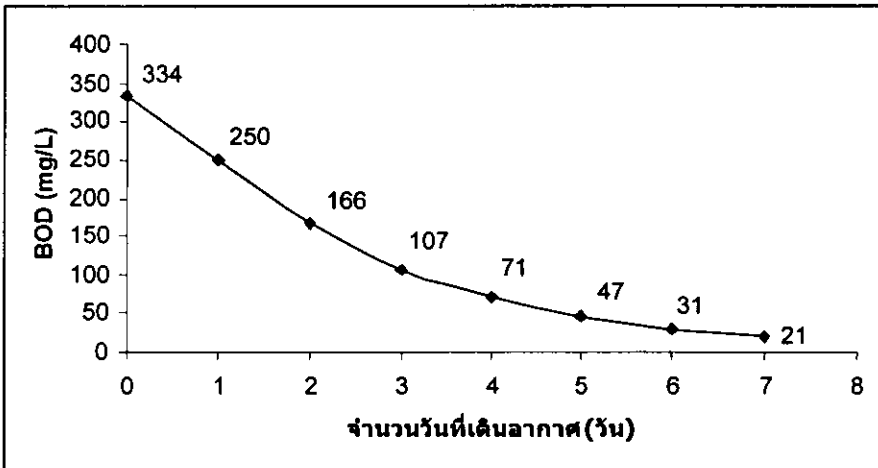
3.13 เนื่องจากว่าในปฏิกิริยาไนทริฟิเคชันจะมีการปล่อยไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ออกมา ซึ่ง  $H^+$  นี้จะไปทำลายสภาพด่างให้หายไป จึงทำให้ pH ลดลง



ภาพประกอบ 3.13 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)

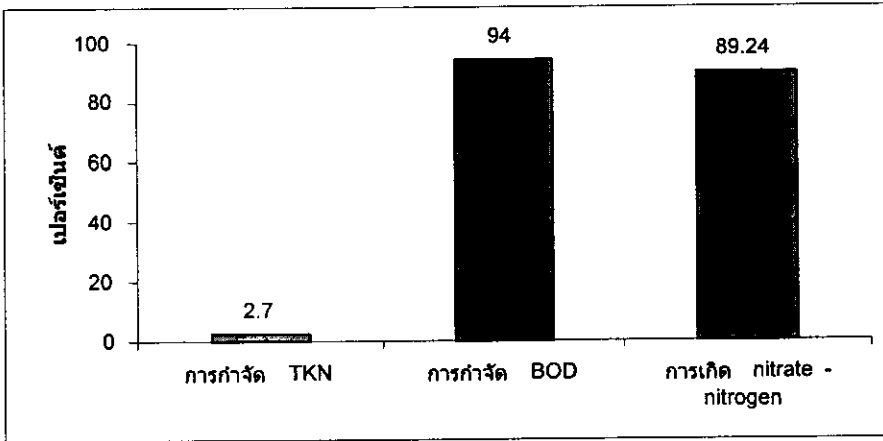
#### ง. $BOD_5$

จากผลการทดลอง พบว่า ความเข้มข้น  $BOD_5$  จะลดลง ดังภาพประกอบ 3.14 เนื่องจากว่าจุลินทรีย์ชนิดออกซิโดทรอโฟอกซิไดซ์  $NH_4^+$  ไปเป็น  $NO_2^-$  และ  $NO_3^-$  ภายใต้ภาวะแอโรบิกนั้นจะได้พลังงานออกมาด้วย ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้พลังงานที่ได้นี้ไปดึงเอา  $CO_2$  หรือ  $HCO_3^-$  หรือ  $CO_3^{2-}$  มาเป็นแหล่งคาร์บอนต่อไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการไนทริฟิเคชันจะมีการกำจัด  $BOD_5$  ด้วย



ภาพประกอบ 3.14 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ  $BOD_5$  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)

และเมื่อมาพิจารณาคุณภาพเปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD TKN และ เปอร์เซนต์การเกิด  $\text{NO}_3^-$ -N ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน พบว่า เมื่อกระบวนการไนตริฟิเคชันมีการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD 94% ประสิทธิภาพการกำจัด TKN 2.7% และประสิทธิภาพการเกิด  $\text{NO}_3^-$ -N 89.24 % ดังภาพประกอบ 3.15



ภาพประกอบ 3.15 ผลของเปอร์เซ็นต์การกำจัด TKN , BOD<sub>5</sub> และการเกิด  $\text{NO}_3^-$ -N ของกระบวนการไนตริฟิเคชัน (ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> 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)

แต่เนื่องจากว่าไนเตรดเป็นผลผลิตจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ที่เป็นสารอาหารของพืชน้ำ ทำให้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว พืชน้ำเหล่านี้จะปกคลุมบนผิวน้ำบดบังแสงอาทิตย์ไม่ให้ลงสู่ใต้ผิวน้ำ ทำให้ออกซิเจนในน้ำถูกนำมาใช้ และ ไม่มีทดแทน เป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำเสียเกิดขึ้น (เพริศพิชญ์ คณาธรรณา, 2529 หลังกระบวนการไนตริฟิเคชันจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะเปลี่ยนไนเตรดให้เป็นก๊าซไนโตรเจน

### 3.3 ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันของ ขั้นตอนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ

ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน ที่ได้ไนเตรดเป็นผลิตภัณฑ์ ยังไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ เนื่องจากว่า เป็นแค่เพียงการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนให้มาอยู่ในรูปของไนเตรดไนโตรเจนเท่านั้น

กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เป็นกระบวนการ ทางชีวภาพ ที่จะเปลี่ยนไนเตรดไนโตรเจนไปอยู่ในรูปไนไทรด์และกลายเป็นก๊าซไนโตรเจน กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้โดยแบคทีเรียที่สามารถใช้

ไนเตรดเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจได้ โดยไนเตรดจะถูกใช้แทนออกซิเจนในกระบวนการหายใจของแบคทีเรียในสภาวะแอน็อกซิก (anoxic)

จากการศึกษากลไกของกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน พบว่าคาร์บอนเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลมากสำหรับการทำงานของชั้นตอนนี้ เพราะน้ำเสียที่จะเข้าสู่ชั้นตอนนี้หลังจากกระบวนการไนทริฟิเคชันมักมีค่า BOD ต่ำ และมักเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก จึงอาจต้องมีการเติมแหล่งคาร์บอนใหม่จึงจะสามารถทำให้กระบวนการดีไนทริฟิเคชันเกิดได้ดี และได้ศึกษาอัตราส่วนซีโอดีต่อไนเตรดในโตรเจน เพราะเป็นตัวแปรที่สำคัญของกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ซึ่งการทดลองในส่วนนี้ ชั้นตอนแรกเมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์มาใส่ในปฏิกรณ์จะทำการเติมอากาศ เพื่อให้เกิดกระบวนการไนทริฟิเคชันที่เปลี่ยนแอมโมเนียมในโตรเจนไปเป็นไนเตรด หลังจากนั้นจะหยุดเติมอากาศ เพื่อให้เกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ที่เป็นการเปลี่ยนไนเตรดให้เป็นก๊าซไนโตรเจน

จากการทดลองในกระบวนการไนทริฟิเคชันได้เลือกสภาวะที่ทำให้เกิด  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  ได้ดีที่สุด คือ ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ความเข้มข้น TKN และ pH เริ่มต้น  $300 \pm 50$  mg/L  $300 \pm 50$  mg/L และ  $8.0 \pm 0.2$  ตามลำดับ เป็นระยะเวลาเติมอากาศ 7 วัน แล้วจะหยุดเติมอากาศโดยปิดตัวเติมอากาศ เพื่อทดลองในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันต่อไป

### 3.3.1 ผลของการไม่เติมคาร์บอนและการเติมคาร์บอนจากเมทานอลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

หลังจากกระบวนการไนทริฟิเคชันเป็นเวลา 7 วัน ปริมาณสารอินทรีย์มีน้อย โดยที่น้ำที่ได้มีค่า BOD ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนไนเตรดเป็นก๊าซไนโตรเจน โดยต้องเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่ต้องมีการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ในเตรดเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งจะเกิดการลดรูปของไนเตรดเป็นไนโตรเจนการทดลองส่วนนี้จะทำการทดลองเพื่อศึกษา ผลการเติมคาร์บอนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน การศึกษาแบ่งเป็น 2 ชุด ซึ่งชุดแรกเป็นกระบวนการดีไนทริฟิเคชันที่ไม่มีการเติมคาร์บอน และ ชุดที่สองเป็นกระบวนการดีไนทริฟิเคชันที่มีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล ซึ่งลักษณะ น้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นของการทดลองทั้ง 2 ชุด แสดงในตาราง 3.12 ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นนี้จะได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิด  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  ได้ดีที่สุด ในกระบวนการไนทริฟิเคชันจากผลการทดลองที่ผ่านมา

ตาราง 3.12 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นเมื่อทำการศึกษาผลของการไม่เติมคาร์บอนและการเติมคาร์บอนจากเมทานอลในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

	ความเข้มข้น BOD <sub>5</sub> เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น (mg/L)	pH	ความเข้มข้น จุลินทรีย์เริ่มต้น (mg/L)
ไม่เติมคาร์บอน	300 ± 50	300 ± 50	8.0 ± 0.2	600
เติมคาร์บอน	300 ± 50	300 ± 50	8.0 ± 0.2	600

ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยจะนำน้ำเสียสังเคราะห์ไปเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน 2 ชุด โดยจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทุกวัน(ผลการทดลองดังตาราง ข 19A สำหรับไม่มีการเติมคาร์บอนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน และ ตาราง ข 20A สำหรับมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอลในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน) เมื่อทำการเติมอากาศครบ 7 วันแล้วลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ ดังตาราง 3.13

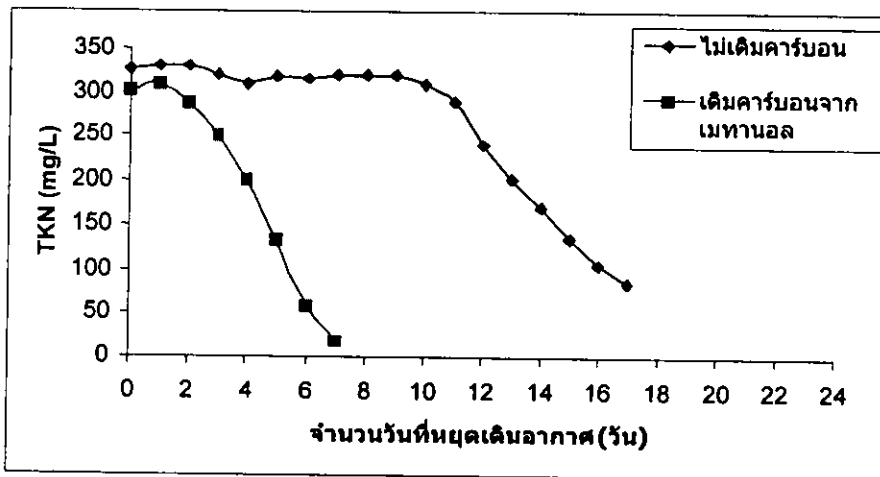
ตาราง 3.13 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อมีการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วันในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน เพื่อทำการศึกษาผลของการไม่เติมคาร์บอนและการเติมคาร์บอนจากเมทานอลในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

	ความเข้มข้น BOD <sub>5</sub> (mg/L)	ความเข้มข้น TKN (mg/L)	pH	ความเข้มข้น COD (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/L)
ไม่เติมคาร์บอน	18	326	6.13	21	306.66
เติมคาร์บอนจาก เมทานอล	17	302	6.22	25	257.07

หลังจากกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน 7 วัน จะทำการหยุดเติมอากาศ ดังปฏิกรณ์แรกจะไม่ต้องเติมคาร์บอน ซึ่งจะนำน้ำเสียสังเคราะห์นั้นไปทำการทดลองต่อได้ทันที ส่วนปฏิกรณ์ที่สองจะมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล โดยการเติมเมทานอล (CH<sub>3</sub>OH) 10 mL ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมาแล้วจนมีปริมาตรเหลืออยู่ประมาณ 35 L เพื่อให้ได้ COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 3.8 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่จะทำให้กระบวนการ ดีไนทริฟิเคชันเกิดได้ดี จะได้ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ความเข้มข้น COD 1090 mg/L ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> 791 mg/L ความเข้มข้น TKN 302 mg/L และ pH 6.52 โดยทั้งสองปฏิกรณ์นี้จะทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทุกวัน จนกว่าจะได้ค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> และความเข้มข้น TKN ค่า

กว่าค่ากำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 และ 100 mg/L ตามลำดับ (ผลการทดลองดังตาราง ข 19B สำหรับกรณีที่ไม่มีการเติมคาร์บอนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน และ ตาราง ข 20B สำหรับกรณีที่มีการเติมคาร์บอนจากเมทานอลในกระบวนการ ดีไนทริฟิเคชัน)

จากผลการทดลองของการไม่เติมคาร์บอนและการเติมคาร์บอนจากเมทานอลในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TKN และ ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังจากกระบวนการไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ที่กำหนดความเข้มข้น TKN ต่ำกว่า 100 mg/L และ ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ต่ำกว่า 20 mg/L พบว่า ในกรณีที่ไม่มีการเติมคาร์บอนจะใช้เวลาในการหยุดเติมอากาศเพื่อกำจัดไนโตรเจน (TKN) มากกว่ากรณีที่มีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล โดย กรณีที่ไม่มีการเติมคาร์บอน และ กรณีที่มีการเติมคาร์บอนจากเมทานอลจะใช้เวลาในการกำจัดไนโตรเจน เท่ากับ 17 และ 7 วัน ตามลำดับ หลังจากหยุดเติมอากาศ ดังภาพประกอบ 3.16

