



การพัฒนาวิธีควบคุมการบำบัดไนโตรเจนในกระบวนการเอสบีอาร์ โดยใช้
พารามิเตอร์โออาร์พีและพีเอช สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล
**Control Strategy Development for Nitrogen Removal in Sequencing
Batch Reactor Using Oxidation Reduction Potential and pH
for Seafood Wastewater.**

กฤษณะ รักษ์วงศ์

Kritsana Ruxwong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University**

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาวิธีควบคุมการบำบัดไนโตรเจนในกระบวนการเอสบีอาร์ โดยใช้
พารามิเตอร์ไออาร์พีและพีเอช สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล

ผู้เขียน นายกฤษณะ รัชวงศ์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ ศรีแดง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล อินทระสังขา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์)

.....กรรมการ
(ดร.ปิยะรัตน์ บุญแสวง)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ
สิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาวิธีการควบคุมการบำบัดไนโตรเจนในกระบวนการเอสบีอาร์ โดยใช้พารามิเตอร์โออาร์พีและพีเอชสำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล
ผู้เขียน	นายกฤษณะ รักษ์วงศ์
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลเป็นน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และธาตุอาหารในปริมาณสูง ต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ระบบบำบัดทางชีวภาพที่นิยมใช้ได้แก่ ระบบบำบัดแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ประเภทเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR) ซึ่งต้องมีการกำหนดช่วงเวลาในการกวนผสมและเติมอากาศโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้ควบคุมระบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาในการทำงานของระบบกับอัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดีโดยใช้ค่าโออาร์พี (Oxidation Reduction Potential, ORP) และพีเอช (pH) เป็นตัวชี้วัดเพื่อกำหนดช่วงเวลานี้นสูงสุดของแต่ละกระบวนการ งานวิจัยได้ทำการศึกษาโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในระบบเอสบีอาร์จำลองขนาดปริมาตร 10 ลิตร แล้วนำผลการทดลองดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ก่อนนำไปทดสอบใช้กับน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของช่วงเวลาในระบบเอสบีอาร์ที่มีอัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดีในช่วง 0.05 – 0.2 พบว่าช่วงเวลาที่ต้องใช้ในการกวนผสมเพื่อให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันสมบูรณ์สามารถทำนายจากความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาและอัตราส่วนในรูปแบบของสมการโมนอดไคเนติกส์ (Monod kinetics equation) ชนิด saturation และช่วงเวลาในการเติมอากาศเพื่อให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันสมบูรณ์สามารถทำนายโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าวในรูปแบบของสมการควอดราติก (Quadratic) จากการทดสอบบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล โดยกำหนดช่วงเวลาในการทำงานของระบบจากสมการที่ได้พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดที่เคเอ็นและซีโอดีสูงเฉลี่ยร้อยละ 97.4 และ 95.2 ตามลำดับ

Thesis Title	Control Strategy Development for Nitrogen Removal in Sequencing Batch Reactor Using Oxidation Reduction Potential and pH for Seafood Wastewater
Author	Mr. Kritsana Ruxwong
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2009

ABSTRACT

Wastewater from seafood industries contains organic carbon substance and nutrients, particularly nitrogen and phosphorus. It must be treated prior to discharging to natural water body. One of the preferential widely used biological treatment systems is Sequencing Batch Reactor (SBR) whose aerating period and nonaerating period must be strictly controlled by experienced operator. The objective of this research is to study the relationship between timing of aerating-nonaerating and the ratio of TKN:COD in the influent by using Oxidation Reduction Potential (ORP) and pH as the indicators to define the end of both periods. The 10-liter reactor was used to treat synthetic wastewater and build a mathematical model, and subsequently tested the model result with the real seafood industry wastewater.

According to the relationship derived from the TKN:COD ratio in a range of 0.05 – 0.2, in order to complete denitrification, the period of nonaerating (stirring) can be predict by Monod kinetics equation with saturation type equation. Meanwhile, the period of aerating to complete the nitrification can be predicted by Quadratic equation. The operating timings calculated by these equations were applied and the results shown that SBR had the efficiency of TKN and COD removal of 97.4 and 95.2 percent, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องด้วยความกรุณาอย่างสูงในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ การแก้ไขตรวจสอบข้อบกพร่องและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ จากคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณา ประเสริฐสิทธิ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ ศรีแดง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกุล อินทรสังขา และดร.ปิยะรัตน์ บุญแสวง ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณเจ้าของกิจการ ผู้จัดการ และบุคลากรทุกท่านของบริษัท ห้องเย็น โชติวัฒน์ หาดใหญ่ จำกัด (มหาชน) และบริษัท เอส. ซี. โชคูอิน จำกัด ที่กรุณาอนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีร่วมกับคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมและบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่น้องคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่าน บุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือให้กำลังใจและช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา สมาชิกในครอบครัวของผู้วิจัยทุกคนที่คอยเป็นแรงบันดาลใจ และคอยให้กำลังใจในการต่อสู้ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ จนสามารถทำให้การศึกษาในระดับปริญญาโทและการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

กฤษณะ รักษ์วงศ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(9)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(11)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 ตรวจสอบเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	27
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	27
2 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย	28
2.1 วัสดุและอุปกรณ์	28
2.2 วิธีการวิจัย	34
3 ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	43
3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	43
3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเอสบีอาร์โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์	45
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พี พีเอช และปริมาณอ็อกซิเจนต่าง ๆ ในกระบวนการดีไนตริเคชันและไนตริฟิเคชัน	47
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เคเอ็นต่อการกำหนดช่วงเวลาในกระบวนการ ดีไนตริเคชันและไนตริฟิเคชัน ในรูปแบบของสมการโมนอดคิเนติกส์ (Monod kinetics equation) ชนิด saturation	59
3.5 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเอสบีอาร์โดยใช้น้ำเสียจากโรงงาน อุตสาหกรรมอาหารทะเล	61
3.6 การประยุกต์ใช้ระบบเอสบีอาร์ในโรงงานอุตสาหกรรม	67

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
4.1 บทสรุป	69
4.2 ข้อเสนอแนะ	70
บรรณานุกรม	71
ภาคผนวก	76
ก ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสียและน้ำทิ้ง	77
ข ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เคเอ็นกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการ ดีในตรีพีเคชั่น	90
ค วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	91
ประวัติผู้เขียน	100

รายการตาราง

ตาราง	หน้า	
1.1	ลักษณะน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมอาหารทะเล	4
1.2	แสดงค่าอายุตะกอนในช่วงการทำงานต่างๆ	17
2.1	องค์ประกอบน้ำเสียสังเคราะห์	30
2.2	องค์ประกอบของสารละลาย Trace elements	30
2.3	รายละเอียดของการทดลอง	36
2.4	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษา	42
3.1	ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	44
3.2	ปริมาณซีไอดีและทีเคเอ็นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัด ที่สภาวะคงที่	46
3.3	เวลาที่ใช้ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและไนตริฟิเคชันที่สภาวะคงที่	49
3.4	ระยะเวลาการทำงานของระบบเอสบีอาร์ในชุดการทดลองที่ 6, 7 และ 8	62
3.5	ปริมาณซีไอดีและทีเคเอ็นของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล ที่ผ่านการบำบัด	63
3.6	ข้อมูลลักษณะน้ำเสียเข้าระบบเอสเอสของบริษัท เอส. ซี. โชนูอิน จำกัด ตั้งแต่ เดือนตุลาคม 2551 ถึง มกราคม 2552	67
3.7	จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด	68

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า	
1.1	ผังระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตกุ้งแช่แข็ง	3
1.2	ผังระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตปลาแช่แข็ง	3
1.3	ขั้นตอนในการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ	8
1.4	ขั้นตอนการทำงานของระบบ SBR	15
1.5	ขั้นตอนการทำงานของระบบ SBR ที่มีปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นก่อน	19
1.6	ขั้นตอนการทำงานของระบบ SBR ที่มีปฏิกิริยาคีโนตริฟิเคชันเกิดขึ้นก่อน	20
1.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง ORP และ pH ในช่วงที่มีปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาคีโนตริฟิเคชัน ในระบบ SBR	23
1.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง ORP และ pH ในช่วงที่มีปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาคีโนตริฟิเคชัน ในระบบ SBR	24
1.9	ความสัมพันธ์ระหว่างไออาร์พี พีเอช ดีโอ และสารประกอบไนโตรเจนในถังปฏิกรณ์	25
1.10	การเปลี่ยนแปลงค่าไออาร์พี พีเอช และสารประกอบไนโตรเจนระหว่างใน 1 รอบช่วงการทำงาน	26
2.1	ลักษณะบ่อปรับเสถียรของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล	28
2.2	จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล	29
2.3	แผนผังการติดตั้งระบบทีเคเอ็น ที่ใช้ในการทดลอง	33
2.4	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์จำลองที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ	33
2.5	จุดเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์จากท่อสูบตะกอนกลับเข้าถังเดิมอากาศ	34
2.6	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินการทดลองของชุดการทดลองที่ 1-5	37
2.7	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินการทดลองของชุดการทดลองที่ 6	38
2.8	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินการทดลองของชุดการทดลองที่ 7	39
2.9	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินการทดลองของชุดการทดลองที่ 8	40