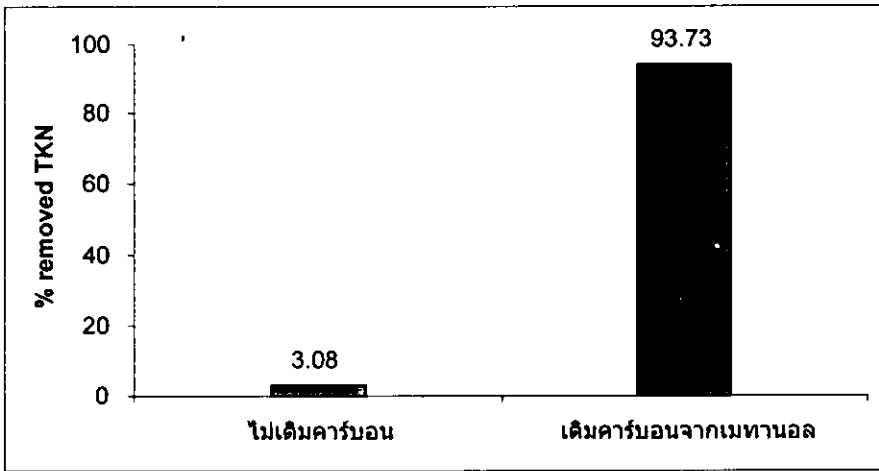


ภาพประกอบ 3.16 ผลของการไม่เติมคาร์บอนและเติมคาร์บอนจากเมทานอลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TKN ที่ระยะเวลาต่างๆ ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

และจากผลการทดลองของการไม่เติมคาร์บอนและการเติมคาร์บอนจากเมทานอลในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัด TKN เมื่อใช้เวลาในการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพรวม 14 วันเท่ากัน คือกระบวนการไนทริฟิเคชัน(เติมอากาศ) เป็นระยะเวลา 7 วัน และ กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (หยุดเติมอากาศ) เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจน เมื่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชันไม่มีการเติมคาร์บอนและมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล เท่ากับ 3.08 และ 93.73 ตามลำดับ ดังตาราง 3.14 และภาพประกอบ 3.17

ตาราง 3.14 ผลของการไม่เติมคาร์บอนและเติมคาร์บอนจากเมทานอลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน เป็นระยะเวลา 14 วัน

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



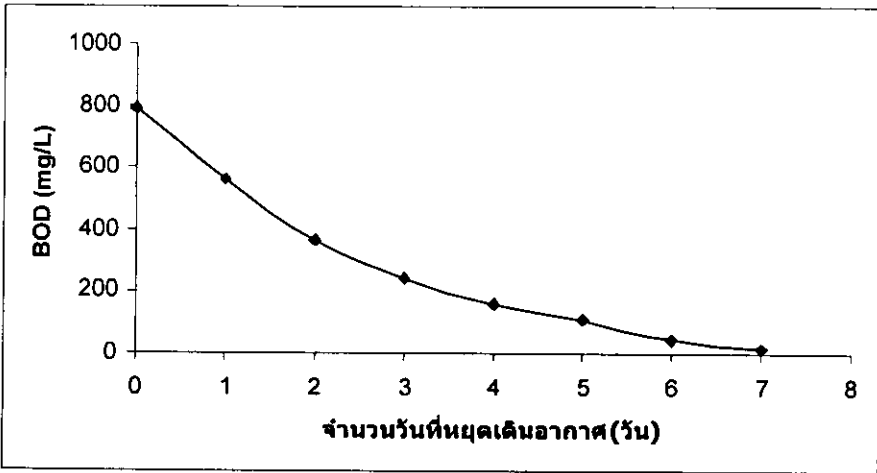
ภาพประกอบ 3.17 ผลของการไม่เติมคาร์บอนและเติมคาร์บอนจากเมทานอลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน เป็นระยะเวลา 14 วัน

เนื่องจากในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน จุลินทรีย์ดีไนทริฟายเป็นได้ทั้งแบบ เฮเทอโรทรอปและ ออโตทรอป แต่เฮเทอโรทรอปมีบทบาทมากกว่าออโตทรอปอย่างมาก ซึ่ง จุลินทรีย์แบบเฮเทอโรทรอปนี้ต้องการสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ในเทรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมอินทรีย์คาร์บอนเข้าสู่ระบบด้วย จากภาพประกอบ 1.2 (บทที่ 1) จะเห็นได้ว่า ต้องมีการใช้อินทรีย์คาร์บอนในการลดรูปของไนโตรเจนทุกขั้นตอน ตั้งแต่ไนเทรต ( $\text{NO}_3$ ) ไปเป็นไนไตรต์ ( $\text{NO}_2$ ) ก๊าซไนตริกออกไซด์ ( $\text{NO}$ ) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ไปจนถึงก๊าซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ว่า เมื่อมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอน ก็จะสามารถกำจัดไนโตรเจนได้ดีกว่าไม่มีการเติมคาร์บอน ดังนั้น ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน จะต้องมีการเติมคาร์บอนหลังจากเกิดกระบวนการไนทริฟิเคชัน



Bernet *et al.*, (1999) และ Demuynek *et al.*, (1994) กล่าวว่า กรณีที่มี COD/TKN ค่าจะทำให้เกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันไม่สมบูรณ์ จึงต้องมีการเติมคาร์บอนจากภายนอกเป็นการเพิ่ม COD เข้าไประหว่างช่วงแอน็อกซิก จะทำให้การกำจัดไนโตรเจนเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

ส่วนการเติมคาร์บอนเข้าไปในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ก็จะทำให้ค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> มีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อติดตามค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ในระหว่างกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน พบว่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> จะลดลงเรื่อยๆ และเมื่อหยุดเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน ค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 15 mg/L (ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 mg/L) ดังภาพประกอบ 3.18 และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัด BOD<sub>5</sub> ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน จะได้ถึง 98 % ซึ่งถือว่าระบบมีประสิทธิภาพกำจัด BOD<sub>5</sub> สูง ดังนั้น การเติมคาร์บอนเพิ่มเข้าไปในระบบหลังจากหยุดเติมของกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน อากาศก็ไม่ส่งผลต่อค่า BOD<sub>5</sub> สุดท้าย



ภาพประกอบ 3.18 ผลของระยะเวลาการหยุดเติมอากาศต่อปริมาณ BOD<sub>5</sub> ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล

### 3.3.2 ผลของการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

จากการทดลองในหัวข้อ 3.3.1 พบว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน จะต้องมีการเติมคาร์บอน (จากเมทานอล) จึงจะทำให้ได้ประสิทธิภาพดี คือ สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ดี โดยที่คาร์บอนจากเมทานอลนั้นจะย่อยสลายได้ง่าย แต่เนื่องจากเป็นแหล่งสารคาร์บอนที่มีค่าใช้จ่าย ในการทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเป็นน้ำเสียตั้งต้น และได้ทำการศึกษาหาอัตราส่วน COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ที่เหมาะสมที่จะทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนได้ดีที่สุด โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าอัตราส่วน COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N จะเป็นตัวแปรที่สำคัญของกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยทฤษฎีแล้วอัตราส่วนซีโอดีต่อไนเตรด-ไนโตรเจน เท่ากับ 5-10 แต่ในทางปฏิบัติแล้วอัตราส่วนซีโอดีต่อไนเตรด-ไนโตรเจน เท่ากับ 3-7 และหากว่า

อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน-ไนโตรเจนต่ำ จะทำให้เกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันไม่สมบูรณ์ โดยจะเกิดเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ ( $N_2O$ ) ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ ก๊าซไนตรัสออกไซด์นี้ถือว่าเป็นก๊าซพิษที่สำคัญในส่วนของก๊าซเรือนกระจก (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาอัตราส่วน  $COD/NO_3^-N$  ในช่วง 1.5-10.0 โดยทำการทดลอง 4 ค่า คือ 1.5 3.8 6.0 และ 10.0 โดยเป็นการทดลองที่สภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิด  $NO_3^-N$  ได้ดีที่สุดในกระบวนการไนทริฟิเคชันที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา มีลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นดังแสดงในตาราง 3.15

ตาราง 3.15 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	$300 \pm 50$	$300 \pm 50$	$8.0 \pm 0.2$	600
3.8	$300 \pm 50$	$300 \pm 50$	$8.0 \pm 0.2$	600
6.0	$300 \pm 50$	$300 \pm 50$	$8.0 \pm 0.2$	600
10.0	$300 \pm 50$	$300 \pm 50$	$8.0 \pm 0.2$	600

การทดลองเริ่มด้วยกระบวนการไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทุกวัน (ผลการทดลอง สำหรับเมื่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่  $COD/NO_3^-N$  เท่ากับ 1.5 3.8 6.0 และ 10.0 ดังตาราง ข21A ข22A ข23A และ ข24A ตามลำดับ) ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ ดังตาราง 3.16

ตาราง 3.16 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

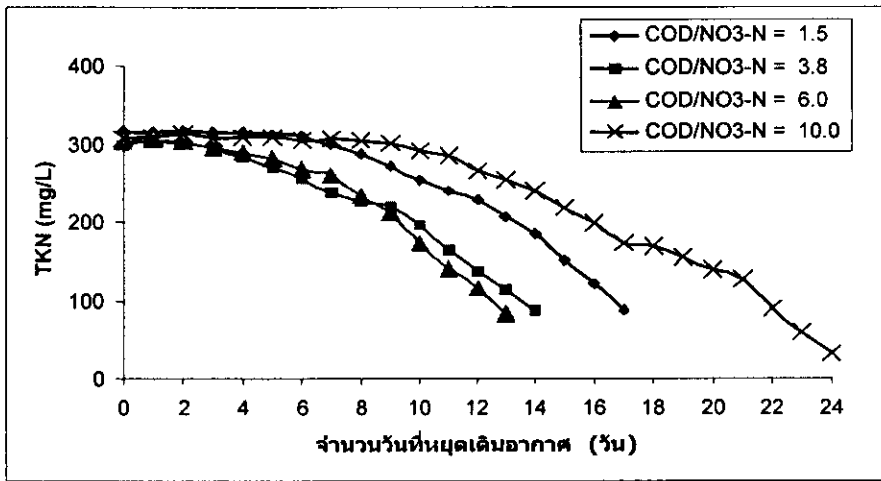
หลังจากนั้นก็เป็นการคำนวณการดีไนทริฟิเคชัน โดยจะทำการหาค่า COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เปรียบเทียบค่าที่ผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมาแล้วจนมี ปริมาตรเหลืออยู่ประมาณ 35 L เพื่อให้ได้ COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 1.5 3.8 6.5 และ 10.0 ซึ่ง ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในตาราง 3.17

ตาราง 3.17 ลักษณะสมบัติน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน เมื่อมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์เป็นแหล่งคาร์บอนให้ได้ค่า COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ต่างๆ

COD/ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	น้ำเสียสังเคราะห์ที่เป็นแหล่งคาร์บอน		น้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน			
	COD (mg/L)	ปริมาตร (L)	COD (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (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

โดยจะทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทุก 24 ชั่วโมง จนกว่าจะได้ค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> และความเข้มข้น TKN ต่ำกว่าค่ากำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 และ 100 mg/L ตามลำดับ (ผลการทดลองสำหรับเมื่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 1.5 3.8 6.0 และ 10.0 ดังตาราง ข 21B ข 22B ข 23B และ ข24B ตามลำดับ)

จากผลการทดลองของระยะเวลาที่หาค่า COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ต่างๆ ในกระบวนการ ดีไนทริฟิเคชันที่มีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ และ เมื่อเกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยพิจารณาจากความเข้มข้น TKN ต่ำกว่า 100 mg/L และ ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ต่ำกว่า 20 mg/L ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง พบว่า ค่า COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 1.5 3.8 6.0 และ 10.0 จะใช้เวลาในการกำจัดไนโตรเจนหลังจากหาค่า COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N (กระบวนการ ดีไนทริฟิเคชัน) เท่ากับ 17 14 13 และ 24 วัน ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 3.19

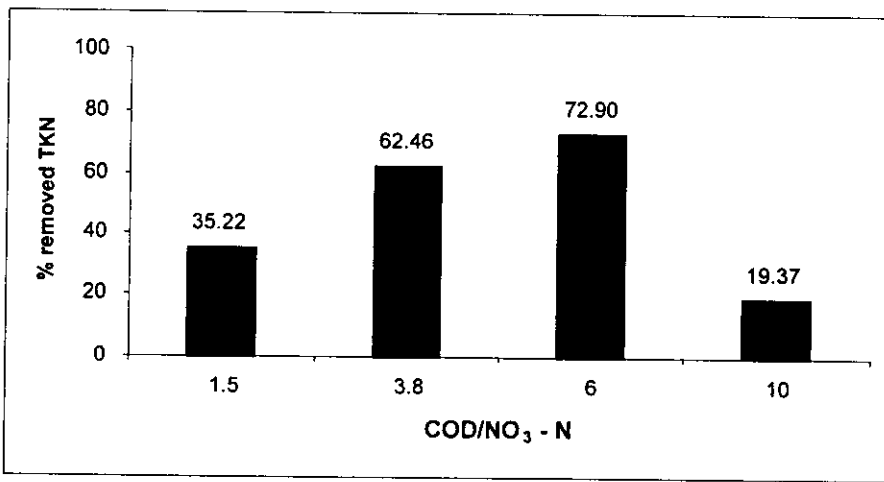


ภาพประกอบ 3.19 ผลของระยะเวลาที่ยุคเดิมอากาศต่อปริมาณ TKN ที่ COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ต่างๆ ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

และจากผลการทดลองระบบที่ประกอบด้วยกระบวนการไนทริฟิเคชัน(เดิมอากาศ) เป็นระยะเวลา 7 วัน และดีไนทริฟิเคชัน (ยุคเดิมอากาศ) เป็นระยะเวลา 13 วัน พบว่า เปอร์เซนต์การกำจัดไนโตรเจนของปฏิกรณ์ที่มีค่า COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 1.5 3.8 6.0 และ 10.0 จะได้เท่ากับ 35.22 62.46 72.90 และ 19.37% ตามลำดับ ดังตาราง 3.18 และภาพประกอบ 3.20

ตาราง 3.18 ผลของ COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ต่อเปอร์เซนต์การกำจัด TKN ที่ระยะเวลา 20 วัน (ไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 7 วัน และดีไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 13 วัน)

COD/NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -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 3.20 ผลของ COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ต่อเปอร์เซ็นต์การกำจัด TKN ที่เวลา 20 วัน

โดยปฏิกรณ์ที่มีค่า COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 6.0 จะใช้เวลาในการกำจัดไนโตรเจนน้อยที่สุดคือ 13 วันและมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจนมากที่สุดคือ 72.90%