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า	
3.1	ลักษณะน้ำทิ้งของชุดการทดลองที่ 4 เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ 5	47
3.2	ค่าไออาร์พีและพีเอชของชุดการทดลองที่ 1 TKN:COD 50:1000 mg/l	51
3.3	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของชุดการทดลองที่ 1 TKN:COD 50:1000 mg/l	51
3.4	ค่าความชันของค่าไออาร์พีของชุดการทดลองที่ 1 TKN:COD 50:1000 mg/l	52
3.5	ค่าความชันของค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ 1 TKN:COD 50:1000 mg/l	52
3.6	ค่าไออาร์พีและพีเอชของชุดการทดลองที่ 2 TKN:COD 100:1000 mg/l	53
3.7	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของชุดการทดลองที่ 2 TKN:COD 100:1000 mg/l	53
3.8	ค่าความชันของค่าไออาร์พีของชุดการทดลองที่ 2 TKN:COD 100:1000 mg/l	54
3.9	ค่าความชันของค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ 2 TKN:COD 100:1000 mg/l	54
3.10	ค่าไออาร์พีและพีเอชของชุดการทดลองที่ 3 TKN:COD 150:1000 mg/l	55
3.11	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของชุดการทดลองที่ 3 TKN:COD 150:1000 mg/l	55
3.12	ค่าความชันของค่าไออาร์พีของชุดการทดลองที่ 3 TKN:COD 150:1000 mg/l	56
3.13	ค่าความชันของค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ 3 TKN:COD 150:1000 mg/l	56
3.14	ค่าไออาร์พีและพีเอชของชุดการทดลองที่ 4 TKN:COD 200:1000 mg/l	57
3.15	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของชุดการทดลองที่ 4 TKN:COD 200:1000 mg/l	57
3.16	ค่าความชันของค่าไออาร์พีของชุดการทดลองที่ 4 TKN:COD 200:1000 mg/l	58
3.17	ค่าความชันของค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ 4 TKN:COD 200:1000 mg/l	58
3.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงเวลาในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันต่อ ทีเคเอ็น ในรูปของความสัมพันธ์แบบ Saturation	60
3.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงเวลาในกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อทีเคเอ็น ในรูปของความสัมพันธ์แบบควอดราติก	61
3.20	ค่าไออาร์พีและพีเอชของชุดการทดลองที่ 7 TKN:COD 90:1000 mg/l	65
3.21	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของชุดการทดลองที่ 7 TKN:COD 90:1000 mg/l	65
3.22	ค่าความชันของค่าไออาร์พีของชุดการทดลองที่ 7 TKN:COD 90:1000 mg/l	66
3.23	ค่าความชันของค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ 7 TKN:COD 90:1000 mg/l	66
3.24	กระบวนการบำบัดน้ำเสียของบริษัท เอส. ซี. โซคูอิน จำกัด	67

ศัพท์ กษณ์ คำ ย่อ และตั วย่อ อ

AS	=	Activated Sludge คือ จุลินทรีย์ที่เลี้ยงไว้ในถังเติมอากาศเพื่อให้กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย
BOD ₅	=	Biochemical Oxygen Demand คือ ปริมาณรวมของออกซิเจนละลายที่ถูกใช้ในเวลา 5 วัน โดยกระบวนการทางชีวภาพในการทำลายสารอินทรีย์
COD (TCOD)	=	Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณรวมของออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีการทางเคมี
DO	=	Dissolved Oxygen คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ น้ำเสียหรือของเหลวอื่น ๆ โดยปกติจะวัดเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร, ส่วนในล้าน (พีพีเอ็ม) หรือร้อยละของการอิ่มตัว
Eff	=	Effluent คือ น้ำออก, น้ำทิ้ง
EQ	=	Equalization Tank คือ ถังปรับสภาพน้ำเสีย
F/M	=	Food to Microorganism Ratio คือ ในระบบเอเอส หมายถึง ปริมาณของสารอินทรีย์หรือบีโอดี (กิโลกรัมต่อวัน) ที่ป้อนเข้าถังเติมอากาศต่อจำนวนจุลชีพ (กิโลกรัม) วัคในรูปของเอ็มแอลเอสเอส หรือเอ็มแอลวีเอสเอสที่มีอยู่ในถังเติมอากาศ
g/l	=	gram per litre คือ กรัมต่อลิตร
hr	=	hour คือ ชั่วโมง
Inf	=	Influent คือ น้ำเข้า
L	=	litre คือ ลิตร
max.	=	maximum คือ ค่ามากที่สุด
mg/l	=	milligrams per litre คือ มิลลิกรัมต่อลิตร
min	=	Minute คือ นาที
MLSS	=	Mixed Liquor Suspended Solids คือ ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอนในถังเติมอากาศ
mv	=	millivolt คือ มิลลิโวลต์
N ₂	=	Nitrogen gas คือ ก๊าซไนโตรเจน

ตั้ ญัตั้ กษณั้ คั้ ายั้ อและตั้ วยั้ อ(ตั้ อ)

NH ₄ ⁺ -N	=	Ammonia Nitrogen คั้ อ ปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจน
N ₂ O	=	Nitrous oxide คั้ อ ไนตรัสออกไซด์
NO	=	Nitrogen oxide คั้ อ ไนโตรเจนออกไซด์
NO ₂ -N	=	Nitrite Nitrogen คั้ อ ปริมาณของไนไตรต์ไนโตรเจน
NO ₃ -N	=	Nitrate Nitrogen คั้ อ ปริมาณของไนเตรตไนโตรเจน
ORP	=	Oxidation-Reduction Potential คั้ อ ความต่างศักย์ที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจากสารออกซิแดน ไปยังสารรีดักแทน
P	=	Phosphorus คั้ อ ปริมาณฟอสฟอรัส
pH	=	ค่าความเป็นกรดต่าง
PO ₄ -P	=	Phosphate คั้ อ ปริมาณฟอสเฟต
R ²	=	R-square คั้ อ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
Run No.	=	Run Number คั้ อ ลำดับชุดการทดลอง
SBOD ₅	=	Soluble Biochemical Oxygen Demand คั้ อ ปริมาณของออกซิเจนละลายในรูปที่ละลายอยู่ในน้ำที่ถูกใช้ในเวลา 5 วันโดยกระบวนการทางชีวภาพในการทำลายสารอินทรีย์
SBR	=	Sequencing Batch Reactor คั้ อ ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพประเภทหนึ่งพัฒนาให้มีการดำเนินงานแบบกะ หรือวัฏจักรโดยในแต่ละวัฏจักรจะมีช่วงเวลาของการควบคุมสภาพแวดล้อมและการดำเนินงานต่างๆ เพื่อประโยชน์ในการกำจัดสิ่งปะปนในน้ำเสีย เช่น บีโอดี ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน
SCOD	=	Soluble Chemical Oxygen Demand คั้ อ ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีการทางเคมีในรูปที่ละลายอยู่ในน้ำ
S.D.	=	Standard Deviation คั้ อ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SNH ₄ ⁺	=	Soluble Ammonia Nitrogen คั้ อ ปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนในรูปที่ละลายอยู่ในน้ำ

ตั้ ญัต กษณ์ คํ าย่ อและตั้ วย่ อ (ต่ อ)

SRT	=	Sludge Retention Time คือ ในกระบวนการเอเอส หมายถึง ระยะเวลาที่จุลชีพออยู่ในถังเดิมอากาศสามารถคำนวณได้โดยหาร น้ำหนักของของแข็งแขวนลอยในถังเดิมอากาศด้วยน้ำหนัก ของแข็งแขวนลอยที่ระบายออกจากระบบในแต่ละวัน
SS	=	Suspended Solids คือ ของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำหรือน้ำเสีย
STKN	=	Soluble Total Kjeldahl Nitrogen คือ ปริมาณรวมของไนโตรเจน อินทรีย์และแอมโมเนียไนโตรเจนในรูปที่ละลายอยู่ในน้ำ
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen คือ ปริมาณรวมของไนโตรเจนอินทรีย์ และแอมโมเนียไนโตรเจน
UASB	=	Upflow Anaerobic Sludge Blanket คือ วิธีบำบัดน้ำเสียชนิดหนึ่ง โดยการสร้างมวลจุลินทรีย์ไร้อากาศให้เป็นเม็ดตะกอนในชั้น สลัดจ์ด้านล่างของถังและให้น้ำเสียไหลขึ้นผ่านชั้นสลัดจ์นี้
°C	=	องศาเซลเซียส
ชม.	=	ชั่วโมง
ลบ.ม.	=	ลูกบาศก์เมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

อุตสาหกรรมอาหารทะเลมีการใช้น้ำในกระบวนการผลิต การล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ การล้างทำความสะอาดพื้นและอุปกรณ์ในโรงงานปริมาณมาก น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลมีสารอินทรีย์ที่ตรวจวัดในรูปของค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) หรือซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) และสารอาหารในรูปของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณสูง ซึ่งต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยทิ้งเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาต่อแหล่งรองรับน้ำตามธรรมชาติ เนื่องจากธาตุอาหารดังกล่าวเมื่ออยู่ในแหล่งน้ำปริมาณมากจะก่อให้เกิดสภาวะยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) โดยสังเกตได้จากการเจริญเติบโตของสาหร่ายเซลล์เดียวและพืชชั้นสูงในแหล่งน้ำส่งผลต่อสมดุลของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำและคุณภาพน้ำ (ชงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

การกำจัดธาตุอาหารในน้ำเสียด้วยวิธีชีวภาพเป็นวิธีที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีวภาพเป็นการใช้จุลินทรีย์ได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัว สาหร่ายรา และโรติเฟอร์ เป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนสภาพของเสียในน้ำให้อยู่ในสภาพที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะมลพิษต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ ระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูงวิธีหนึ่งในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนและธาตุอาหารในน้ำเสีย ในอดีตการควบคุมระบบเอสบีอาร์มักใช้ช่วงเวลาในการกำหนดช่วงการเติมอากาศและช่วงที่ไม่มีการเติมอากาศ โดยผู้ควบคุมระบบจะต้องอาศัยการสังเกตและปรับเปลี่ยนเวลาต่างๆ ของระบบเอสบีอาร์เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและเวลาการทำงานที่เหมาะสม งานวิจัยนี้เป็นการทดลองหาแนวทางในการควบคุมระบบเอสบีอาร์ให้มีประสิทธิภาพโดยการใช้ค่าโออาร์พี (Oxidation Reduction Potential, ORP) และพีเอช (pH) เป็นตัวชี้วัดเพื่อหาจุดสิ้นสุดของช่วงเวลาทั้งสองดังกล่าว เพราะการนำค่าโออาร์พีมาใช้เป็นตัวชี้วัดจะทำให้สามารถทราบถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบได้ดีกว่าการควบคุมค่าออกซิเจนละลาย ค่าออกซิเจนละลายสามารถวัดค่าได้ละเอียดเพียง 0.1-0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งการควบคุมกระบวนการในสภาวะที่ไม่มีอากาศถ้าตรวจวัดเพียงค่าออกซิเจนละลายก็จะทำให้ไม่สามารถทราบถึงปฏิกิริยาที่กำลังเกิดขึ้นได้เพียงพอ การควบคุมค่าโออาร์พีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบต่อเนื่องทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทันทีที่เกิดขึ้นในระบบ อย่างไรก็ตามสำหรับการนำค่าโออาร์พีมาควบคุมนั้นจะต้องหาค่าที่

เหมาะสมของน้ำเสียแต่ละประเภทก่อนเพราะน้ำเสียแต่ละประเภทจะมีค่าไออาร์พีที่แตกต่างกัน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 ลักษณะน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมอาหารทะเล

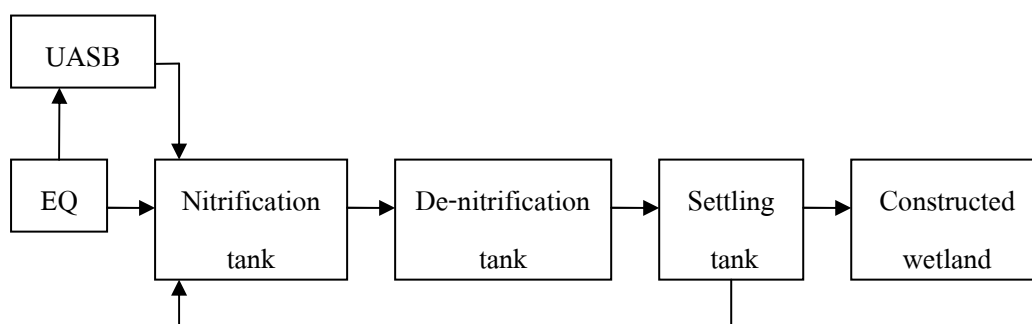
กระบวนการแปรรูปอาหารทะเลน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะและปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต ขนาดของโรงงาน และกรรมวิธีการผลิต น้ำทิ้งที่เกิดขึ้นประกอบด้วยเกลือที่ผสมกับน้ำแข็งในการแช่วัตถุดิบและใช้ในการปรุงรส ของแข็งแขวนลอยซึ่งได้แก่ เลือด ไขมัน และ โปรตีน

นุกูล อินทรสังขา และคณะ (2543) รายงานปัญหาน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมชีวภาพในจังหวัดสงขลาและจังหวัดพัทลุง จากการเก็บน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานอาหารทะเลและโรงงานแช่แข็งอาหารทะเลพบว่าในโรงงานอาหารทะเลกระป๋อง (seafood canning factory) ค่าความเค็ม (salinity) เฉลี่ย 1.53 ppt ความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.12 และในโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง (seafood frozen factory) ค่าความเค็มเฉลี่ย 0.73 ppt ความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.06

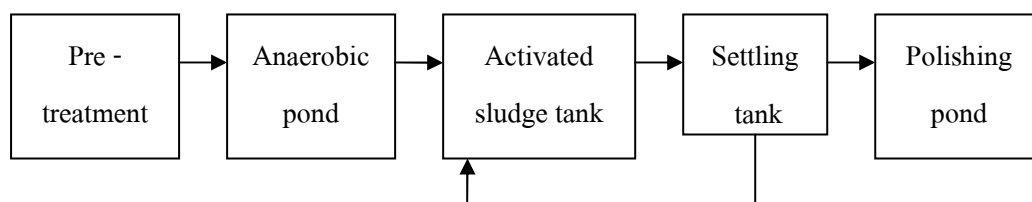
ชฎารัตน์ อนันต์ (2540) ได้รายงานเกี่ยวกับผลของค่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อการกำจัดธาตุอาหารในระบบแอนแอโรบิก – แอนอกซิก – แอโรบิก โดยการควบคุมอายุตะกอนเท่ากับ 10 วัน พบว่าระบบยังคงทำงานได้ดีเมื่อความเค็มของเกลือต่ำกว่า 10 ppt

Chevakidagarn (2004) รายงานเรื่อง “Improving removal capacities of existing activated sludge treatment plants in Southern Thailand” จากการสำรวจเก็บตัวอย่างน้ำที่จุดเก็บก่อนเข้าระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge, AS) ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตกุ้งแช่แข็ง ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดไนโตรเจน โดยใช้ถังกระบวนการไนตริฟิเคชันและกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ดังภาพประกอบที่ 1.1 โดยรับน้ำเสียจากโรงงานเข้าถังปรับสภาพน้ำเสีย (equalization tank) โดยน้ำเสียส่วนหนึ่งถูกส่งเข้าระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) น้ำเสียที่เข้าระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ของโรงงานจึงมีน้ำเสียมาจาก 2 ส่วนคือ น้ำจากถังปรับสภาพน้ำเสียและน้ำเสียที่ผ่านจากระบบยูเอเอสบีซึ่งมีลักษณะน้ำเสีย ดังแสดงในตารางที่ 1.1 และระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตปลาแช่แข็ง เป็นระบบบำบัดแบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์

แบบทั่วไปที่ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อกำจัดไนโตรเจนโดยเฉพาะดังภาพประกอบที่ 1.2 น้ำเสียจะผ่านการบำบัดขั้นต้นตามด้วยระบบแอนแอโรบิกก่อนเข้าระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยลักษณะน้ำเสียแสดงในตารางที่ 1.1



ภาพประกอบที่ 1.1 ฟังระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตกุ้งแช่แข็ง
ที่มา : Chevakidagarn (2004)



ภาพประกอบที่ 1.2 ฟังระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตปลาแช่แข็ง
ที่มา : Chevakidagarn (2004)

ตารางที่ 1.1 ลักษณะน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมอาหารทะเล

พารามิเตอร์	ระบบบำบัดของโรงงานผลิตกุ้งแช่แข็ง		ระบบบำบัดโรงงานผลิตปลาแช่แข็ง
	น้ำออกจาก UASB	น้ำออกจาก EQ	น้ำเข้าระบบ AS
pH	6.86 ± 0.16	7.37 ± 0.45	6.74 ± 0.21
อุณหภูมิ (°C)	23.1 ± 1.1	21.8 ± 1.7	29.8 ± 1.1
TBOD ₅ (mg/l)	68.1 ± 20.1	862.0 ± 184.6	183.7 ± 45.5
SBOD ₅ (mg/l)	18.8 ± 13.0	566.0 ± 223.9	100.5 ± 45.5
TCOD (mg/l)	184.2 ± 35.8	1618.2 ± 629.0	977.8 ± 206.5
SCOD (mg/l)	40.7 ± 18.3	1028.8 ± 314.0	221.5 ± 72.2
SS (mg/l)	212.8 ± 210.7	323.0 ± 182.0	1046.8 ± 1291.4
TKN (mg/l)	127.4 ± 60.8	185.3 ± 48.3	320.7 ± 49.9
NO ₃ -N (mg/l)	0.04 ± 13.1	3.1 ± 4.3	4.1 ± 5.8

คัดแปลงจาก : Chevakidagarn (2004)

หมายเหตุ : Mean ± S.D.

จากตารางที่ 1.1 การศึกษาของ Chevakidagarn (2004) ได้ทำการสำรวจเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ของระบบบำบัดโรงงานผลิตกุ้งแช่แข็งมีค่าซีโอดีและทีเคเอ็นที่ตรวจวัดจากบ่อปรับเสถียรคือ 1618.2 ± 629.0 และ 185.3 ± 48.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบบำบัดโรงงานผลิตปลาแช่แข็งมีค่าซีโอดีและทีเคเอ็นที่ตรวจวัดจากน้ำเสียก่อนเข้าระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ 977.8 ± 206.5 และ 320.7 ± 49.9 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.2.2 ผลกระทบของไนโตรเจนต่อสิ่งแวดล้อม

1.2.2.1 ปริมาณของออกซิเจนในน้ำลดต่ำลง

โดยทั่วไปน้ำเสียจะมีปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียมากกว่าความต้องการของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบให้มีการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนเพียงอย่างเดียวยังคงมีแอมโมเนียเหลืออยู่ เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งรองรับน้ำตามธรรมชาติแบคทีเรียที่ใช้ไนโตรเจนเป็นแหล่งพลังงานได้แก่ ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) จะเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรตซึ่งต้องใช้ปริมาณออกซิเจน

4.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ในกระบวนการไนโตรฟิกชันออกซิเจนในแหล่งน้ำตามธรรมชาติลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นหากแหล่งน้ำมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอก็จะทำให้น้ำเน่าเสีย

1.2.2.2 ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication)

ในอดีตสารประกอบฟอสฟอรัสเคยถูกมองว่าเป็นสารอาหารที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดยูโทรฟิเคชัน เนื่องจากเป็นปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเจริญเติบโตของพืชน้ำ (growth limiting factor) ปัจจุบันพบว่าพืชน้ำต้องการสารประกอบฟอสฟอรัสน้อยกว่าสารประกอบไนโตรเจนมากประมาณ 4–10 เท่า (คูโซค เปี่ยมชล, 2545) ยูโทรฟิเคชันเกิดจากสภาพน้ำมีสีเขียวเนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ของสาหร่ายเซลล์เดียว (Ospar, 1999) ปัญหายูโทรฟิเคชันเกิดขึ้นได้ถ้ามีความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารอินทรีย์ไนโตรเจนเกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลิตา เลี่ยมสงวน, 2540) เมื่อพืชน้ำเติบโตอย่างรวดเร็วในเวลากลางวันจะเกิดการสังเคราะห์แสงทำให้ปริมาณของออกซิเจนละลายน้ำมีปริมาณสูงขึ้นในขณะที่เวลากลางคืนพืชน้ำที่มีปริมาณมากจะต้องใช้ออกซิเจนในน้ำ ส่งผลให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจนและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและน้ำเน่าเสีย

1.2.2.3 ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

สารประกอบไนโตรเจนที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้แก่ แอมโมเนียไนโตรเจนปกติจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน เมื่อพีเอชมีค่าสูงกว่า 7 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนอิสระที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ในเทรตที่มีความเข้มข้นมากกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นพิษต่อปลา (เอกสิทธิ์ เศษพิริยชัย, 2542)

1.2.2.4 ผลต่อสุขภาพอนามัย

ในเทรตที่มีความเข้มข้นสูงในแหล่งน้ำถ้านำไปใช้สำหรับบริโภคสามารถทำให้เกิดอันตรายต่อเด็กทารกที่มีอายุต่ำกว่า 3 เดือน เนื่องจากในเทรตจะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินเกิดสาร methemoglobin ซึ่งเป็นการยับยั้งการรับส่งออกซิเจนในเส้นเลือดทำให้เกิดอาการตัวเขียว (blue baby)

1.2.2.5 การสิ้นเปลืองคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค

การเติมคลอรีนเพื่อการฆ่าเชื้อโรคในน้ำสำหรับใช้อุปโภคบริโภคจำเป็นต้องเติมในปริมาณมากพอที่ทำให้เกิดคลอรีนอิสระ (free residual chlorine) กรณีมีแอมโมเนียปนเปื้อนในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับคลอรีนจะได้สารประกอบคลอรามิน (chloramine) ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่ำกว่าคลอรีนอิสระ จึงต้องเพิ่มปริมาณคลอรีนมากขึ้น

จากผลกระทบของไนโตรเจนต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปล่อยสารประกอบไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้มีความจำเป็นต้องมีการกำจัดไนโตรเจนออกจากรู้น้ำให้ได้มากที่สุดก่อนปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ

1.2.3 การกำจัดไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำมีอยู่หลายรูปได้แก่ สารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนออกจากรู้น้ำสามารถทำได้ทั้งวิธีการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ

1.2.3.1 การกำจัดไนโตรเจนทางกายภาพ

(1) การเป่าอากาศ (air stripping) โดยการเติมอากาศลงในน้ำเพื่อไล่แอมโมเนียไนโตรเจนออกไปแต่วิธีการนี้ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนได้

(2) รีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis) เป็นการกรองน้ำโดยใช้เมมเบรน (membrane) สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ทุกรูปแบบ ประสิทธิภาพในการกำจัดขึ้นอยู่กับเมมเบรนที่ใช้

(3) การกรอง (filtration) เป็นการกำจัดไนโตรเจนได้เฉพาะสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแขวนลอยเท่านั้น

1.2.3.2 การกำจัดไนโตรเจนทางเคมี

(1) การเติมคลอรีน (chlorination) โดยที่แอมโมเนียในน้ำจะทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่เติมทำให้เกิดสารประกอบคลอรามิน

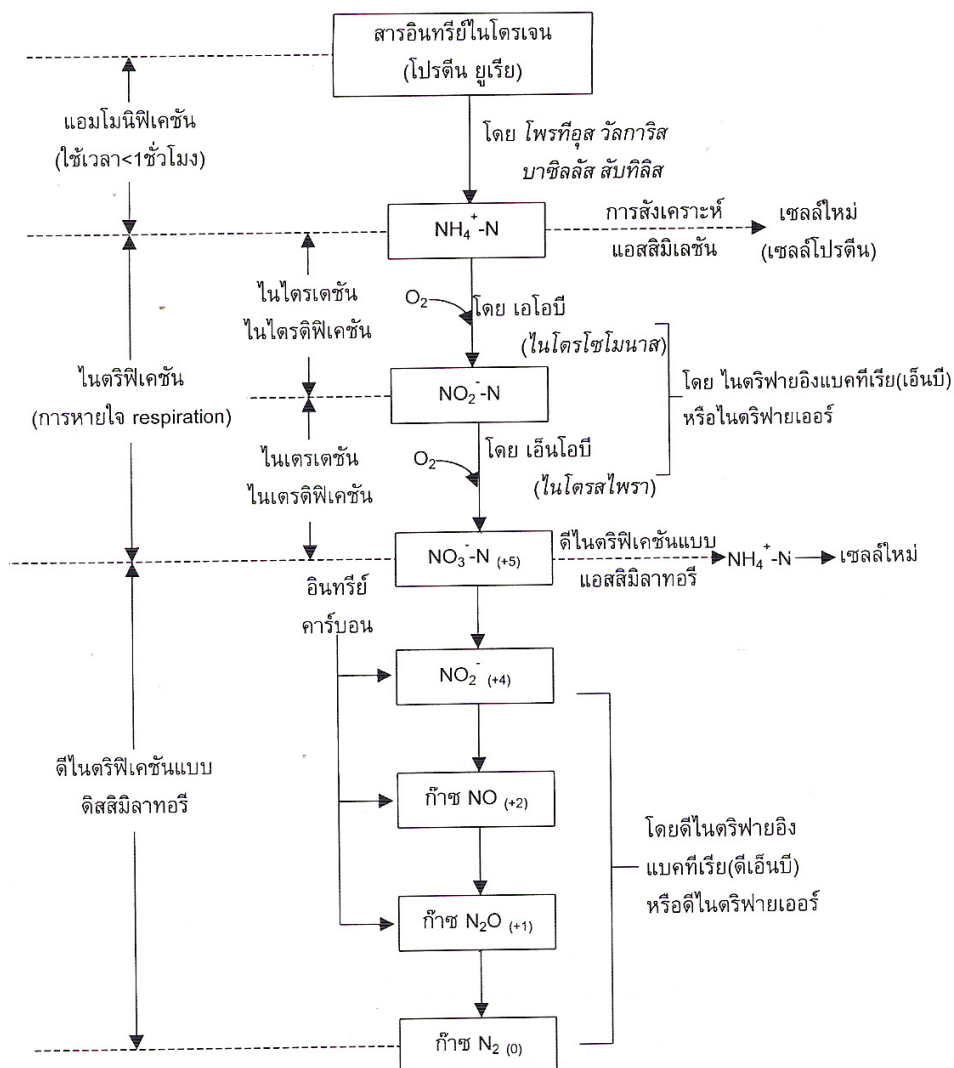
(2) การตกตะกอนทางเคมี (chemical coagulation) เป็นการเลือกใช้สารเคมีเพื่อตกตะกอนสารอินทรีย์ไนโตรเจนแต่ไม่สามารถที่จะกำจัดไนเตรตและแอมโมเนียได้

(3) การดูดซับด้วยคาร์บอน (carbon adsorption) เป็นการใช้อย่างถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ดูดซับสารอินทรีย์ในโตรเจนแต่ไม่สามารถกำจัดไนเตรตและแอมโมเนียได้

(4) การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) โดยการใช้เรซินประจุบวก (anion resin) หรือเรซินประจุลบ (cation resin) สามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนได้ทุกรูป ประสิทธิภาพการกำจัดสูง

1.2.3.3 การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ

การกำจัดไนโตรเจนโดยวิธีทางชีววิทยายจะใช้กระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียให้เป็นไนเตรตและเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยอาศัยจุลินทรีย์ วิธีการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่เสียค่าใช้จ่ายต่ำ และให้ประสิทธิภาพสูง การกำจัดไนโตรเจนโดยวิธีไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเป็นการออกซิไดซ์ แอมโมเนียทั้งหมดให้เป็นไนเตรต หลังจากนั้นเป็นการรีดิวซ์ไนเตรตเป็นก๊าซไนโตรเจนออกสู่อากาศโดยขั้นตอนการกำจัดไนโตรเจนอธิบายได้ดังภาพประกอบที่ 1.3



ภาพประกอบที่ 1.3 ขั้นตอนในการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ

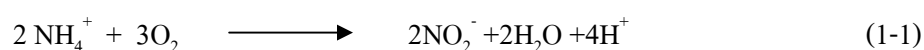
ที่มา: ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2545)

กระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification)

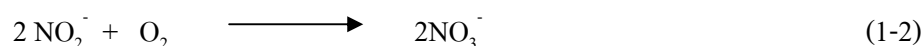
กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาทางชีวภาพซึ่งเป็นการออกซิไดซ์ของสารประกอบไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียให้สูญเสียอิเล็กตรอนแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของไนโตรเจน กระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนเท่านั้น แบคทีเรียที่สำคัญในกระบวนการไนตริฟิเคชันมี 2 ชนิด คือไนโตรโซโมนาส (*Nitrosomonas*) และไนโตรแบคเตอร์ (*Nitrobacter*) ซึ่งจะเรียกรวมกันว่าไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) จัดเป็นแบคทีเรียใน

กลุ่มออโตโทรฟิกแบคทีเรีย (Autotrophic bacteria) เมื่อแบคทีเรียออกซิไดซ์สารประกอบไนโตรเจนจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น 2 ขั้นตอน คือ

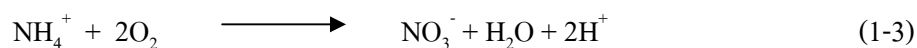
ขั้นตอนที่ 1 *Nitrosomonas* จะออกซิไดซ์แอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นไนไตรต์ดังสมการที่ (1-1)



ขั้นตอนที่ 2 *Nitrobacter* จะออกซิไดซ์ไนไตรต์เป็นไนเตรต ดังสมการที่ (1-2)



เมื่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นทั้ง 2 ขั้นตอนในสมการที่ (1-3) จะมีการผลิต H^+ ซึ่งทำให้พีเอชในระบบลดลง



โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ จะไม่เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์เนื่องจากในน้ำเสียมีสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่ย่อยสลายยากปนอยู่ส่งผลให้น้ำทิ้งมีสารอินทรีย์ไนโตรเจนเกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ปัจจัยที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันมีอยู่หลายปัจจัยซึ่งสามารถสรุปเป็นปัจจัยหลักๆ ได้ดังนี้

1) สารอาหาร

สารอาหารที่มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันได้แก่ปริมาณแอมโมเนียซึ่งจะถูกจุลินทรีย์เปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรต์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) โดยการเปลี่ยนรูปจากไนไตรต์ไปเป็นไนเตรตจะใช้เวลาเร็วกว่าการเปลี่ยนรูปจากแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์ ดังนั้นการกำหนดระยะเวลาของกระบวนการไนตริฟิเคชันควรคำนึงถึงอัตราเร็วในการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียไนไตรต์และไนเตรตเป็นหลัก (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2543)

2) อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีค่าอยู่ในช่วง 30–36 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกะทันหันส่งผลให้ระบบวิบัติได้เนื่องจากจุลินทรีย์หยุดทำงาน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

3) ออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen, DO)

การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นในช่วงที่ระบบมีสภาพแอโรบิกซึ่งต้องมีปริมาณออกซิเจนละลายมากพอ ดังนั้นค่าออกซิเจนละลายที่จำเป็นจึงไม่ควรต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร การมีค่าออกซิเจนละลายสูงส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน (Baikun, 2007) แต่หากมีการเติมอากาศมากเกินไปทำให้ค่าออกซิเจนละลายสูงเกินไปทำให้เปลืองพลังงานที่ใช้ในการบำบัด

4) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันมีความไวต่อพีเอชมากเนื่องจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของไนตริฟายอิงแบคทีเรียและในกระบวนการไนตริฟิเคชันต้องใช้สภาพด่างของน้ำเสี้ยว (alkalinity) ซึ่งทำให้ค่าพีเอชของระบบลดต่ำลง (Orhon & Artan, 1994) ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกระบวนการไนตริฟิเคชันจะอยู่ในช่วง 7.2–8.0 (Srinath, 1976)

5) ความเค็ม

โซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) มีผลทางลบต่อไนตริฟายอิงแบคทีเรียแต่แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถปรับตัวเข้ากับความเค็มได้ดีพอควร และพบว่าการเพิ่มสูงขึ้นของโซเดียมคลอไรด์ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและไนโตรเจนลดต่ำลง ซึ่งไนตริฟายอิงแบคทีเรียจะทำงานได้ดีขึ้นหากมีการปรับตัวให้เข้ากับคลอไรด์ในน้ำตัวอย่าง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

6) อายุตะกอน

อายุตะกอนของระบบบำบัดที่ต้องการให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันจะต้องมีอายุตะกอนประมาณ 2-3 วัน และเมื่ออายุตะกอนเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเพิ่มขึ้นไปด้วย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