แบคทีเรียซึ่งเป็นชนิดเฮเทอโรโทรฟต้องใช้คาร์บอนเป็นองค์ประกอบหรือเป็นแหล่งพลังงานในการทำงาน ดังนั้นอัตราส่วนซีโอดีต่อไนเตรด-ไนโตรเจน (COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) มีความสำคัญต่อกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

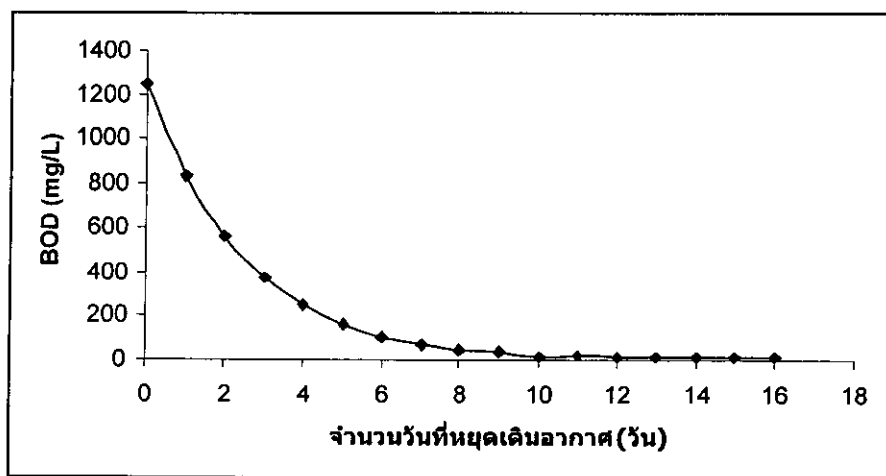
Obaja *et al.*, (2005) ศึกษาการกำจัดสารอาหารทางชีวภาพโดยระบบ SBR ซึ่งใช้แหล่งคาร์บอนจากภายใน พบว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันไม่ได้เป็นวิธีของการกำจัดไนโตรเจนเท่านั้น แต่เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนด้วย ซึ่งกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะเกิดได้สมบูรณ์ เมื่ออัตราส่วน COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับหรือสูงกว่า 1.7

จากงานวิจัย ซึ่งได้ทำการศึกษาหาอัตราส่วน COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ที่เหมาะสมในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยระบบที่มีจุลินทรีย์อยู่มาก เช่น SBR เป็นต้น พบว่า ผลการทดลองจะสอดคล้องกับผลการทดลองจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยระบบที่มีจุลินทรีย์อยู่ไม่มากนัก จากงานวิจัยนี้ที่ว่า COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ในช่วง 3.8-6 จะทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนที่ดี

ดังนั้น จึงได้เลือกค่า COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 6.0 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

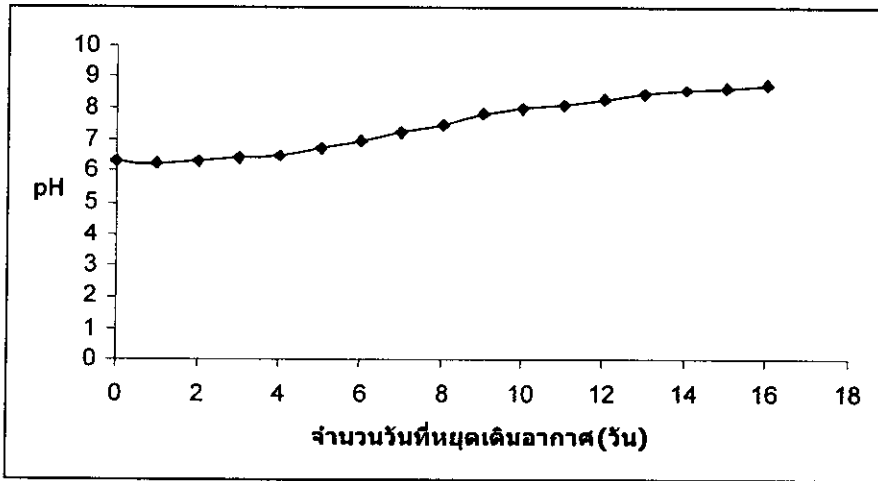
จากการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นว่า เมื่อเกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 7 วันแล้วมีการหยุดเติมอากาศในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะต้องมีการเติมคาร์บอนเป็นแหล่งคาร์บอน เนื่องจาก จุลชีพในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะสามารถใช้ออกซิเจนและหรือไนเตรดเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการผลิตพลังงานของจุลชีพเหล่านี้ โดยที่จุลชีพเหล่านี้จำเป็นต้องใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารคาร์บอน จึงจำเป็นต้องมีการเติม

คาร์บอนเข้าไปในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันด้วย และเมื่อมีการเติมคาร์บอนเข้าไปในระบบก็จะทำให้ค่าความเข้มข้น  $BOD_5$  เพิ่มขึ้นมาก ซึ่งจะทำให้ผ่านค่ากำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้ง จึงได้มีการพิจารณาค่าความเข้มข้น  $BOD_5$  ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมคาร์บอนด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ ( $COD/NO_3^- - N = 6.0$ ) หลังจากหยุดเติมอากาศ พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไปความเข้มข้นของ  $BOD_5$  จะลดลงด้วย แสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะมีการกำจัด  $BOD_5$  เกิดขึ้น ซึ่งถ้าระบบสามารถกำจัด  $BOD_5$  ได้มาก ก็จะทำให้การเกิดดีไนทริฟิเคชัน ( $NO_3^- - N$ ) มีได้มากด้วย และจากผลการทดลองเมื่อมีการหยุดเติมอากาศเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า ความเข้มข้น  $BOD_5$  จะเท่ากับ 15 mg/L ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 mg/L และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัด  $BOD_5$  ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน จะได้เท่ากับ 98 % แสดงให้เห็นว่า การเติมคาร์บอนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันไม่ส่งผลต่อการกำจัดบีโอดี



ภาพประกอบ 3.21 ผลของระยะเวลาการหยุดเติมอากาศต่อปริมาณ  $BOD_5$  ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียตั้งต้น เมื่อ  $COD/NO_3^- - N$  เท่ากับ 6.0

และเมื่อพิจารณาค่า pH ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีค่า  $COD/NO_3^- - N$  เท่ากับ 6.0 พบว่า pH จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามระยะเวลาการหยุดเติมอากาศ ดังภาพประกอบ 3.22 เนื่องจากว่า  $NO_3^- - N$  ที่ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนจะทำให้เกิดสภาพด่างขึ้น ซึ่งจะตรงกันข้ามกับการเกิดไนทริฟิเคชันที่จะไปลดสภาพด่าง แต่การเกิดดีไนทริฟิเคชันจะไปเพิ่มสภาพด่าง (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ , 2543)



ภาพประกอบ 3.22 ผลของระยะเวลาการหยุดเติมอากาศต่อค่า pH ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันโดยมีการเติมคาร์บอน (น้ำเสียตั้งต้น) เมื่อ COD/NO<sub>3</sub>-N เท่ากับ 6.0

เนื่องจาก แหล่งคาร์บอนที่สามารถนำมาใช้กับปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชันมีอยู่ 3 แหล่งดังนี้

1. แหล่งคาร์บอนจากภายนอกเช่น เมทานอล และ Acetate
2. น้ำเสียเข้า (สูบน้ำที่ผ่านกระบวนการดีไนทริฟิเคชันแล้วกลับเข้าสู่ถังดีไนทริฟิเคชัน หรือสูบน้ำเสียดิบบางส่วนลงไปถังดีไนทริฟิเคชันให้พอเพียงพอ)
3. ใช้พวกคาร์บอนอื่น โดจินัสที่มีอยู่ในมวลเซลล์ หรือมวลจุลชีพเข้าสู่ถังดีไนทริฟิเคชัน

ดังนั้น จึงได้มีการเปรียบเทียบระหว่างการเติมคาร์บอนจากเมทานอลและการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำเสียตั้งต้น เพื่อเปรียบเทียบว่า แหล่งคาร์บอนจากเมทานอลหรือน้ำเสียสังเคราะห์ แหล่งคาร์บอนใดจะทำให้มีการเกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมากกว่ากัน โดยมีการเติมเมทานอลหรือน้ำเสียสังเคราะห์ให้ได้ COD/NO<sub>3</sub>-N เท่ากับ 3.8 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่สามารถทำให้กระบวนการดีไนทริฟิเคชันเกิดได้สมบูรณ์ โดยจะนำผลการทดลองจากตาราง ข 20 สำหรับการเติมคาร์บอนจากเมทานอล และ ตาราง ข 21 สำหรับการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ มาเปรียบเทียบกัน ซึ่งทำการเปรียบเทียบกันที่ระยะเวลาการกำจัดไนโตรเจน 14 วัน (กระบวนการไนทริฟิเคชัน 7 วัน และกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน 7 วัน) เนื่องจากในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล แล้วหยุดเติมอากาศไปได้เป็นระยะเวลา 7 วัน ค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> และ TKN จะผ่านค่ากำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้งแล้ว จึงได้เลือกเปรียบเทียบกันที่ระยะเวลาการกำจัดไนโตรเจน 14 วัน

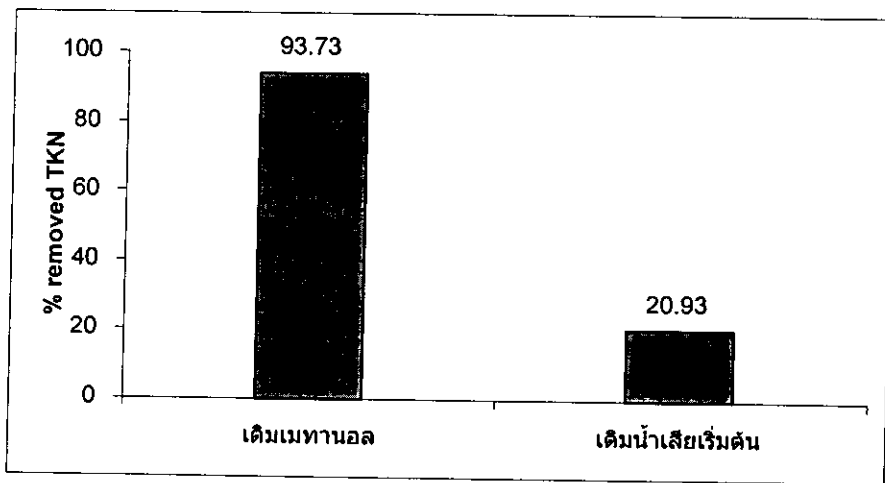
จากผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจนระหว่างการเติมคาร์บอนจาก เมทานอลและน้ำเสียสังเคราะห์ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน เมื่อมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอล และ น้ำเสียสังเคราะห์ เป็นระยะเวลา 14 วัน (กระบวนการไนทริฟิเคชัน 7 วันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน 7 วัน) เท่ากับ 93.73

%และ 20.93% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมเมทานอล จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนมากกว่าเมื่อมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งสอดคล้องกับภาพประกอบ 3.24 พบว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมทานอลทำให้เกิดอัตราดีไนทริฟิเคชันจำเพาะได้สูงกว่าสารอินทรีย์ในน้ำเสียดั้งเดิม ทั้งนี้เพราะเมทานอลย่อยได้ง่ายและมีแบคทีเรียซึ่งชอบเมทานอลเป็นพิเศษ ส่วนกรณีใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียดั้งเดิมอัตราดีไนทริฟิเคชัน ขึ้นกับอัตราการไฮโดรไลซิสของสารอาหารและเซลล์ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

ดังนั้น ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมคาร์บอนจากเมทานอลจะทำให้กระบวนการดีไนทริฟิเคชันเกิดได้ดีกว่าจากน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเป็นน้ำเสียดั้งเดิม แต่ในการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงาน น่าจะใช้น้ำเสียดั้งเดิมเป็นแหล่งคาร์บอนดีกว่า เพื่อลดค่าใช้จ่าย โดยต้องใช้ระยะเวลาในการกำจัดไนโตรเจนนานกว่าใช้เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนคือต้องใช้พื้นที่ของระบบในขั้นตอนนี้มากขึ้น

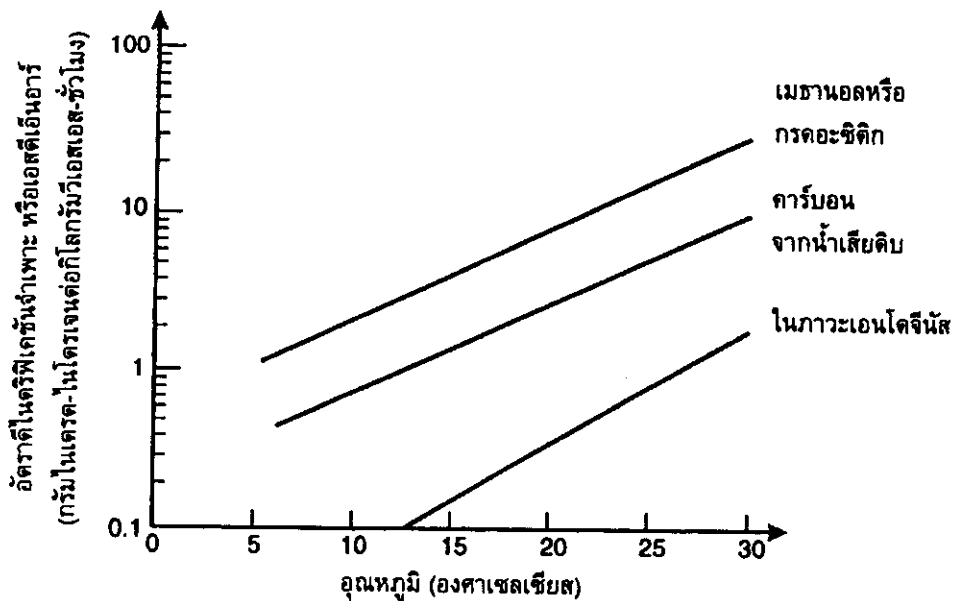
ตาราง 3.19 ผลการเปรียบเทียบของเปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจนระหว่างการเติมคาร์บอนด้วยเมทานอลและน้ำเสียสังเคราะห์ ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 3.8 และระยะเวลา 14 วัน (ไนทริฟิเคชัน 7 วันและดีไนทริฟิเคชัน 7 วัน))

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



ภาพประกอบ 3.23 ผลเปอร์เซ็นต์การกำจัดไนโตรเจนระหว่างการเติมคาร์บอนด้วยเมทานอลและน้ำเสียสังเคราะห์ ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 3.8 และระยะเวลา 14 วัน (ไนทริฟิเคชัน 7 วันและดีไนทริฟิเคชัน 7 วัน))





ภาพประกอบ 3.24 อัตราคลอรีนฟิเคชันจำเพาะที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อใช้สารอาหารต่างกัน  
ที่มา: ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544 : 108

จากผลการทดลองที่ผ่านมาสรุปได้ว่า ในการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพของน้ำเสีย สังกะหรที่ใชในงานวิจัยนี้ เพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงาน จะต้องมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ในระบบด้วย โดยระยะเวลาที่ใช้ในการเติมอากาศ (กระบวนไนทรีฟิเคชัน) จะน้อยกว่า ระยะเวลาที่หยุดเติมอากาศ (กระบวนดีไนทรีฟิเคชัน) โดยเท่ากับ 7 และ 13 วัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุวิมล และ สุพร (2000) ที่ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยในระบบบ่อเติมอากาศแบบเติมอากาศเป็นจังหวะ ที่มีระยะเวลาเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศต่างๆ พบว่า ที่ระยะเวลาเปิดเครื่องเติมอากาศน้อยกว่าระยะเวลาปิดเครื่องเติมอากาศจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน 79.4% ซึ่งดีกว่าระยะเวลาเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศเท่ากัน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน 66.0%

Argaman *et al.*, (1986) พบว่า กระบวนการไนทรีฟิเคชันที่มีการเติมอากาศจะเป็นการกำจัดแอมโมเนีย โดยเวลาในการเติมอากาศมีผลต่อการกำจัดไนโตรเจนของระบบคือต้องมีระยะเวลาการเติมอากาศที่เพียงพอ จึงจะทำให้กระบวนการไนทรีฟิเคชันเกิดสมบูรณ์ และการกำจัด

ไนโตรเจนทั้งหมดนั้นจะมีขึ้นได้เมื่อมีกระบวนการดีไนทริฟิเคชันด้วย และช่วงเวลาแอน็อกซิก ที่นานขึ้นก็จะทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดถูกกำจัดได้มากขึ้น เมื่อใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลองพบว่า สภาพที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนดีที่สุด น้ำเสียสังเคราะห์จะมีลักษณะน้ำเสียเริ่มต้น ได้แก่ ความเข้มข้น  $BOD_5$  300 mg/L ความเข้มข้น TKN 300 mg/L pH 8.0 โดยที่มีความเข้มข้นจุลินทรีย์เท่ากับ 600 mg/L เป็นระยะเวลา 7 วันในการเติมอากาศ แล้วมีการหยุดเติมอากาศในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเป็นระยะเวลา 13 วันโดยมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์เป็นแหล่งคาร์บอนให้ได้มีค่า  $COD/NO_3^- - N$  เท่ากับ 6.0 รวมแล้วใช้ระยะเวลาในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด 20 วัน (แม้ว่าการเติมเมทานอลจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนได้ดีกว่า แต่จำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายสูง จึงใช้น้ำเสียตั้งต้นแทน) ซึ่งสามารถกำจัดไนโตรเจน (TKN) และ บีโอดี ( $BOD_5$ ) ได้เท่ากับ 96 % และ 98%

### 3.4 การกำหนดสภาวะขั้นตอนที่เหมาะสมต่อการกำจัดไนโตรเจนในการเดินระบบบำบัดทางชีวภาพที่มีระบบผสมของบ่อเติมอากาศและบ่อไร้อากาศ

จากการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงจากโรงงานอาหารทะเล ซึ่งเป็นน้ำเสียรวมจากกระบวนการผลิตอาหารทะเลบรรจุกระป๋องและอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง (โรงงาน บริษัท ซีฮอร์ส จำกัด) จะทำให้ทราบระยะเวลาของบ่อเติมอากาศ(กระบวนการไนทริฟิเคชัน) และบ่อไร้อากาศ(กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน) แต่ถ้าใช้กับน้ำเสียอื่นก็จะได้ค่าที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เพราะน้ำเสียเริ่มต้นก่อนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแต่ละโรงงานจะมีลักษณะไม่เหมือนกัน ดังนั้นการคำนวณโดยใช้สมการต่างๆ ในการกำหนดสภาวะขั้นตอนที่เหมาะสมต่อการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยไม่ต้องไปทำการทดลองในห้องปฏิบัติการจะทำให้สะดวกกว่า แต่การคำนวณในกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะต้องมีค่าคงที่ต่างๆ ค่าคงที่ต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณระบบเหล่านี้ ที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้วเป็นของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณจุลินทรีย์มาก เช่น ระบบตะกอนเร่ง(ความเข้มข้นจุลินทรีย์ (3,000-5,000 mg/L) เป็นต้น สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีจุลินทรีย์ปริมาณน้อย เช่น ระบบบ่อเติมอากาศ(ความเข้มข้นจุลินทรีย์ 500-800 mg/L) ยังไม่มีการศึกษาค่าต่างๆเหล่านี้ไว้ ดังนั้น ในส่วนนี้ จึงได้ทำการหาค่าคงที่ต่างๆในกระบวนการไนทริฟิเคชันของน้ำเสียสังเคราะห์ ในระบบบ่อเติมอากาศ แล้วจะทำการยืนยันว่าค่าคงที่ที่คำนวณได้นั้น จะใช้ได้กับน้ำเสียจริงที่ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีจุลินทรีย์อยู่น้อยหรือไม่ โดยเปรียบเทียบระยะเวลาของกระบวนการไนทริฟิเคชันของน้ำเสียจริงจากโรงงานอาหารทะเล (โรงงาน บริษัท ซีฮอร์ส จำกัด) ที่ได้การคำนวณกับระยะเวลาที่ได้จากการทดลอง

เนื่องจากผลการทดลองที่ผ่านมา พบว่ากระบวนการไนทริฟิเคชันเกิดได้ดีที่ค่าความเข้มข้น  $BOD_5$  ไม่สูง โดยประสิทธิภาพการเกิดไนเตรตจะดีที่สุดที่  $BOD_5$  เริ่มต้น 300 mg/L ดังนั้นถ้าหากว่าความเข้มข้นของ  $BOD_5$  เริ่มต้นมากกว่า 300 mg/L จะต้องมีการบำบัดสารอินทรีย์เพื่อลดค่า  $BOD_5$  ด้วยวิธีอื่นๆก่อน อาทิเช่น ระบบเอเอส (AS), ระบบบ่อเติมอากาศ (AL), ระบบบ่อไร้อากาศ (Anaerobic) เป็นต้น หลังจากค่าความเข้มข้น  $BOD_5$  มีค่าประมาณ 300 mg/L จึงนำไปเข้าในกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันต่อไป

ส่วนแรกจะทำการคำนวณหาค่าคงที่ต่างๆในกระบวนการไนทริฟิเคชันของบ่อเติมอากาศ โดยนำข้อมูลจากผลการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์มาทำการคำนวณ

### 3.4.1 คำนวณหาค่าคงที่ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการไนทริฟิเคชันของบ่อเติมอากาศ

#### 1. คำนวณหาค่าอัตราการใช้ไนโตรเจนต่อมวลจุลชีพไนตริไฟล์ ( $U_N$ )

จากสมการ (3.1)

$$t = \frac{(N_0 - N)}{U_N X_N} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $t$  = เวลาเก็บกักของระบบไนทริฟิเคชัน (day)

$N_0$  = ความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสีย (mg/L)

$N$  = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำทิ้ง (mg/L)

$X_N$  = ความเข้มข้นของมวลจุลชีพไนตริไฟล์ (mg/L)

จากผลการทดลอง

$$t = 7 \text{ day}$$

$$N_0 = \text{TKN} = 302 \text{ mg/L}$$

$$N = \text{TKN} - \text{ปริมาณไนเตรตที่เกิดขึ้น} = 302 - 280.12 = 21.88 \text{ mg/L}$$

$$X = 600 \text{ mg/L}$$

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

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.1) จะ ได้

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

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

## 2. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสลายตัวเอ็นโคจินัส ( $k_{d,N}$ )

จากสมการ (3.2)

$$\frac{1}{\theta_c} = Y_N U_N - k_{d,N} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $\theta_c$  = อายุสลัดจ์ (day)

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

$k_{d,N}$  = สัมประสิทธิ์การสลายตัวเอ็นโคจินัส ( $\text{day}^{-1}$ )

จากผลการทดลอง

$$\theta_c = 7 \text{ day}$$

$$Y_N = 600/310 = 1.94$$

แทนค่าลงในสมการ (3.2) 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 (3.3)

$$\theta_c = (SF)(\theta_{c,\min}) \quad (3.3)$$

กำหนดให้

$$SF = 2.5$$

แทนค่าลงในสมการ (3.3) จะได้

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

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

## 4. คำนวณหาค่าอัตราการใช้ไนโตรเจนสูงสุด ( $k_N$ )

จากสมการ (3.4)

$$\frac{1}{\theta_{c,\min}} = Y_N k_N - k_{d,N} \quad (3.4)$$

แทนค่าลงในสมการ (3.4) จะได้

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

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

จากสมการ (3.5)

$$k_N = \frac{\mu'_{N,m}}{Y_N} \quad (3.5)$$

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

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

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

จากสมการ (3.6)

$$\mu'_{N,m} = \mu_{N,m} \left( \frac{DO}{K_{DO} + DO} \right) \left( e^{0.098(T-15)} \right) [1 - 0.833(7.2 - pH)] \quad (3.6)$$

จากการทดลอง

$$DO = 2.5 \text{ mg/L}$$

$$pH = 8.0$$

$$\text{Temperature} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

จากตาราง 1.1

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

แทนค่าลงในสมการ (3.6) จะได้

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

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

สามารถสรุปค่าคงที่ต่างๆของกระบวนการไนทรีฟิเคชัน เมื่อเป็นระบบบ่อเติมอากาศได้ดังตาราง 28

ตาราง 3.20 สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของไนทรีฟายอิงแบคทีเรีย เมื่อเป็นระบบบ่อเติมอากาศ

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

3.4.2 คำนวณหาค่าคงที่ที่ใช้ในกระบวนการดีไนทรีฟิเคชันของบ่อเติมอากาศ

คำนวณหาค่า อัตราการเกิดดีไนทริฟิเคชันที่ 20°C ( $U_{DN}$ )

จากสมการ (3.7)

$$t = \frac{NO_{3,inf} - NO_{3,eff}}{U'_{DN} X_v} \quad (3.7)$$

และจากสมการ (3.8)

$$U'_{DN} = U_{DN} \times 1.09^{(T-20)} \times (1 - DO) \quad (3.8)$$

เมื่อ  $NO_{3,inf}$  = ความเข้มข้นของ  $NO_3^-$ -N ในน้ำเข้ากระบวนการดีไนทริฟิเคชัน (mg $NO_3$ -N/L)

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

$t$  = ระยะเวลาของบ่อไร้อากาศ (day)

$U'_{DN}$  = อัตราการเกิดดีไนทริฟิเคชันที่อุณหภูมิใดๆ (mg $NO_3$ -N / (mgMLVSS .d))

$X_v$  = ความเข้มข้นของมวลของเฮเทอโรโทรฟ (mgMLVSS / L)

จากการทดลอง

$$t = 7 \text{ day}$$

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

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

$$X_v = 600 \text{ mg/L}$$

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

$$DO = 0.2 \text{ mg/L}$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.7) จะได้

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

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

และแทนค่าลงในสมการ (3.8) จะได้

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

$$U_{DN} = 0.0227 \text{ mgNO}_3\text{-N / (mgMLVSS .d)}$$

ดังนั้น ค่าคงที่ที่ใช้ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของบ่อเติมอากาศ คือ อัตราการเกิดดีไนทริฟิเคชันที่ 20°C ( $U_{DN}$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0227 mg $NO_3$ -N / (mgMLVSS .d)

### 3.5 ผลการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพของน้ำเสียจริงจากโรงงานอาหารทะเล

ในการทดลองนี้ได้นำน้ำเสียจริงจากโรงงานอาหารทะเล ซึ่งเป็นน้ำเสียรวมจากกระบวนการผลิตอาหารทะเลบรรจุกระป๋องและอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง (บริษัท ซีฮอร์ส จำกัด) ซึ่งได้ผ่านการ

บำบัดขั้นต้น เช่นการตกไขมัน การแยกของแข็งแขวนลอย และผ่านการบำบัดสารอินทรีย์โดยระบบบ่อเติมอากาศมาแล้วหนึ่งบ่อ โดยสภาวะเริ่มต้นของน้ำเสียจริงที่นำมาทดลอง มีดังนี้ pH เท่ากับ 7.73 ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 306 mg/L ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 193 mg/L ซึ่งเป็นสภาวะที่ใกล้เคียงกับสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดในโตรเจนโดยกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันได้ดีที่สุด ที่ได้จากการทดลองจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านมา สภาวะเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ดีที่สุด (pH เท่ากับ 8.15 ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 308 mg/L ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 302 mg/L)

ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการไนทริฟิเคชันโดยจะนำน้ำเสียปริมาณ 40 L ไปเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยจะเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ (ผลการทดลอง ดังภาคผนวก ข. ตาราง ข 25A ) ทุกวันจนครบ 7 วัน ได้น้ำที่มีลักษณะสมบัติดังนี้

1. pH เท่ากับ 5.10
2. ความเข้มข้น COD เท่ากับ 22 mg/L
3. ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 9 mg/L
4. ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 192 mg/L
5. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 133.72 mg/L

ขั้นตอนต่อไปเป็นกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยจะทำการหยุดเติมอากาศ และจะมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียตั้งต้น ลงไปเพื่อให้ได้ COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ประมาณ 6.0 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการดีไนทริฟิเคชันที่ได้ จากการทดลองเมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ โดยน้ำเสียตั้งต้นที่เป็นแหล่งคาร์บอนที่ใช้สำหรับเติม เป็นน้ำเสียจริงที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัดน้ำเสียมีลักษณะสมบัติดังนี้