7) สารพิษ

สารหลายชนิดเมื่อมีความเข้มข้นสูงสามารถยับยั้งการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ เช่น ซัลไฟด์ ไซยาไนต์ ตะกั่ว ทองแดง หรือสังกะสี เป็นต้น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

กระบวนการดีไนตริฟิเคชันมี 2 วิธี คือ

1) วิธีดีไนตริฟิเคชันแบบแอสสิมิเลชัน (assimilation) ซึ่งแบคทีเรียใช้ในเทรตเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับสร้างเซลล์

2) วิธีดิสสิมิเลชัน (dissimilation) คือการลดรูปไนโตรตและไนเทรตเป็นก๊าซไนโตรเจนซึ่งสามารถทำได้ 2 รูปแบบ ดังนี้

1) การใช้สารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกสามารถทำได้โดยการเติมเมทานอล (CH_3OH) หรือกรดอะซิติก (CH_3COOH) เข้าสู่ระบบและแหล่งคาร์บอนจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ

2) การใช้สารอินทรีย์คาร์บอนจากภายใน คือ การให้แบคทีเรียใช้แหล่งคาร์บอนที่มีอยู่ในเซลล์

ปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

1) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

สถานะของค่าพีเอชที่เหมาะสมในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันอยู่ในช่วง 7.0–9.0 (Henze, 1997) กรณีค่าพีเอชต่ำกว่า 7.0 หรือสูงกว่า 9.0 จะส่งผลให้อัตราการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันต่ำลง

2) ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen, DO)

ออกซิเจนละลายในน้ำเป็นการขัดขวางการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ออกซิเจนจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนไนเทรตทำให้อัตราการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันลดลง ค่าออกซิเจนละลายควรมีค่าใกล้เคียง 0 มิลลิกรัมต่อลิตร หากน้ำมีค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้สามารถยับยั้งการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545)

3) อุณหภูมิ

กระบวนการดีไนตริฟิเคชันสามารถเกิดได้ในช่วงอุณหภูมิ 10–40 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้มากกว่าอุณหภูมิต่ำ ในกรณีที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจะต่ำกว่าที่อุณหภูมิสูง (Grady & Lim, 1980)

4) ความเค็ม

ความเค็มในรูปของโซเดียมคลอไรด์มีผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรีย โดยเฉพาะเมื่อมีการเพิ่มปริมาณความเค็มอย่างกะทันหันเชื้อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียที่มีความเค็มได้แต่ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีและทีเคเอ็นลดน้อยลง (สุโขค เปี่ยมชล, 2545)

5) อายุตะกอน

ระบบที่ต้องการให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันในถังเดียวกัน การเพิ่มอายุตะกอนจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนโดยรวมดีขึ้น (ชาญศักดิ์ ชาญนวล, 2542) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดสารอินทรีย์ ในโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากโรงงานปลาหนึ่งโดยควบคุมอายุตะกอนที่ 10, 20 และ 30 วัน พบว่าที่อายุตะกอนเท่ากับ 20 วัน ระบบเอสบีอาร์มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

6) ความเข้มข้นของไนไตรต์

ความเข้มข้นของกรดไนตริก (HNO₂) เพียง 0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Abeling, 1992)

7) อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน

อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนของน้ำเสียที่เหมาะสมเท่ากับ 5-10 กรณีมีอัตราส่วนที่ต่ำจำเป็นต้องเติมแหล่งคาร์บอนจากภายนอกเข้าไปในระบบเพื่อรักษาอัตราส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจุลินทรีย์ต้องใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานในการทำงานถ้าแหล่งคาร์บอนไม่เพียงพอต่อความต้องการก็จะส่งผลต่อการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Isaac, 1995)

1.2.4 กระบวนการ Sequencing Batch Reactor (SBR)

ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียอีกระบบหนึ่งที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมปัจจุบันระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีการพัฒนาระบบโดยการแยกถังตกตะกอนออกจากถังเติมอากาศเป็นการหมุนเวียนตะกอนออกจากถังเติมอากาศ มีการควบคุมค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M Ratio) หรือค่าอายุตะกอน (sludge retention time, SRT) และมีการระบายตะกอนบางส่วนออกจากระบบ เพื่อรักษาความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศให้เหมาะสมแต่การควบคุมระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ต้องอาศัยบุคลากรที่มีความรู้และความชำนาญสูงเนื่องจากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์อาจประสบปัญหาน้ำเสียที่ผ่านจากระบบมีคุณภาพต่ำ ระบบเอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดประเภทหนึ่งในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่มีการทำงานไม่ยุ่งยากและซับซ้อน ปัจจุบันพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียเอสบีอาร์มีการพัฒนาระบบทำให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับระบบบำบัดน้ำเสียแบบการไหลต่อเนื่อง (continuous flow)

ระบบเอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาที่มีจุลินทรีย์อยู่ในระบบมีลักษณะเป็นตะกอนแขวนลอย กระบวนการทำงานของระบบเป็นแบบแบตช์ (batch) ใช้ถังปฏิกรณ์ทำหน้าที่เป็นทั้งถังเติมอากาศและถังตกตะกอน การทำงานเริ่มต้นจากสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ที่มีจุลินทรีย์อยู่จนเต็มถัง แล้วทำการเติมอากาศเพื่อให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์ในการกำจัดน้ำเสีย เมื่อเติมอากาศได้ระยะหนึ่งจะทำการหยุดการเติมอากาศ เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนและแยกออกจากน้ำ จากนั้นทำการปล่อยน้ำใสทิ้งให้เหลือเฉพาะตะกอนจุลินทรีย์อยู่ในระบบ ระบบเอสบีอาร์ที่ใช้เวลาเป็นตัวกำหนดขั้นตอนการทำงานมีลำดับการทำงาน 5 ขั้นตอน ดังภาพประกอบที่ 1.4

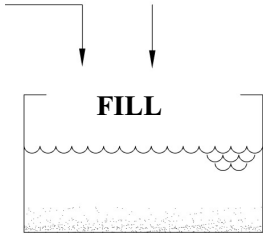
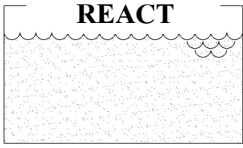
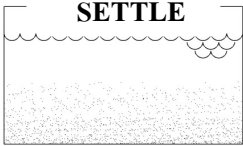
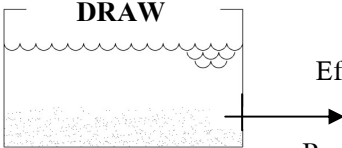
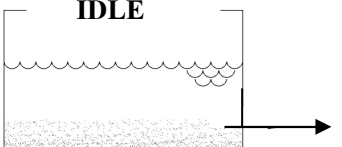
ขั้นตอนที่ 1 ช่วงการป้อนน้ำเสีย (fill period) เป็นการรับน้ำเสียจากกระบวนการเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ที่มีจุลินทรีย์อยู่ในถัง ปริมาณน้ำเสียเริ่มต้นอาจต่ำกว่าร้อยละ 25 ของปริมาณถัง ซึ่งเป็นปริมาณน้ำเสียในช่วงสุดท้ายของช่วงพัก (idle) เวลาที่ใช้ในการเติมน้ำเสียคิดเป็นร้อยละ 25 ของเวลาทั้งหมดในวัฏจักร ในช่วงการเติมน้ำเสียอาจเติมอากาศหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการบำบัด

ขั้นตอนที่ 2 ช่วงการเกิดปฏิกิริยา (react period) ในช่วงนี้มีการเติมอากาศเข้าระบบเพื่อกำจัดน้ำเสียใช้เวลาร้อยละ 35 ของวัฏจักร

ขั้นตอนที่ 3 ช่วงการตกตะกอน (settle period) ขั้นตอนการตกตะกอนเป็นการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (treated effluent) การตกตะกอนในระบบเอสบีอาร์มีประสิทธิภาพมากกว่าการตกตะกอนในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบต่อเนื่อง (continuous activated sludge system) ระยะการตกตะกอนไม่ควรใช้เวลามากเกินไปเพราะทำให้ตะกอนลอยตัวระยะเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนประมาณร้อยละ 20 ของวัฏจักร

ขั้นตอนที่ 4 ช่วงการระบายน้ำทิ้ง (draw period) น้ำในส่วนบนถูกปล่อยออกจากระบบ การระบายน้ำทิ้งควรใช้ระบบถ่ายเทน้ำแบบหมุนลอยดูน้ำหรือสายปรับระดับ ช่วงการระบายน้ำใช้เวลาประมาณร้อยละ 15 ของวัฏจักร

ขั้นตอนที่ 5 ช่วงการพักระบบ (idle period) หลังจากการระบายน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายเป็นช่วงการทำให้ระบบอยู่นิ่งก่อนการเติมน้ำเสียเข้าไปในถังปฏิกรณ์ใหม่อีกครั้ง เพื่อเตรียมเวลาสำหรับถึงปฏิกิริยาแรกให้มีช่วงการป้อนน้ำเสียที่สมบูรณ์ ช่วงการพักระบบเป็นช่วงที่สามารถละเว้นได้ การระบายตะกอนในระบบเอสปีอาร์สามารถทำได้ทั้งในช่วงการตกตะกอน ช่วงการป้อนน้ำเสียหรือในช่วงการเกิดปฏิกิริยา ปริมาณตะกอนที่ถูกระบายออกขึ้นอยู่กับค่าอายุตะกอน ระบบเอสปีอาร์ไม่มีการหมุนเวียนตะกอน เนื่องจากการเติมอากาศและการตกตะกอนเกิดขึ้นในถังเดียวกัน แต่ละวัฏจักรใช้เวลาเท่ากับ 1 วัน หรือต่างจากนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำเสีย โดย 1 วัฏจักรแบ่งช่วงเวลาออกเป็นร้อยละ ระยะเวลาในการบำบัดทั้งหมดเป็นการรวมเวลาของแต่ละขั้นตอนตั้งแต่การป้อนน้ำเสียเข้าถังแรกจนถึงปลายช่วงพักของถังสุดท้าย ระบบเอสปีอาร์สามารถเปลี่ยนแปลงเวลา ขั้นตอนการทำงาน เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการบำบัดได้

Percent of max. volume	Cycle time (%)	Influent	Purpose	Operation
20 to 25	25		Add substrate	Air On/Off
100	35		Reaction time	Air On/Cycle
100	20		Clarity	Air Off
100 to 35	15		Remove effluent	Air Off
35 to 25	5		Waste sludge	Air On/Off

ภาพประกอบที่ 1.4 ขั้นตอนการทำงานระบบเอสปีอาร์
 ที่มา : Metcalf และ Eddy (2004)