1. pH เท่ากับ 6.92
2. ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 1568 mg/L
3. ความเข้มข้น COD เท่ากับ 3450 mg/L
4. ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 201 mg/L

โดยเติมน้ำเสียตั้งต้นลงไปปริมาตร 10 L จะได้ค่า COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 6.1 ซึ่งใกล้เคียงกันมากกับอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ค่า COD/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่ากับ 6.0 โดยจะมีลักษณะน้ำเสียจริงตอนเริ่มต้นของกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ได้แก่

1. pH เท่ากับ 5.45
2. ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 401 mg/L
3. ความเข้มข้น COD เท่ากับ 883 mg/L
4. ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 195 mg/L

โดยจะทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทุกวัน จนกว่าจะได้ค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> และความเข้มข้น TKN ต่ำกว่าค่ากำหนดของมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 และ 100 mg/L ตามลำดับ (ผลการทดลอง ดังภาคผนวก ข. ตาราง ข 25B )

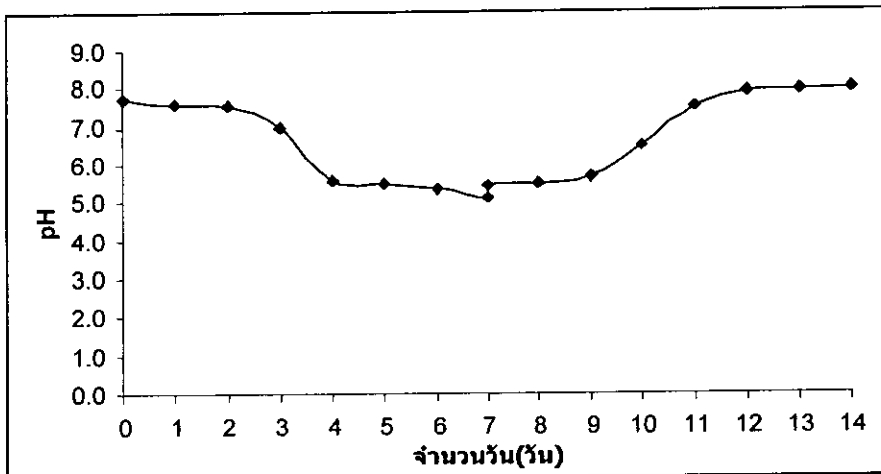
ซึ่งการทดลองนี้ ได้แบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

### 3.5.1 ผลของระยะเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆในกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ของน้ำเสียจริง

ผลการทดลองของระยะเวลาต่อค่าตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน ของน้ำเสียจริง ได้แก่ pH ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> ความเข้มข้น TKN และ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N แสดงในภาพประกอบ 3.25 ถึง ภาพประกอบ 3.28 (ภาคผนวก ข. ตาราง ข25)

#### ก. pH

ผลการทดลองกระบวนการไนทริฟิเคชัน ของน้ำเสียจริง ดังภาพประกอบ 3.25 ที่ระยะเวลาเดิมอากาศ 7 วัน พบว่า ค่า pH จะลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่เดิมอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับ ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544) ที่กล่าวไว้ว่า กระบวนการไนทริฟิเคชันจะมีการปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมา ซึ่งไฮโดรเจนไอออนจะไปทำลายสภาพด่างให้หายไป ทำให้ pH ลดลง ดังนั้น ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน น้ำเสียเริ่มต้นจึงน่าจะมีค่า pH ที่ไม่ต่ำเกินไป ควรมีค่า pH ก่อนไปทางต่างหรือประมาณ 7.5-9.0 จึงจะทำให้กระบวนการไนทริฟิเคชันมีประสิทธิภาพในการเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ที่สูง ส่วนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน พบว่า ค่า pH จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่หยุดเดิมอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับ ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544) ที่กล่าวไว้ว่า กระบวนการดีไนทริฟิเคชันทำให้ช่วยเพิ่มสภาพด่างไบคาร์บอเนต จึงทำให้ pH เพิ่มขึ้น

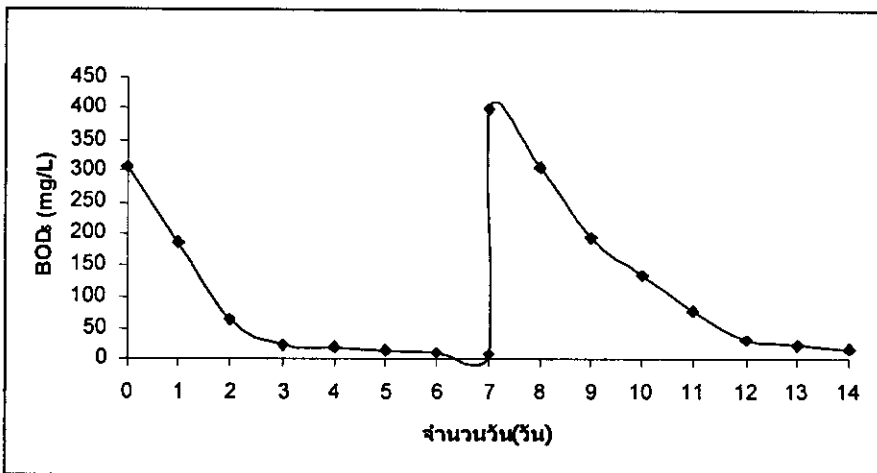


ภาพประกอบ 3.25 ผลของของระยะเวลาต่อค่า pH ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของน้ำเสียจริง (ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 306 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 193 mg/L pH เริ่มต้น 7.73 )



### ข. BOD<sub>5</sub>

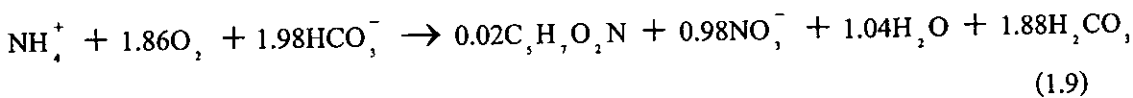
เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> พบว่า ทั้งกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> จะลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลา และจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดในมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 mg/L โดยในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อมีการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน ค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> จะเท่ากับ 9 mg/L ส่วนในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะมีการเติมน้ำเสียตั้งต้นเป็นแหล่งคาร์บอน ทำให้ค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เพิ่มสูงขึ้น เท่ากับ 401 mg/L เมื่อมีการหยุดเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน ค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 16 mg/L ดังภาพประกอบ 3.26 แสดงให้เห็นว่า ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันเมื่อมีการเติมคาร์บอนเข้าไปในระบบบำบัดน้ำเสียจะไม่ส่งผลต่อการกำจัดบีโอดี ยังสามารถกำจัดบีโอดีได้ดีเหมือนกระบวนการไนทริฟิเคชัน



ภาพประกอบ 3.26 ผลของของระยะเวลาต่อค่า BOD<sub>5</sub> ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของน้ำเสียจริง (ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 306 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 193 mg/L pH เริ่มต้น 7.73 )

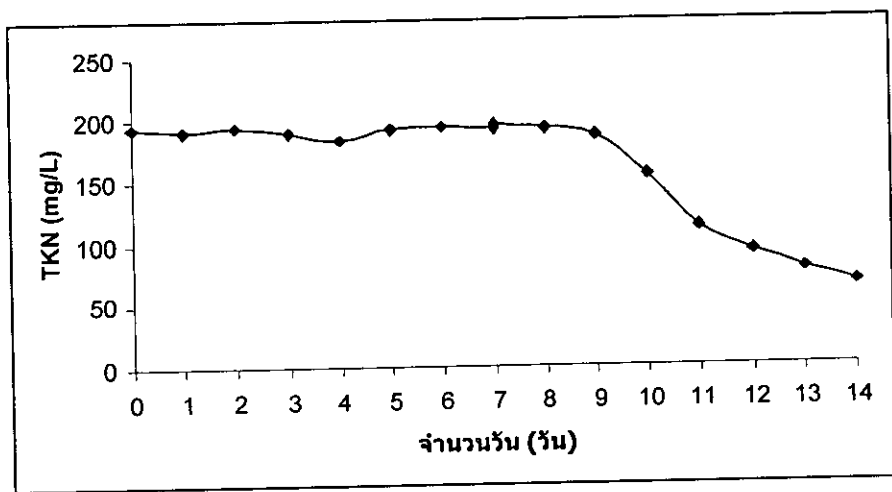
### ค. TKN และ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้น TKN พบว่า ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เมื่อมีการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน ความเข้มข้น TKN ยังคงเท่าเดิม ดังภาพประกอบ 3.27 เนื่องจากไนโตรเจนไม่ได้สูญเสียไปไหน แต่เปลี่ยนจากรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนไปเป็น NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เท่านั้น ซึ่งพิจารณาได้จากภาพประกอบ 3.28 จะเห็นว่า เมื่อมีการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 7 วัน NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N จะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ดังสมการ(1.9)

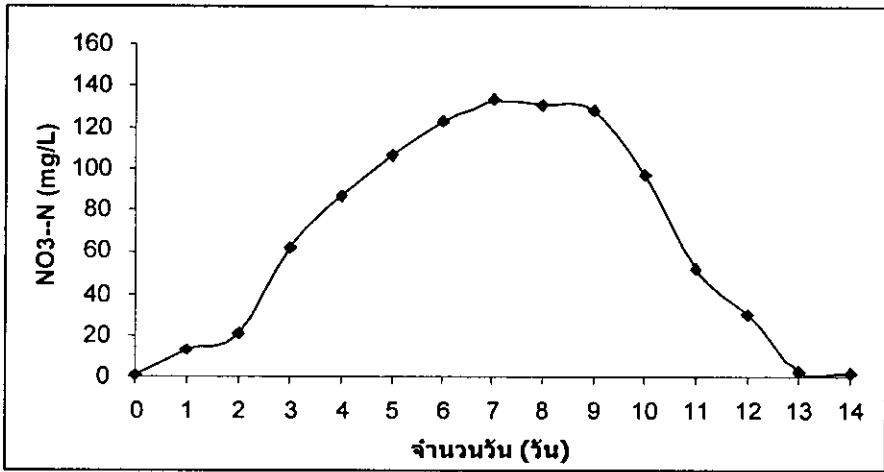


ซึ่งจากสมการ พบว่าในกระบวนการไนทริฟิเคชันไนโตรเจน แอมโมเนียมไนโตรเจน เปลี่ยนเป็นไนโตรเจนในรูปของไนเตรดที่ละลายน้ำ ยังไม่ได้ถูกกำจัดออกนอกระบบ ดังนั้น ความเข้มข้น TKN จึงมีปริมาณเท่าเดิม

และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้น TKN ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน โดยมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียตั้งต้น พบว่า เมื่อมีการหยุดเติมอากาศความเข้มข้น TKN จะลดลงตามระยะเวลาการหยุดเติมอากาศ จนเมื่อหยุดเติมอากาศเป็นระยะเวลา 5 วัน ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 92 mg/L ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดในมาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 100 mg/L ดังภาพประกอบ 3.27 และเมื่อพิจารณาค่า  $\text{NO}_3^-$ -N ก็จะพบว่า  $\text{NO}_3^-$ -N จะลดลงเรื่อยๆตามระยะเวลาที่หยุดเติมอากาศ เนื่องจากว่าในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน จะเป็นกระบวนการที่เปลี่ยน  $\text{NO}_3^-$ -N ให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งก๊าซไนโตรเจนก็จะระเหยออกนอกระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้ไนโตรเจนในบ่อบำบัดน้ำเสียมีปริมาณที่ลดลง จึงเป็นกระบวนการที่กำจัดไนโตรเจนได้



ภาพประกอบ 3.27 ผลของระยะเวลาต่อปริมาณ TKN ในกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของน้ำเสียจริง (ความเข้มข้น  $\text{BOD}_5$  เริ่มต้น 306 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 193 mg/L pH เริ่มต้น 7.73)



ภาพประกอบ 3.28 ผลของระยะเวลาต่อปริมาณ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ในกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของน้ำเสียจริง (ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 306 mg/L ความเข้มข้น TKN เริ่มต้น 193 mg/L pH เริ่มต้น 7.73)

ดังนั้นจากการทดลองของน้ำเสียจริง พบว่า ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน จะใช้ระยะเวลาในการเติมอากาศ 7 วัน ซึ่งทำให้มีปริมาณ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N เกิดขึ้น เท่ากับ 132.66 mg/L คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิด NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ได้เท่ากับ 68.74 % และในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันจะมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียคั่งต้นซึ่งเป็นน้ำเสียรวมของแ่งแข็งและแค้นนิ่งที่ยังไม่ได้มีการผ่านระบบบำบัดน้ำเสียใดเลย ซึ่งจะใช้ระยะเวลาในการหยุดเติมอากาศ 7 วัน ทำให้ค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 16 mg/L และค่าความเข้มข้น TKN เท่ากับ 67 mg/L ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 และ 100 mg/L ตามลำดับ และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ การกำจัดไนโตรเจน (TKN) ได้เท่ากับ 65.64 %

### 3.5.2 กำหนดหาระยะเวลาของกระบวนการไนทริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

จากผลการทดลอง ในหัวข้อ 3.4 ซึ่งสามารถหาค่าคงที่ต่างๆของกระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชันของบ่อเติมอากาศได้ ในการทดลองนี้จึงจะทำการยืนยันว่า ค่าคงที่ที่หามาได้จากการทดลองที่ 3.4 นั้นสามารถนำไปใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีจุลินทรีย์อยู่น้อยได้ โดยทำการกำหนดหาระยะเวลาของบ่อเติมอากาศ (กระบวนการไนทริฟิเคชัน) และบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน) ของน้ำเสียจริง แล้วจึงนำเวลาที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 3.5.1 ซึ่งเป็นผลการทดลองของน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตภัณฑ์อาหารทะเล (บริษัท ซีฮอรัส จำกัด) การที่นำน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล ซึ่งแม้ว่าในการทดลองของน้ำเสียสังเคราะห์จะใช้เชื้อจุลินทรีย์จากโรงงานน้ำอย่างขึ้น แต่ก็ไม่ส่งผลกระทบมาก เนื่องจากว่า ในการทดลองนี้ค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เริ่มต้น 300 ± 50 mg/L มีค่าไม่สูงจึงส่งผลต่อเชื้อจุลินทรีย์ไม่มากนัก

## ลักษณะน้ำเสียเริ่มต้น

ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 306 mg/L

ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 193 mg/L

pH เท่ากับ 7.73

บ่อบำบัดน้ำเสีย (aerobic pond) สำหรับกระบวนการไนทริฟิเคชัน

กำหนด

1. อัตราการไหลของน้ำเสีย (Q) = 500 m<sup>3</sup>/d

2. DO ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน = 2.5 mg/L

3. อุณหภูมิ = 30 °C

คำนวณหาระยะเวลา

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

จากสมการ (3.6)

$$\mu'_{N,m} = \mu_{N,m} \left( \frac{DO}{K_{DO} + DO} \right) \left( e^{0.098(T-15)} \right) [1 - 0.833(7.2 - pH)] \quad (3.6)$$

จากตาราง 1.2  $K_{DO} = 1.3$

และจากตาราง 3.20  $\mu_{N,m} = 0.6243 \text{ day}^{-1}$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.6)

$$\begin{aligned} \mu'_{N,m} &= 0.6243 \left( \frac{2.5}{1.3 + 2.5} \right) \left( e^{0.098(30-15)} \right) [1 - 0.833(7.2 - 7.73)] \\ &= 2.57 \text{ day}^{-1} \end{aligned}$$

2. คำนวณหาค่าอัตราการใช้ในโตรเจนสูงสุด ( $k_N$ )

จากสมการ (3.5)

$$k_N = \frac{\mu'_{N,m}}{Y_N} \quad (3.5)$$

จากตาราง 3.20  $Y_N = 1.94$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.5) จะได้

$$\begin{aligned} k_N &= \frac{2.57}{1.94} \\ &= 1.32 \text{ day}^{-1} \end{aligned}$$

3. คำนวณหาค่าอายุสลัดจ์ ( $\theta_c$ )

จากสมการ (3.4)

$$\frac{1}{\theta_{c,\min}} = Y_N k_N - k_{d,N} \quad (3.4)$$

จากตาราง 3.20

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

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.4) จะได้

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

$$\theta_{c,\min} = 1.09 \text{ วัน}$$

คำนวณหาค่า  $\theta_c$  จากสมการ (3.3)

$$\theta_c = (SF)(\theta_{c,\min}) \quad (3.3)$$

เมื่อ

$$SF = \text{safety factor}$$

กำหนดให้

$$SF = 2.5$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.3) จะได้

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

#### 4. คำนวณหาค่าอัตราการใช้นิโตรเจนต่อมวลจุลชีพในทรีฟล์ ( $U_N$ )

จากสมการ (3.2)

$$\frac{1}{\theta_c} = Y_N U_N - k_{d,N} \quad (3.2)$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.2) จะได้

$$\frac{1}{2.73} = (1.94 U_N - 1.47)$$

$$U_N = 0.95 \text{ day}^{-1}$$

#### 5. คำนวณหาค่าแอมโมเนียในน้ำทิ้ง ( $N$ )

จากสมการ (3.9) และ (3.10)

$$U_N = \frac{k_N N}{(K_N + N)} \quad (3.9)$$

$$K_N = 10^{(0.0517 - 1.158)} \quad (3.10)$$

แทนค่าในสมการ (3.10) จะได้

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

แทนค่าต่างๆในสมการ (3.9) จะได้

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

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

6. คำนวณหาเวลาเก็บกักของกระบวนการไนทริฟิเคชัน ( $t$ )

จากสมการ (3.1)

$$t = \frac{(N_0 - N)}{U_N X_N} \quad (3.1)$$

กำหนดให้

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

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.1) 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 ส่วนน้ำเสียจริงอาจจะเหลือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากแล้วเพราะมีการผ่านบำบัดมาบางขั้นตอน ดังนั้นจึงมีความแตกต่างระหว่าง ผลการทดลองการคำนวณ ดังนั้น ถ้านำค่าคงที่เหล่านี้ไปคำนวณก็ควรคำนวณค่า SF ของเวลาเก็บกักของกระบวนการไนทริฟิเคชัน 30-35 % ด้วย

**บ่อไร้อากาศ (Anoxic) สำหรับกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน**

กำหนด

1. อัตราการไหลของน้ำเสีย ( $Q$ ) = 500 m<sup>3</sup>/day
2. ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำเข้า ( $\text{NO}_3^-_{\text{inf}}$ ) = 133.52 mg/L
2. ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำออก ( $\text{NO}_3^-_{\text{eff}}$ ) = 1.79 mg/L
3. ความเข้มข้นของมวลของเฮเทอโรโทรฟ ( $X_v$ ) = 500 mg.MLVSS/L
4. อุณหภูมิ ( $T$ ) = 30 °C
5. ความเข้มข้นออกซิเจนละลาย (DO) ในกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน = 0.2 mg/L

เวลา

จากสมการ (3.7)

$$t = \frac{NO_{3,\text{inf}} - NO_{3,\text{eff}}}{U'_{DN} X_v} \quad (3.7)$$

และจากสมการ (3.8)

$$U'_{DN} = U_{DN} \times 1.09^{(T-20)} \times (1 - DO) \quad (3.8)$$

จากการคำนวณ

$$U_{DN} \text{ ที่ } 20 \text{ }^\circ\text{C} = 0.0227 \text{ mgNO}_3\text{-N}/(\text{mgMLVSS} \cdot \text{d})$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.8) จะได้

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

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.7) จะได้

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

ซึ่งจากการทดลองจะใช้ระยะเวลา 7 day แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาจากการทดลองและจากการคำนวณจะมีความแตกต่างกัน 12.4 % ซึ่งถือว่าแตกต่างกันน้อยมาก ที่มีความแตกต่างอาจเนื่องมาจาก ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณได้คำนวณมาจากน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายกรณีน้ำเสียจริง ส่วนน้ำเสียจริงในระยะหลายๆ ของกระบวนการอาจจะเหลือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการดีไนทริฟิเคชันมีการเติมคาร์บอนจากน้ำเสียดังต้น ซึ่งยังมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย จึงทำให้ระยะเวลาจากผลการทดลองและจากการคำนวณแตกต่างกันน้อยกว่าในกระบวนการไนทริฟิเคชัน

ดังนั้น ค่าคงที่ของอัตราการเกิดดีไนทริฟิเคชันที่ 20°C ( $U_{DN}$ ) ซึ่งเท่ากับ 0.0227 mgNO<sub>3</sub>-N/(mgMLVSS .d) เป็นค่าที่ให้ความถูกต้องในการนำไปใช้ในการคำนวณหาระยะเวลาของบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน) ของระบบบำบัดที่มีจุลินทรีย์อยู่น้อยได้เลย

### 3.5.3 ปริมาตรของบ่อเติมอากาศและบ่อไร้อากาศ

จาก ระยะเวลาของบ่อเติมอากาศและบ่อไร้อากาศที่คำนวณได้ สามารถนำไปคำนวณได้หา ปริมาตรของบ่อเติมอากาศและบ่อไร้อากาศได้ ดังนี้

ปริมาตรของบ่อเติมอากาศ (กระบวนการไนทริฟิเคชัน)

จากระยะเวลากักเก็บหรือระยะเวลาในการเติมอากาศ (t) ทำให้สามารถคำนวณปริมาตรของบ่อเติมอากาศได้โดยใช้สมการ (3.11)

$$V = Qt \quad (3.11)$$

เมื่อ  $V$  = ปริมาตรของบ่อ ( $m^3$ )

$Q$  = อัตราการไหลของน้ำเสีย ( $m^3/day$ )

$t$  = ระยะเวลาที่เก็บ (day)

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.11) จะได้

$$\begin{aligned} V &= (500)(4.9) \\ &= 2450 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

หาขนาดของบ่อมีอากาศ (กว้าง ยาว ลึก)

กำหนดให้ บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง : ยาว = 1 : 5

น้ำลึกในถัง = 3 m

ดังนั้น ขนาดพื้นที่ของบ่อ = ปริมาตร / น้ำลึก

$$\begin{aligned} &= 2450/3 = 817 \text{ m}^2 \\ &= 817/1600 = 0.51 \text{ ไร่} \end{aligned}$$

พื้นที่ของบ่อ = (กว้าง)(ยาว)

สมมติให้  $X$  เป็น ความกว้างของบ่อ

$5X$  เป็น ความยาวของบ่อ

$\therefore$  พื้นที่ของบ่อ =  $(X)(5X)$

$$817 \text{ m}^2 = 5X^2$$

$$X = 13 \text{ m}$$

$\therefore$  ความกว้างของบ่อ = 13 m

ความยาวของบ่อ = 63 m

กำหนดให้ระยะผนังเหนือน้ำ = 0.50 m

$\therefore$  ความลึกของบ่อ = 3.50 m

จากการคำนวณ แสดงให้เห็นว่า ระบบบ่อมีอากาศ (กระบวนการไนตริฟิเคชัน) จะใช้ระยะเวลาเติมอากาศ 4.9 วัน มีปริมาตร 2,450 ลบ.ม. มีขนาดกว้าง 13 เมตรยาว 63 เมตร ลึก 3.50 เมตร และมีพื้นที่ 817 ตร.ม. หรือ 0.51 ไร่

ปริมาตรของบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน)

จากสมการ (3.11)

$$V = Qt \quad (3.11)$$



แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.1) จะได้

$$\begin{aligned} V &= (500 \text{ m}^3/\text{d})(6.13 \text{ day}) \\ &= 3,065 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

หาขนาดของบ่อไร้อากาศ(กว้าง ยาว ลึก)

กำหนดให้ บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง : ยาว = 1 : 5

$$\text{น้ำลึกในถัง} = 3.5 \text{ m}$$

ดังนั้น ขนาดพื้นที่ของบ่อ = ปริมาตร / น้ำลึก

$$= 3065/3.5 = 876 \text{ m}^2$$

$$= 876/1600 = 0.55 \text{ ไร่}$$

พื้นที่ของบ่อ = (กว้าง)(ยาว)

สมมติให้ X เป็น ความกว้างของบ่อ

5X เป็น ความยาวของบ่อ

$$\therefore \text{พื้นที่ของบ่อ} = (X)(5X)$$

$$876 \text{ m}^2 = 5X^2$$

$$X = 15.65 \text{ m}$$

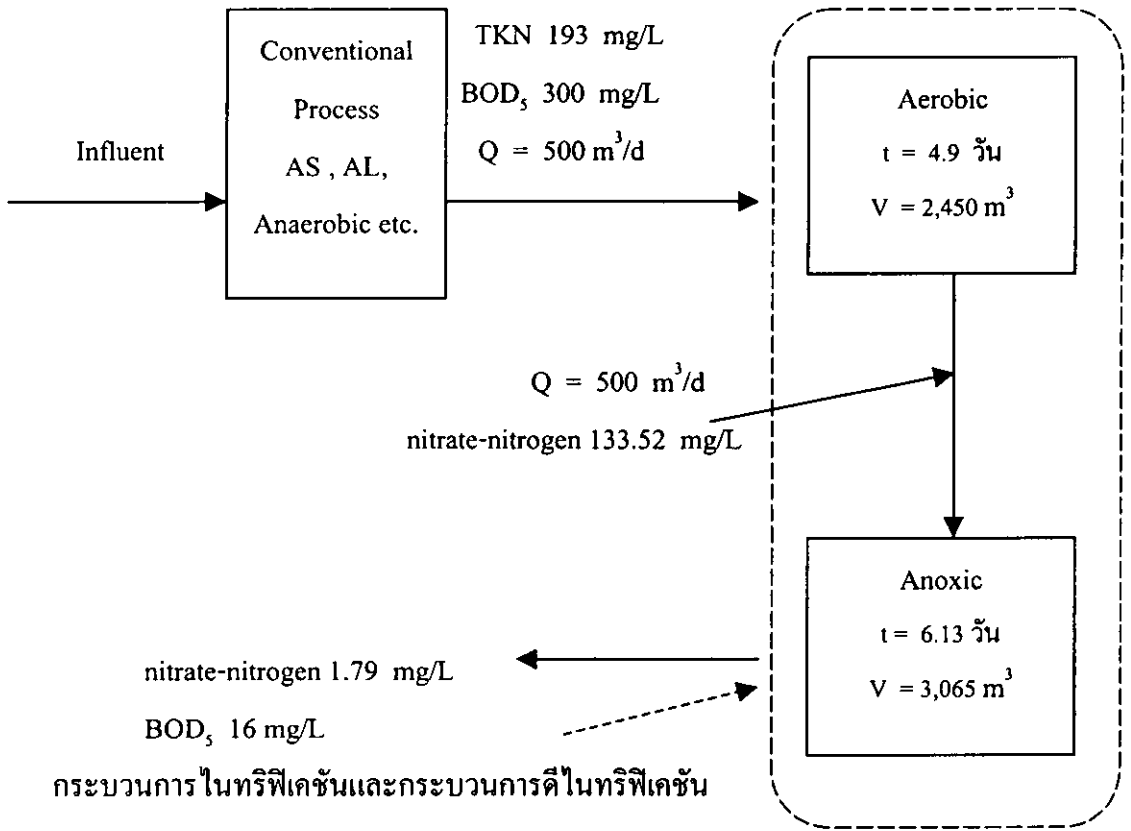
$$\therefore \text{ความกว้างของบ่อ} = 13 \text{ m}$$

$$\text{ความยาวของบ่อ} = 68 \text{ m}$$

กำหนดให้ระยะผนังเหนือน้ำ = 0.50 m

$$\therefore \text{ความลึกของบ่อ} = 4.00 \text{ m}$$

แสดงให้เห็นว่า ระบบบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน) จะใช้เวลา 6.13 วัน มีปริมาตร 3065 ลบ.ม. มีขนาดกว้าง 13 เมตร ยาว 68 เมตร ลึก 4.00 เมตร และมีพื้นที่ 876 ตร.ม. หรือ 0.55 ไร่



สรุป แผนภาพการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล(แช่แข็ง+บรรจุกระป๋อง)

จะเห็นว่าการกำจัดไนโตรเจนที่ได้ผลนั้นต้องทำหลังจากที่ได้ลดสารประกอบคาร์บอนลงแล้วระดับหนึ่ง จึงจะทำให้ประสิทธิภาพของไนทรีฟิเคชันสูง ทำให้เกิดไนเตรดมาก ซึ่งจะถูกรักษาออกจากระบบในรูปก๊าซไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนทรีฟิเคชัน

### 3.6 ผลการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพของน้ำเสียจริงจากโรงงานน้ำยางข้น

น้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสีรวมจากกระบวนการผลิตยางสกิม และน้ำยางข้นที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นคือผ่านการตกยางในบ่อตกยาง (พัชรภรณ์ จำแก้ว 2546) น้ำเสียมีลักษณะดังนี้

ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 3,664 mg/L

ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 210 mg/L

pH เท่ากับ 4.9

กำหนดให้

ความเข้มข้นออกซิเจนละลาย (DO) ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน เท่ากับ 2.5 mg/L

อุณหภูมิ เท่ากับ 30 ° C

อัตราการไหลของน้ำเสีย (Q) เท่ากับ 500 m<sup>3</sup>/L

เนื่องจากน้ำเสียตอนเริ่มต้นจะมีค่าความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> สูงมาก ดังนั้น จึงควรมีการกำจัดบีโอดีก่อน โดยกระบวนการต่างๆ อาทิเช่น ระบบบ่อเติมอากาศ (AL) หรือ ระบบบ่อไร้อากาศ (Anaerobic) เป็นต้น และจากการที่ค่า pH ของน้ำเสียเท่ากับ 4.9 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำ จึงต้องมีการปรับให้เป็นกลาง เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ หลังจากผ่านกระบวนการหลักที่ทำกรย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจนกระทั่งความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เหลือประมาณ 300 mg/L จึงมีการใช้กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันต่อไป ซึ่งในกรณีที่ระบบหลักเป็นระบบบ่อเติมอากาศ ก็สามารถดำเนินการต่อไปได้เลย โดยที่ปริมาณจุลินทรีย์ และค่า pH มีค่าใกล้เคียงกับสภาวะที่เหมาะสมที่สุด กรณีที่ทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์

#### 3.6.1 กระบวนการไนตริฟิเคชัน

การคำนวณเวลาของกระบวนการไนตริฟิเคชัน และปริมาตรของบ่อมีอากาศ (Aerobic)

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

จากสมการ (3.6)

$$\mu'_{N,m} = \mu_{N,m} \left( \frac{DO}{K_{DO} + DO} \right) \left( e^{0.098(T-15)} \right) [1 - 0.833(7.2 - pH)] \quad (3.6)$$

จากตาราง 1.2

$$K_{DO} = 1.3$$

และจากตาราง 3.20

$$\mu_{N,\mu} = 0.6243 \text{ ต่อวัน}$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.6) จะได้

$$\mu'_{N,m} = 0.6243 \left( \frac{2.5}{1.3 + 2.5} \right) \left( e^{0.098(30-15)} \right) [1 - 0.833(7.2 - 8.0)]$$

$$= 2.97 \text{ ต่อวัน}$$

2. กำหนดค่าอัตราการใช้ในโตรเจนสูงสุด ( $k_N$ )

จากสมการ (3.5)

$$k_N = \frac{\mu'_{N,m}}{Y_N} \tag{3.5}$$

จากตาราง 3.20

$$Y_N = 1.94$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.5) จะได้

$$k_N = \frac{2.97}{1.94}$$

$$= 1.53 \text{ ต่อวัน}$$

3. กำหนดค่าอายุสลัดจ์ ( $\theta_c$ )

จากสมการ (3.4)

$$\frac{1}{\theta_{c,\min}} = Y_N k_N - k_{d,N} \tag{3.4}$$

จากตาราง 3.20

$$k_{d,N} = 1.47 \text{ ต่อวัน}$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.4) จะได้

$$\frac{1}{\theta_{c,\min}} = 1.94(1.53) - 1.47$$

$$\theta_{c,\min} = 0.66 \text{ วัน}$$

กำหนดค่า  $\theta_c$  จากสมการ (3.3)

$$\theta_c = (SF)(\theta_{c,\min}) \tag{3.3}$$

กำหนดให้

$$SF = 2.5$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.3) จะได้

$$\theta_c = (2.5)0.66 = 1.65 \text{ วัน}$$

4. กำหนดค่าอัตราการใช้ในโตรเจนต่อมวลจุลชีพในครีโพล ( $U_N$ )

จากสมการ (3.2)

$$\frac{1}{\theta_c} = Y_N U_N - k_{d,N} \quad (3.2)$$

$$\frac{1}{1.65} = 1.94 \frac{U_N}{N} - 1.47$$

$$U_N = 1.1 \text{ ต่อวัน}$$

### 5. คำนวณหาค่าแอมโมเนียในน้ำทิ้ง ( $N$ )

จากสมการ (3.9) และ (3.10)

$$U_N = \frac{k_N N}{(K_N + N)} \quad (3.9)$$

$$K_N = 10^{(0.0517 - 1.158)} \quad (3.10)$$

แทนค่าในสมการ (3.10) จะได้

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

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

แทนค่าต่างๆในสมการ (3.9) จะได้

$$1.1 = \frac{1.57 N}{(2.36 + N)}$$

$$N = 5.52 \text{ mg/L}$$

### 6. คำนวณหาเวลาเก็บกักของระบบไนทริฟิเคชัน ( $t$ )

จากสมการ (3.1)

$$t = \frac{(N_0 - N)}{U_N X_N} \quad (3.1)$$

กำหนดให้

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

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.1)

$$t = \frac{(210 - 5.52)}{(1.1)(48)}$$

$$= 3.87 \text{ วัน}$$

จากการคำนวณหาเวลาเก็บกักของกระบวนการไนทริฟิเคชัน พบว่า ใช้เวลา 3.87 วัน และต้องนำไปคูณกับค่า S.F. เท่ากับ 1.3 ดังนั้นระยะเวลาเก็บกักของกระบวนการไนทริฟิเคชัน เท่ากับ 5 วัน

ปริมาตร

การทราบระยะเวลากักเก็บหรือระยะเวลาในการเติมอากาศ ( $t$ ) ทำให้สามารถคำนวณปริมาตรของบ่อเติมอากาศได้โดยใช้สมการ (3.11)

$$V = Qt \quad (3.11)$$

$$V = Qt \quad (3.11)$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.11) จะได้

$$V = (500)(5) \\ = 2500 \text{ m}^3$$

หาขนาดของบ่อมีอากาศ (กว้าง ยาว ลึก)

กำหนดให้ บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง : ยาว = 1 : 5

น้ำลึกในถัง = 3 เมตร

ดังนั้น ขนาดพื้นที่ของบ่อ = ปริมาตร / น้ำลึก

$$= 2500/3 = 835 \text{ m}^2$$

$$= 835/1600 = 0.52 \text{ ไร่}$$

พื้นที่ของบ่อ = (กว้าง)(ยาว)

สมมติให้ X เป็น ความกว้างของบ่อ

5X เป็น ความยาวของบ่อ

$$\therefore \text{พื้นที่ของบ่อ} = (X)(5X)$$

$$835 \text{ m}^2 = 5X^2$$

$$X = 13 \text{ m}$$

$$\therefore \text{ความกว้างของบ่อ} = 13 \text{ m}$$

$$\text{ความยาวของบ่อ} = 65 \text{ m}$$

กำหนดให้ระยะผนังเหนือน้ำ = 0.50 m

$$\therefore \text{ความลึกของบ่อ} = 3.50$$

แสดงให้เห็นว่า ระบบบ่อมีอากาศ (กระบวนการไนตริฟิเคชัน) จะใช้เวลา 5 วัน มีปริมาตร 2500 ลบ.ม. มีขนาดกว้าง 13 เมตร ยาว 65 เมตร ลึก 3.50 เมตร และมีพื้นที่ 835 ตร.ม.หรือ 0.52 ไร่

### 3.6.1 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

การคำนวณเวลาของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และปริมาตรของบ่อไร้อากาศ (Anaerobic)

กำหนด

1. อัตราการไหลของน้ำเสีย (Q) = 500 m<sup>3</sup>/d
2. ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำออก (NO<sub>3</sub>, eff) = 10 mg/L
3. ความเข้มข้นของมวลของเฮเทอโรโทรฟ (X<sub>v</sub>) = 600 mg.MLVSS/L
4. ความเข้มข้นออกซิเจนละลาย (DO) = 0.2 mg/L

จากสมการ (3.7)

$$t = \frac{NO_{3,inf} - NO_{3,eff}}{U'_{DN} X_v} \quad (3.7)$$

และจากสมการ (3.8)

$$U'_{DN} = U_{DN} \times 1.09^{(T-20)} \times (1 - DO) \quad (3.8)$$

จากการคำนวณในการทดลองในหัวข้อ 3.4.1

$$U_{DN} \text{ ที่ } 20 \text{ } ^\circ\text{C} = 0.0228 \text{ mgNO}_3\text{-N / (mgMLVSS .d)}$$

แทนค่าลงในสมการ (3.8) จะได้

$$\begin{aligned} U'_{DN} &= 0.0228 \times 1.09^{(30-20)} \times (1 - 0.2) \\ &= 0.0432 \end{aligned}$$

หาค่าความเข้มข้นไนเตรต-ไนโตรเจนในน้ำเข้า

ซึ่งจากผลการทดลองที่ 3.3.2 พบว่า  $\text{NH}_4^+$  1 mg จะเกิด  $\text{NO}_3\text{-N} = 0.95 \text{ mg}$   
และเนื่องจากมี  $\text{NH}_4^+$  210 mg/L ดังนั้น ความเข้มข้นไนเตรต-ไนโตรเจนในน้ำเข้า ( $\text{NO}_{3,inf}\text{-N}$ )  
= 199.5 mg/L

และแทนค่าต่างๆ ลงในสมการ (3.7) จะได้

$$\begin{aligned} t &= \frac{199.5 - 10}{0.0432 \times 600} \\ &= 7.31 \text{ วัน} \end{aligned}$$

จากการคำนวณหาเวลาเก็บกักของกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน พบว่า ใช้เวลา 7.31 วัน

### ปริมาตร

จากสมการ (3.11)

$$V = Qt \quad (3.11)$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.11) จะได้

$$V = (500 \text{ m}^3/\text{day})(7.31 \text{ day}) = 3655 \text{ m}^3$$

หาขนาดของบ่อไร้อากาศ (กว้าง ยาว ลึก)

กำหนดให้ บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง : ยาว = 1 : 5

$$\text{น้ำลึกในถัง} = 4 \text{ m}$$

ดังนั้น ขนาดพื้นที่ของบ่อ = ปริมาตร / น้ำลึก

$$= 3655/4 = 914 \text{ m}^2$$

$$= 914/1600 = 0.57 \text{ ไร่}$$

พื้นที่ของบ่อ = (กว้าง)(ยาว)

สมมติให้ X เป็น ความกว้างของบ่อ

5X เป็น ความยาวของบ่อ

$$\therefore \text{พื้นที่ของบ่อ} = (X)(5X)$$

$$914 \text{ m}^2 = 5X^2$$

$$X = 13.50 \text{ m}$$

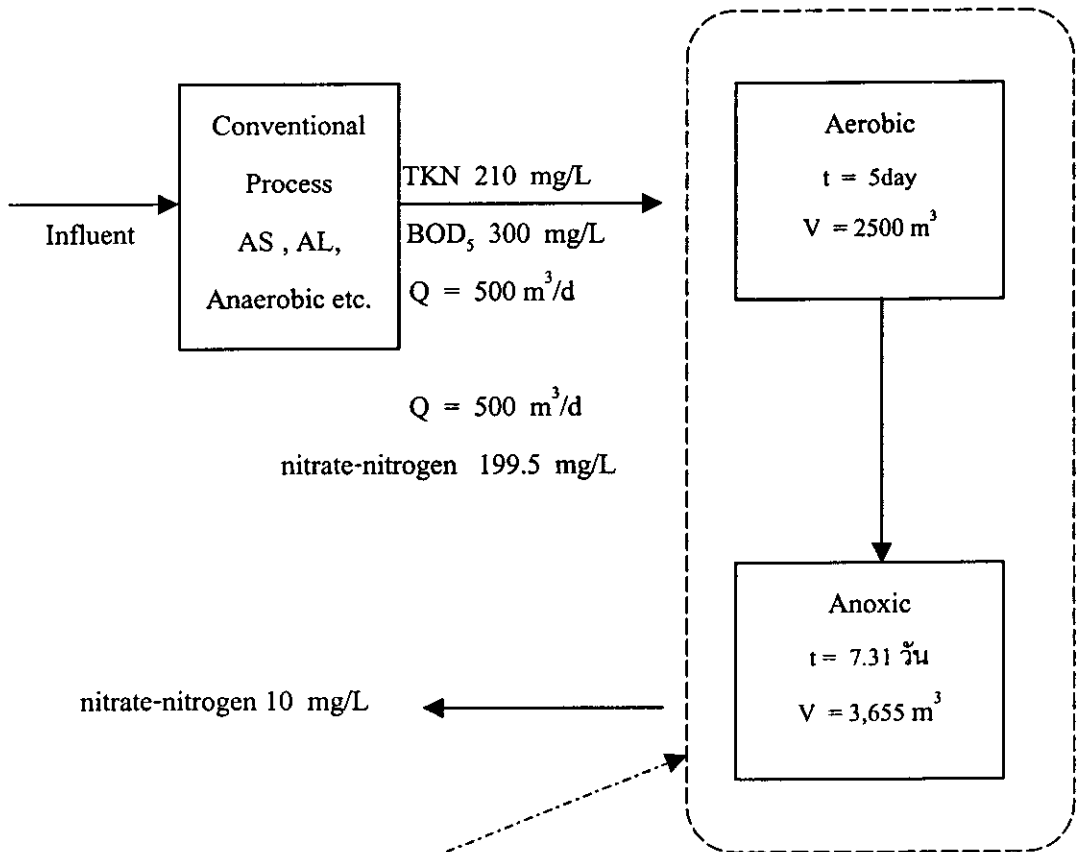
$$\therefore \text{ความกว้างของบ่อ} = 13.50 \text{ m}$$

$$\text{ความยาวของบ่อ} = 68 \text{ m}$$

$$\text{กำหนดให้ระยะผนังเหนือน้ำ} = 0.50 \text{ m}$$

$$\therefore \text{ความลึกของบ่อ} = 4.50 \text{ m}$$

แสดงให้เห็นว่า ระบบบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนทริฟิเคชัน) จะใช้เวลา 7.31 วัน มีปริมาตร  $3655 \text{ m}^3$  มีขนาดกว้าง 13.50 m ยาว 68 m ลึก 4.50 m และมีพื้นที่  $914 \text{ m}^2$  หรือ 0.57 ไร่