ข้อได้เปรียบของระบบเอสปีอาร์ เมื่อเทียบกับระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ (activated sludge) ทั่วไป

- 1) ระบบบำบัดใช้ถังปฏิกริยาเพียงถังเดียว โดยจะเป็นทั้งถังปรับสภาพน้ำเสีย (equalization-tank) ถังเติมอากาศ (aeration tank) และถังตกตะกอน (sedimentation tank) ทำให้ประหยัดพื้นที่ในการก่อสร้าง
- 2) ทำการเดินระบบและควบคุมดูแลระบบได้ง่าย
- 3) สามารถรับน้ำเสียที่มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการนำน้ำเสียเข้าระบบ (volumetric-loading) น้ำเสียที่เข้าระบบถูกเจือจางลงโดยน้ำในถังปฏิกริยา
- 4) สามารถเปลี่ยนแปลงวัฏจักรการทำงานของระบบให้เหมาะสมกับลักษณะและปริมาณน้ำเสียได้
- 5) ตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้นในระบบเอสปีอาร์มีจำนวนน้อยมาก ทำให้ดูแลระบบง่ายกว่าระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ทั่วไป
- 6) การแยกตัวระหว่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว กับตะกอนจุลินทรีย์ในช่วงตกตะกอนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ใกล้อุณหภูมิต่ำ
- 7) สามารถควบคุมให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน หรือการกำจัดฟอสฟอรัส (phosphorus removal) ได้ โดยไม่ต้องเติมสารเคมีแต่ใช้วิธีควบคุมวัฏจักรของการบำบัด และเป็นข้อได้เปรียบกว่าระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ทั่วไป
- 8) ลดโอกาสการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ประเภทเส้นใย เนื่องจากค่าบีโอดี (BOD loading) ในถังปฏิกริยามีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการบำบัด
- 9) ลดปัญหาการนำตะกอนหมุนเวียนกลับจากถังตกตะกอนไปยังถังเติมอากาศ
- 10) ใช้เวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ทั่วไป
- 11) การประยุกต์ใช้ระบบเอสปีอาร์ในการกำจัดไนโตรเจนสามารถทำได้โดยให้ระบบเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

1.2.5 การควบคุมอายุตะกอนในระบบเอสปีอาร์

อายุตะกอน (sludge age) เป็นค่าที่มีความสำคัญในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง อายุตะกอนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) การควบคุมอายุตะกอนให้คงที่ จะทำให้อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์มีค่าคงที่ตามไปด้วย (สุริ ขาวเขียว และคณะ, 2538)

ตารางที่ 1.2 แสดงค่าอายุตะกอนในช่วงการทำงานต่างๆ

รูปแบบของกระบวนการ	ค่าอายุตะกอน (วัน)
อัตราการบำบัดสูง	น้อยกว่า 3
อัตราการบำบัดธรรมดา	5-15
อัตราการบำบัดต่ำ	มากกว่า 20

ที่มา : สุริ ขาวเขียว และคณะ (2538)

การควบคุมอายุตะกอนในช่วงการทำงานต่างๆ เป็นการควบคุมอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ และเป็นการคัดเลือกชนิดของจุลินทรีย์ให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน หากลดค่าอายุตะกอนให้ต่ำกว่า 7-10 วัน จะทำให้จุลินทรีย์กลุ่มนี้เจริญเติบโตไม่ทันและหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง ส่งผลให้ระบบไม่สามารถเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ถึงเติมอากาศที่มีการกวนแบบสมบูรณ์ (completely mixed) ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ (Mixed Liquor-Suspended Solids, MLSS) มีค่าเท่ากันทั่วถึงปฏิกรณ์ การควบคุมการทำงานโดยใช้ค่าอายุตะกอนสามารถทำได้ โดยการนำตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินออกมาทิ้งโดยตรงจากถังเติมอากาศ ระบบเอสปีอาร์สามารถควบคุมอายุตะกอนได้โดยการถ่ายตะกอนส่วนเกินออกในช่วงท้ายของการเกิดปฏิกิริยา (react period) หรือถ่ายตะกอนออกในช่วงพักของระบบ (idle period) หลังจากระบบถ่ายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วก่อนจะเติมน้ำเข้าในระบบอีกครั้ง การถ่ายตะกอนในช่วงพักจะทำให้ตะกอนมีความเข้มข้นมากกว่าในช่วงเกิดปฏิกิริยาทำให้ปริมาณน้ำที่ถ่ายออกมีปริมาตรที่น้อยกว่า การควบคุมอายุตะกอนสามารถคำนวณได้จากสมการ 1-4

$$\text{อายุตะกอน} = \frac{\text{น้ำหนักรวมของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ}}{\text{น้ำหนักรวมของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบต่อวัน}} \quad (1-4)$$

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2545)

ชาญศักดิ์ คุชานูบาล (2542) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสปีอาร์ในการบำบัดสารอินทรีย์ในโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากโรงงานปลาหนึ่ง จากผลการทดลองพบว่าสถานะที่เหมาะสมในการควบคุมระบบเอสปีอาร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดจากการทดลองคือช่วงเวลาแอนอกซิก 3 ชั่วโมง และระยะเวลาเก็บกักตะกอน 20 วัน โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ร้อยละ 98.7 ในโตรเจนร้อยละ 97.44 และฟอสฟอรัสร้อยละ 99.28

อัจฉรา จันทร์อารีย์ (2538) ได้ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียโดยใช้ถังปฏิกริยาชนิดถังที่มีการเติมอากาศแบบไม่ต่อเนื่อง จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออายุตะกอนมากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีและทีเคเอ็นสูงขึ้น โดยที่อายุตะกอน 15 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีร้อยละ 97.93 และทีเคเอ็นร้อยละ 93.69

1.2.6 กระบวนการเอสปีอาร์ในการบำบัดไนโตรเจน

การบำบัดไนโตรเจนในระบบเอสปีอาร์โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นในระบบก่อนกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานของระบบได้ดังนี้ (ภาพประกอบที่ 1.5)

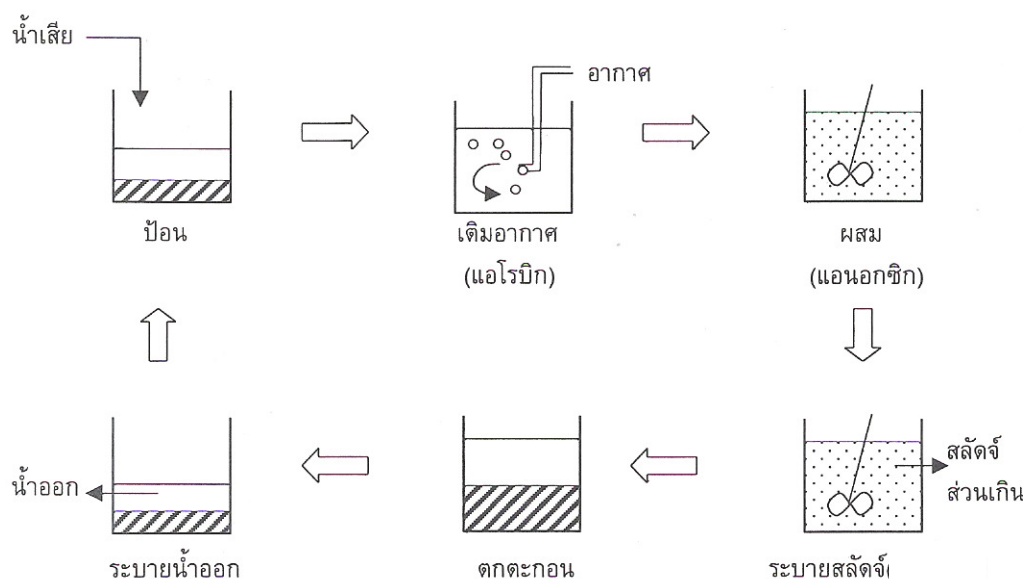
ขั้นตอนที่ 1 ช่วงการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ

ขั้นตอนที่ 2 ช่วงการเติมอากาศ ในขั้นตอนนี้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้นในระบบ ค่าบีโอดีและค่าทีเคเอ็นจะลดลงแอมโมเนียถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรต

ขั้นตอนที่ 3 ช่วงการกวนในสถานะแอนอกซิก (anoxic) ในขั้นตอนนี้เป็นการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันขึ้นในระบบ มีการเติมน้ำเสียเข้ามาในระบบเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

ขั้นตอนที่ 4 ช่วงการตกตะกอน ขั้นตอนนี้เป็นการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่มีการบำบัดแล้ว

ขั้นตอนที่ 5 ช่วงระบายน้ำทิ้ง น้ำใสส่วนบนที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกระบายออกจากระบบ



ภาพประกอบที่ 1.5 ขั้นตอนการทำงานระบบเอสปีอาร์ที่มีกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นก่อน
ที่มา : ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2545)

ส่วนการบำบัดไนโตรเจนในระบบเอสปีอาร์ที่กระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นในระบบก่อนกระบวนการไนตริฟิเคชัน สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานของระบบได้ดังนี้ (ภาพประกอบที่ 1.6)

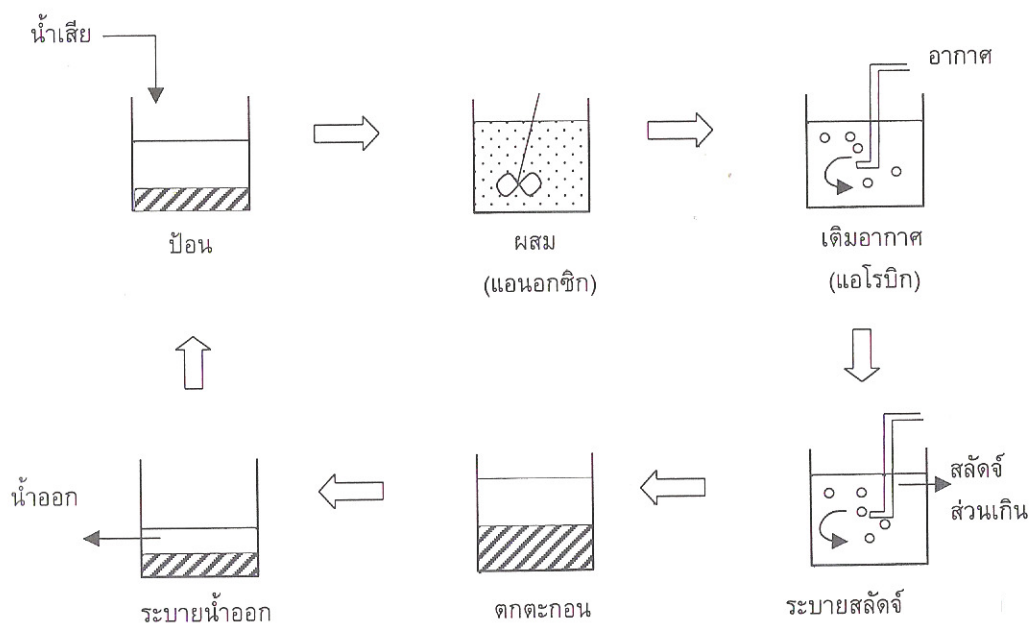
ขั้นตอนที่ 1 ช่วงป้อนน้ำเสียเข้าระบบโดยมีการกวนหรือไม่มีการกวน ในขั้นตอนนี้ค่าบีโอดี และทีเคเอ็นสูงขึ้น แต่ไนเตรตจะมีค่าลดลงเนื่องจากการเจือจางภายในระบบ