กระบวนการไนทริฟิเคชันและกระบวนการดีไนทริฟิเคชัน

สรุป แผนภาพการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพของน้ำเสียจริงจากโรงงานน้ำยางข้น



### 3.7 ผลการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพของน้ำเสียจริงจากการผลิตยางพาราแผ่นของสหกรณ์โรง รม

ลักษณะน้ำเสีย (ชอบ บูลูช่วย , 2541)

ความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 4,783 mg/L

ความเข้มข้น TKN เท่ากับ 131.99 mg/L

pH เท่ากับ 5.9

ความเข้มข้น NH<sub>3</sub>-N เท่ากับ 75.88 mg/L

ความเข้มข้นออกซิเจนละลาย (DO) ในกระบวนการไนทริฟิเคชัน เท่ากับ 2.08 mg/L

อุณหภูมิ เท่ากับ 26.3 °C

ขั้นตอนการลด BOD ในการกำจัดสารอินทรีย์เพื่อลดค่า BOD เพื่อให้ได้ค่าในระดับที่เหมาะสมในการกำจัดไนโตรเจน โดยระบบบำบัดทางชีวภาพที่ใช้ มีได้หลายแบบ แต่เนื่องจากสหกรณ์โรงรมมีกำลังการผลิตต่ำและมีผลประกอบการไม่ดีเท่าที่ควร และมีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูง เมื่อเทียบกับโรงงานขนาดใหญ่ จึงอาจจะไม่สามารถรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการเดินระบบที่มีค่าใช้จ่ายสูงได้ ดังนั้นจึงควรใช้ระบบที่มีค่าใช้จ่ายน้อยเช่นระบบบ่อบำบัดแบบไร้อากาศ เพื่อลดความเข้มข้น BOD<sub>5</sub> จาก 4,783 mg/L ให้เหลือประมาณ 300 mg/L ก่อนดำเนินการกำจัดไนโตรเจน ด้วยกระบวนการไนทริฟิเคชัน และดีไนทริฟิเคชัน

#### 3.7.1 กระบวนการไนทริฟิเคชัน

หลังจากที่ได้ทำการกำจัดสารอินทรีย์เพื่อให้ได้ค่าในระดับที่เหมาะสมกับกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ แล้ว ก็เริ่มด้วยกระบวนการไนทริฟิเคชันซึ่งเป็นขั้นตอนที่จะทำการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนเป็นไนเตรด ขั้นตอนนี้ใช้ระบบบ่อบำบัดแบบมีอากาศ

การคำนวณเวลาของกระบวนการไนทริฟิเคชัน และปริมาตรของบ่อบำบัดแบบมีอากาศ (Aerobic)

กำหนด

$$\text{อัตราการไหลของน้ำเสีย (Q)} = 500 \text{ m}^3/\text{d}$$

เวลา

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

จากสมการ (3.6)

$$\mu'_{N,m} = \mu_{N,m} \left( \frac{DO}{K_{DO} + DO} \right) \left( e^{0.098(T-15)} \right) [1 - 0.833(7.2 - pH)] \quad (3.6)$$

จากตาราง 1.2

$$K_{DO} = 1.3$$

และจากตาราง 3.20

$$\mu_{N,m} = 0.6243 \text{ ต่อวัน}$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.1)

$$\begin{aligned}\mu'_{N,m} &= 0.6243 \left( \frac{2.5}{1.3 + 2.5} \right) (e^{0.098(30-15)}) [1 - 0.833(7.2 - 8.0)] \\ &= 2.97 \text{ ต่อวัน}\end{aligned}$$

## 2. คำนวณหาค่าอัตราการใช้ไนโตรเจนสูงสุด ( $k_N$ )

จากสมการ (3.5)

$$k_N = \frac{\mu'_{N,m}}{Y_N} \quad (3.5)$$

จากตาราง 3.20

$$Y_N = 1.94$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.2)

$$\begin{aligned}k_N &= \frac{2.97}{1.94} \\ &= 1.53 \text{ ต่อวัน}\end{aligned}$$

## 3. คำนวณหาค่าอายุสลัดจ์ ( $\theta_c$ )

จากสมการ (3.4)

$$\frac{1}{\theta_{c,\min}} = Y_N k_N - k_{d,N} \quad (3.4)$$

จากตาราง 3.20

$$k_{d,N} = 1.47 \text{ ต่อวัน}$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.3)

$$\frac{1}{\theta_{c,\min}} = 1.94(1.53) - 1.47$$

$$\theta_{c,\min} = 0.66 \text{ วัน}$$

คำนวณหาค่า  $\theta_c$  จากสมการ (3.3)

$$\theta_c = (SF)(\theta_{c,\min}) \quad (3.3)$$

กำหนดให้

$$SF = 2.5$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.3)

$$\theta_c = (2.5)(0.66) = 1.65 \text{ วัน}$$

4. คำนวณหาค่าอัตราการใช้ในโตรเจนต่อมวลจุลชีพไนตริไฟต์ ( $U_N$ )

จากสมการ (3.2)

$$\frac{1}{\theta_c} = Y_N U_N - k_{d,N} \quad (3.2)$$

$$\frac{1}{1.65} = 1.94 U_N - 1.47$$

$$U_N = 1.10 \text{ ต่อวัน}$$

5. คำนวณหาค่าแอมโมเนียในน้ำทิ้ง ( $N$ )

จากสมการ (3.9) และ (3.10)

$$U_N = \frac{k_N N}{(K_N + N)} \quad (3.9)$$

$$K_N = 10^{(0.0517 - 1.158)} \quad (3.10)$$

แทนค่าในสมการ (3.10) จะได้

$$\begin{aligned} K_N &= 10^{((0.051 \times 30) - 1.158)} \\ &= 2.36 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

แทนค่าต่างๆในสมการ (3.9)

$$1.1 = \frac{1.53N}{(2.36 + N)}$$

$$N = 5.52 \text{ mg/L}$$

6. คำนวณหาเวลาเก็บกักของระบบไนตริฟิเคชัน ( $t$ )

จากสมการ (3.1)

$$t = \frac{(N_0 - N)}{U_N X_N} \quad (3.1)$$

กำหนดให้

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

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.1)

$$t = \frac{(131.99 - 5.52)}{(1.1)(48)}$$

$$= 2.39 \text{ วัน}$$

จากการคำนวณหาเวลาเก็บกักของกระบวนการไนตริฟิเคชัน พบว่า ใช้เวลา 2.39 วัน

## ปริมาตร

การทราบระยะเวลาที่เก็บหรือระยะเวลาในการเติมอากาศ ( $t$ ) ทำให้สามารถคำนวณปริมาตรของบ่อเติมอากาศได้โดยใช้สมการ (3.11)

$$V = Qt \quad (3.11)$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.11) จะได้

$$\begin{aligned} V &= (500)(2.39) \\ &= 1195 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

หาขนาดของบ่อมีอากาศ (กว้าง ยาว ลึก)

กำหนดให้ บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง : ยาว = 1 : 5

น้ำลึกในถัง = 3 เมตร

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ขนาดพื้นที่ของบ่อ} &= 1195/3 &&= 400 \text{ ตารางเมตร} \\ &= 400/1600 &&= 0.25 \text{ ไร่} \end{aligned}$$

พื้นที่ของบ่อ = (กว้าง)(ยาว) =  $(X)(5X)$

$$400 = 5X^2$$

$$X = \text{กว้าง} = 9 \text{ เมตร}$$

$$5X = \text{ยาว} = 45 \text{ เมตร}$$

กำหนดให้ระยะผนังเหนือน้ำ = 0.50 เมตร

$$\therefore \text{ลึก} = 3.50 \text{ เมตร}$$

แสดงให้เห็นว่า ระบบบ่อมีอากาศ (กระบวนการไนตริฟิเคชัน) จะใช้เวลา 2.39 วัน มีปริมาตร  $1195 \text{ m}^3$  มีขนาดกว้าง 9 เมตร ยาว 45 เมตร ลึก 3.50 เมตร และมีพื้นที่ 400 ตารางเมตร หรือ 0.25 ไร่

### 3.7.2 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

**การคำนวณเวลาของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และปริมาตรของบ่อไร้อากาศ (Anaerobic)**

กำหนด

1. อัตราการไหลของน้ำเสีย ( $Q$ ) =  $500 \text{ m}^3/\text{d}$
2. ความเข้มข้นไนเตรท ในน้ำออก ( $\text{NO}_3^-$ , eff) =  $10 \text{ mg/L}$
3. ความเข้มข้นของมวลของเฮเทอโรโทรฟ ( $X_v$ ) =  $600 \text{ mg.MLVSS/L}$
4. ความเข้มข้นออกซิเจนละลาย ( $\text{DO}$ ) =  $0.2 \text{ mg/L}$

## เวลา

จากสมการ (3.7)

$$t = \frac{NO_{3,inf} - NO_{3,eff}}{U_{DN}' X_v} \quad (3.7)$$

และจากสมการ (3.8)

$$U_{DN}' = U_{DN} \times 1.09^{(T-20)} \times (1 - DO) \quad (3.8)$$

จากตาราง 1.3

$$U_{DN}' \text{ ที่ } 20 \text{ องศาเซลเซียส} = 0.0228 \text{ mgNO}_3\text{-N / (mgMLVSS .d)}$$

แทนค่าลงในสมการ (3.8) จะได้

$$\begin{aligned} U_{DN}' &= 0.0228 \times 1.09^{(30-20)} \times (1 - 0.2) \\ &= 0.0432 \end{aligned}$$

หาค่าความเข้มข้นไนเตรดในน้ำเข้า

ซึ่งจากผลการทดลองที่ 3.3.2 พบว่า  $NH_4^+$  1 mg จะเกิด  $NO_3^- = 0.95$  mg

และเนื่องจากมี  $NH_4^+$  131.99 mg/L ดังนั้น ความเข้มข้นไนเตรดในน้ำเข้า ( $NO_{3,inf}^-$ ) = 125.39 mg/L

และแทนค่าต่างๆ ลงในสมการ (3.7) จะได้

$$\begin{aligned} t &= \frac{125.39 - 10}{0.0432 \times 600} \\ &= 4.45 \text{ วัน} \end{aligned}$$

### ปริมาตร

จากสมการ (3.11)

$$V = Qt \quad (3.11)$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (3.9) จะได้

$$V = (500 \text{ ลบ.ม./วัน}) 4.45 \text{ วัน} = 2225 \text{ m}^3$$

หาขนาดของบ่อไร้อากาศ (กว้าง ยาว ลึก)

กำหนดให้ บ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง : ยาว = 1 : 5

น้ำลึกในถัง = 4 เมตร

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ขนาดพื้นที่ของบ่อ} &= 2225/4 = 556 \text{ ตารางเมตร} \\ &= 556/1600 = 0.35 \text{ ไร่} \end{aligned}$$

พื้นที่ของบ่อ = (กว้าง)(ยาว) = (X)(5X)

$$556 = 5X^2$$

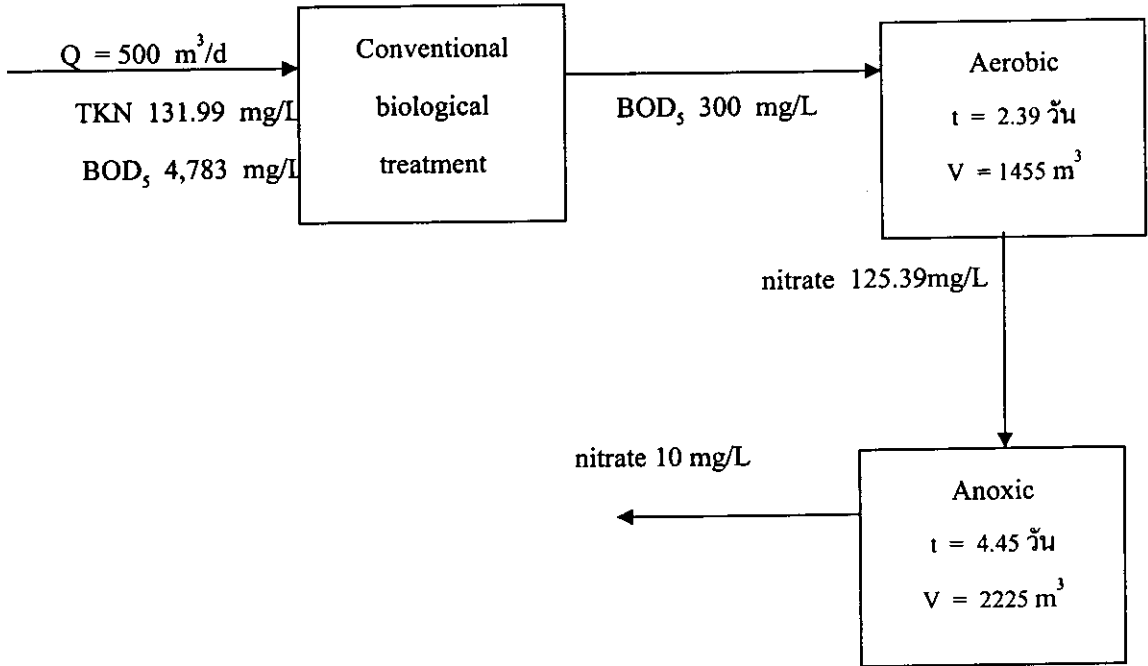
$$X = \text{กว้าง} = 10.5 \text{ เมตร}$$

5X = ยาว = 52.5 เมตร

กำหนดให้ระยะผนังเหนือน้ำ = 0.50 เมตร

∴ ลึก = 4.50 เมตร

แสดงให้เห็นว่า ระบบบ่อไร้อากาศ (กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน) จะใช้เวลา 4.45 วัน มีปริมาตร 2225 m<sup>3</sup> มีขนาดกว้าง 10.5 เมตร ยาว 52.5 เมตร ลึก 4.50 เมตร และมีพื้นที่ 556 ตารางเมตร หรือ 0.35 ไร่



**สรุป** แผนภาพการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพของน้ำเสียจริงจากการผลิตยางพาราแผ่นของ สหกรณ์โรงรม