ขั้นตอนที่ 2 ช่วงการกวนในสถานะแอนอกซิก แหล่งคาร์บอนจากน้ำเสียทำให้ค่าบีโอดี และ ไนเตรตลดลง กระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้เมื่อไม่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในระบบ

ขั้นตอนที่ 3 ช่วงการเติมอากาศ ขั้นตอนนี้จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะมีค่าสูงขึ้น ค่าบีโอดีและทีเคเอ็นลดลง แอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปไนเตรตด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

ขั้นตอนที่ 4 ช่วงการตกตะกอน ขั้นตอนนี้เป็นการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่มีการบำบัดแล้ว

ขั้นตอนที่ 5 ช่วงระบายน้ำทิ้ง น้ำใสส่วนบนที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกระบายออกจากระบบ



ภาพประกอบที่ 1.6 ขั้นตอนการทำงานระบบเอสปีอาร์ที่มีปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นก่อน
ที่มา : ชงชัย พรรณสวัสดิ์ (2545)

การกำหนดรอบการทำงานระบบเอสปีอาร์ที่มีกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นก่อน
ข้อดีคือ ระบบสามารถรับน้ำเสียจากรอบการทำงานในช่วงต้นที่มีการเติมน้ำเสียเข้าระบบใช้เป็น
แหล่งคาร์บอนในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันทำให้ประหยัดสารเคมีที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอน

1.2.7 การใช้ค่าโออาร์พีและพีเอชในการควบคุมระบบเอสปีอาร์

ค่าโออาร์พีคือค่าที่แสดงความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของสารละลาย กรณีที่ค่า
โออาร์พีมีค่าเป็นบวกสูง สารละลายสามารถรับอิเล็กตรอนได้ดี เช่น มีออกซิเจน คลอรีนปริมาณ
มาก กรณีที่ค่าโออาร์พีมีค่าเป็นลบ แสดงถึงสารละลายสามารถให้อิเล็กตรอนได้ดีค่าโออาร์พีอยู่
ในช่วง -1,400 ถึง +1,400 มิลลิโวลต์ (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2547) ในสถานะแอนแอโรบิก
ค่าโออาร์พีมีค่าน้อยประมาณ -300 ถึง -200 มิลลิโวลต์ สถานะแอนอิกซ์มีค่าโออาร์พีประมาณ -50
ถึง -150 มิลลิโวลต์ สถานะแอโรบิกมีค่าโออาร์พีประมาณ +50 ถึง +100 มิลลิโวลต์

ค่าพีเอชแสดงถึงสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยค่าพีเอชจะมีค่าอยู่ในช่วง 0-14
น้ำสภาพเป็นกลางจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 น้ำสภาพเป็นกรดและด่างจะมีค่าพีเอชน้อยกว่าและมากกว่า
7 ตามลำดับ การประยุกต์ใช้ค่าโออาร์พีและพีเอชในการควบคุมระบบช่วงกระบวนการไนตริฟิเค-
ชันและช่วงกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ช่วงกระบวนการไนตริฟิเคชัน สารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนในน้ำเสียถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ กระบวนการแอมโมนิฟิเคชันมีจุลินทรีย์หลายชนิดที่มีบทบาทในการแปรรูปสารประกอบโปรตีนเป็นกรดอะมิโนและลคอะมีน (deamination) ไปเป็นแอมโมเนียม ในสถานะที่พีเอชเป็นกลางหรือเป็นกรด แอมโมเนียมจะอยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียม (NH_4^+) ดังสมการที่ 1-5



กระบวนการไนตริฟิเคชัน การที่ออกซิโตรอฟอกซิไดซ์ NH_4^+ ไปเป็น NO_2^- และ NO_3^- ภายใต้สภาวะแอโรบิก จะมีการปล่อย H^+ ออกมาดังสมการที่ 1-6

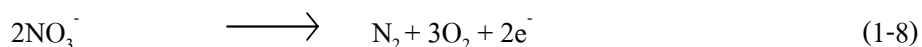
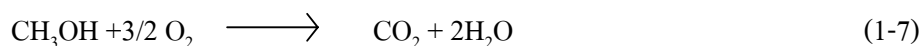


ซึ่ง H^+ จะไปทำลายสภาพด่างให้หายไปได้ในอัตรา 7.14 มิลลิกรัมแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตรต่อ 1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร และมีความต้องการออกซิเจน 4.57 กรัมออกซิเจนต่อแอมโมเนียไนโตรเจน (ชงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545) ซึ่งทำให้พีเอชในถังปฏิบัติการลดลง และเมื่อออกซิไดซ์ NH_4^+ ไปจนหมดแล้ว ก็จะไม่มีการปล่อย H^+ ออกมา ถ้าพิจารณากราฟพีเอชที่ตรวจวัดอย่างต่อเนื่องจะพบว่าค่าพีเอชจะลดลงเรื่อยๆ ในระหว่างการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการไนตริฟิเคชันก็จะไม่มีการปล่อย H^+ ออกมา ทำให้กราฟพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้น จุดที่มีกระบวนการไนตริฟิเคชันสมบูรณ์นี้เรียกว่า Amonyum Valley การหยุดการเติมอากาศควรหยุดหลังจุด Amonyum Valley ที่มีกระบวนการไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์แล้ว เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน (Akin และ Ugurly, 2005; C.S.RA,K.V.LO *et al.* 2000; Paul และ Plisson-Saune *et al.* 1998; Andreottola, 2001; Zipper, Fleischmann และ Haderl, 1998)

ช่วงกระบวนการดีไนตริฟิเคชันสามารถทำได้ 2 วิธี คือการนำไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับสร้างเซลล์ และการลดรูปไนเตรตและไนไตรต์เป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งวิธีนี้เป็นการกำจัดไนโตรเจนด้วยวิธีชีวภาพ โดยสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 รูปแบบ คือ

1. ใช้อินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก ได้มาจาก 2 แหล่ง ได้แก่ การเติมเมทานอล (CH_3OH) หรือกรดอะซิติก (CH_3COOH) เข้าสู่ระบบและการเอาสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบ
2. ใช้อินทรีย์คาร์บอนจากภายในคือการใช้อินทรีย์คาร์บอนจากภายในเซลล์มาเป็นแหล่งคาร์บอนแทน ซึ่งเป็นการย่อยสลายตนเอง

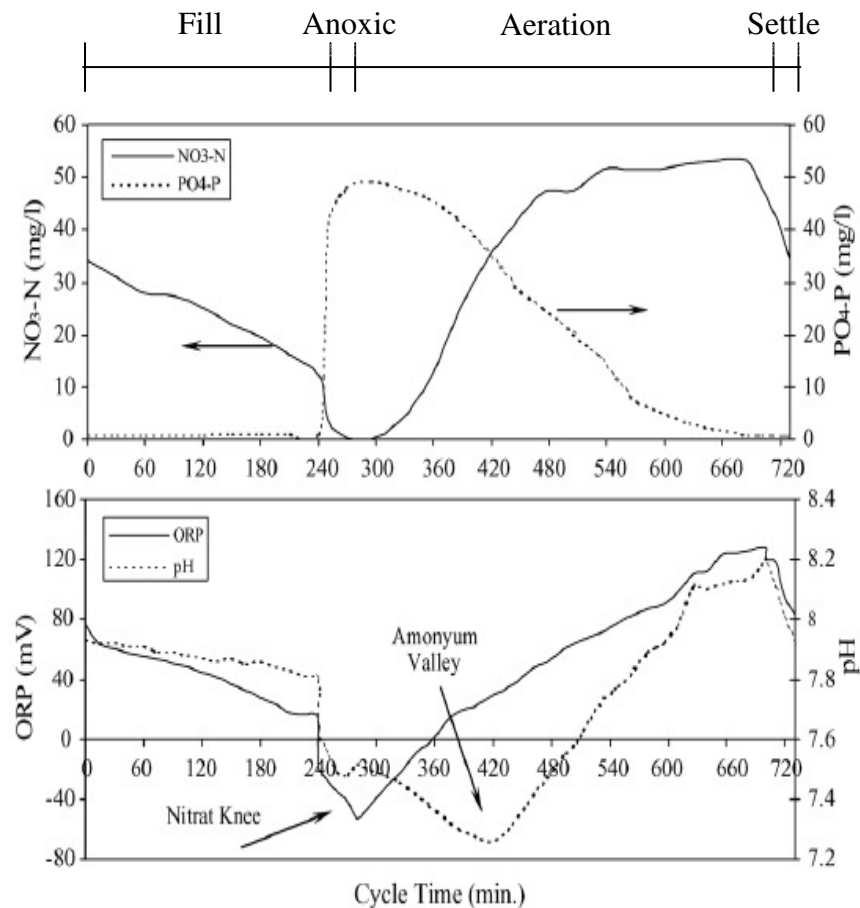
กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน กรณีใช้เมทานอล (CH_3OH) เป็นสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกหรือตัวให้อิเล็กตรอนสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 1-7, 1-8 และ 1-9



ซึ่งดีไนตริฟิเคชันจะเกิดได้ในสถานะแอนอกซิก (ไม่ใช่ออกซิเจน) โดยใช้ไนเตรตเป็นตัวให้อิเล็กตรอน เมื่อนำไออาร์พีมาตรวจวัดแบบต่อเนื่องพบว่า ค่าไออาร์พีมีค่าติดลบเมื่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชันสิ้นสุดลงในสถานะที่ไม่มีอากาศ สถานะแอนอกซิกจะเข้าสู่สถานะแอนแอโรบิก ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ ปฏิกิริยาแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจึงมีค่าไออาร์พีเฉพาะตัว กรณีนำค่าไออาร์พีมาตรวจวัดแบบต่อเนื่อง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในสถานะแอนอกซิก ค่าไออาร์พีจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สถานะแอนแอโรบิก สามารถตรวจวัดได้จากกราฟไออาร์พีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงจุดที่สิ้นสุดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เรียกว่า Nitrate Knee ดังนั้นการเริ่มต้นช่วงการเติมอากาศจึงควรเริ่มต้นหลังจากจุด Nitrate Knee (Akin และ Ugurly, 2005; C.S.RA, K.V.LO *et al.* 2000; Paul และ Plisson-Saune *et al.* 1998; Andreottola, 2001; Zipper, Fleischmann และ Haderl, 1998)

Akin และ Ugurly (2003) ได้ทำการทดลองใช้ระบบเอสปีอาร์ในการบำบัดคาร์บอนในโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งกำหนดให้ระบบเอสปีอาร์มีการทำงาน 2 รอบต่อวัน โดยแบ่งเป็นช่วงเวลากการเติมน้ำเข้าระบบ 4 ชั่วโมง ช่วงเวลาแอนอกซิก 0.5 ชั่วโมง ช่วงเวลาเติมอากาศ 7 ชั่วโมง ช่วงการตกตะกอน 0.5 ชั่วโมง โดยทำการป้อนน้ำเสียเข้าจากทางด้านล่างของถัง ให้น้ำเข้าระบบและออกจากระบบพร้อมกัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอคืออยู่ที่ร้อยละ 90-98 $\text{PO}_4\text{-P}$ มีค่าร้อยละ 77-100 และ $\text{NH}_4\text{-N}$ มีค่าร้อยละ 90-95

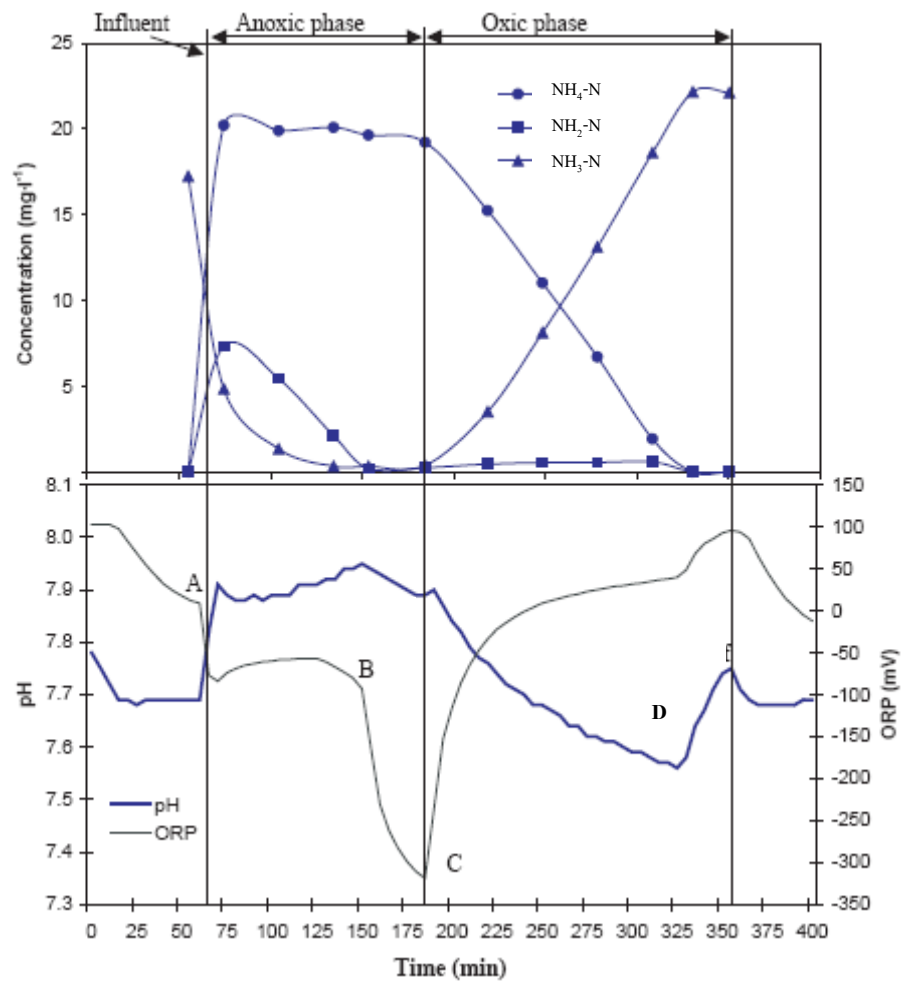
Akin และ Ugurly (2005) ศึกษาวิธีการตรวจวัดและควบคุมการกำจัดธาตุอาหาร โดยใช้ระบบเอสปีอาร์ ซึ่งมีรอบการทำงานของระบบการทดลองเหมือนกับ Akin และ Ugurly (2003) การควบคุมระบบเอสปีอาร์ใช้ค่าไออาร์พีและพีเอชแบบต่อเนื่อง ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 1.7 ซึ่งจะเห็นว่าค่าไออาร์พีและพีเอชสามารถใช้เป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพได้ โดยช่วงเวลาแอนอกซิกจะพบจุด Nitrate Knee ซึ่งสามารถสังเกตได้จากกราฟไออาร์พีและช่วงเวลาเติมอากาศจะพบจุด Amonyum Valley จากกราฟ pH



ภาพประกอบที่ 1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างโออาร์พีและฟิเอชในช่วงที่มีกระบวนการไนตริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในระบบเอสบีอาร์

ที่มา : Akin และ Ugurly (2005)

Kim *et al.* (2004) ศึกษาการควบคุมแบบต่อเนื่องในการบำบัดไนโตรเจนของน้ำเสียจากฟาร์มหมูโดยใช้ระบบเอสบีอาร์ในการทดลอง พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนได้มากกว่าร้อยละ 96 จากผลการทดลองได้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าโออาร์พี ฟิเอช และความเข้มข้นของอ็อกซิเจนต่างๆ ดังภาพประกอบที่ 1.8 ในการทดลองมีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบจนถึงปริมาตรที่กำหนดคือจุด A และกระบวนการแอนอกซิกเริ่มขึ้นหลังจากจุด A เป็นเวลา 5 นาที จากกราฟพบว่า กระบวนการแอนอกซิกเกิดขึ้นเป็นเวลา 75 นาที และเมื่อสังเกตกราฟโออาร์พีพบว่ามีการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ขึ้น ณ จุด B ลักษณะเส้นกราฟจะโค้งลงถึงจุดที่เรียกว่า Nitrate Knee ส่วนจุด C จะเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการเติมอากาศ และจุด D เป็นจุดสิ้นสุดของกระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งเรียกว่าจุด Amonyum valley

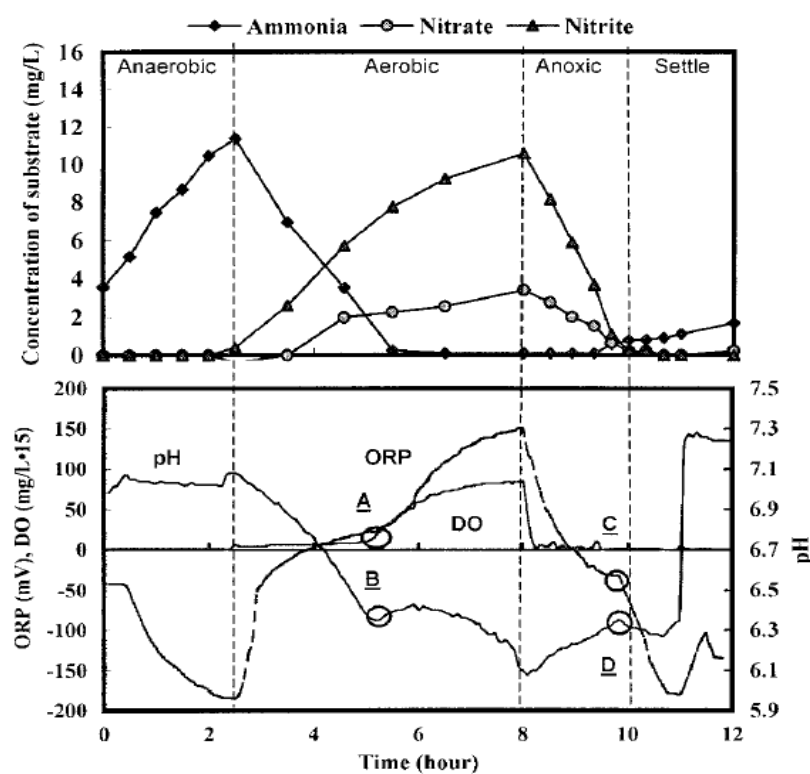


ภาพประกอบที่ 1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างไออาร์พีและพีเอชในช่วงที่มีกระบวนการไนตริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในระบบเอสบีอาร์

ดัดแปลงจาก : Kim *et al.* (2004)

Yu *et al.* (2000) ทำการทดลองโดยจำลองระบบเอสบีอาร์ซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอคืออยู่ในช่วง 250-350 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าที่เคเอ็นอยู่ในช่วง 37.5-52.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ควบคุมระบบแบบ sequential control กำหนดช่วงเวลาแอนแอโรบิก แอโรบิก แอนอกซิก ตกดะกอน และถ่ายน้ำออกคือ 2.5, 6, 2, 1 และ 0.5 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาภาพประกอบที่ 1.9 พบว่าการสิ้นสุดกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นในช่วงเดิมอากาศสามารถสังเกตได้จากจุด A บนกราฟของค่าไออาร์พีและจุด B บนกราฟของค่าพีเอชที่ความชันของค่าไออาร์พีและค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงและในช่วงสิ้นสุดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นในช่วงเวลาการกวนในช่วงแอนอกซิก สามารถสังเกตได้จากจุดเปลี่ยนความชันของค่าไออาร์พีและพีเอชที่จุด C และ D

จากนั้นได้ทำการทดลองต่อโดยควบคุมระบบแบบ real-time control โดยใช้จุดที่สังเกตได้จากกราฟของโออาร์พีและพีเอชเป็นพารามิเตอร์ในการกำหนดให้ระบบหยุดการทำงานในขั้นตอนการเติมอากาศและการกวนพบว่า การควบคุมแบบ real-time control ที่ SRT 15 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนที่ร้อยละ 91 ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าการควบคุมแบบ sequential control ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนที่ร้อยละ 81 และการควบคุมแบบ real-time ยังสามารถลดเวลาการทำงานของระบบได้ร้อยละ 11-29 ส่งผลให้ประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 14-32

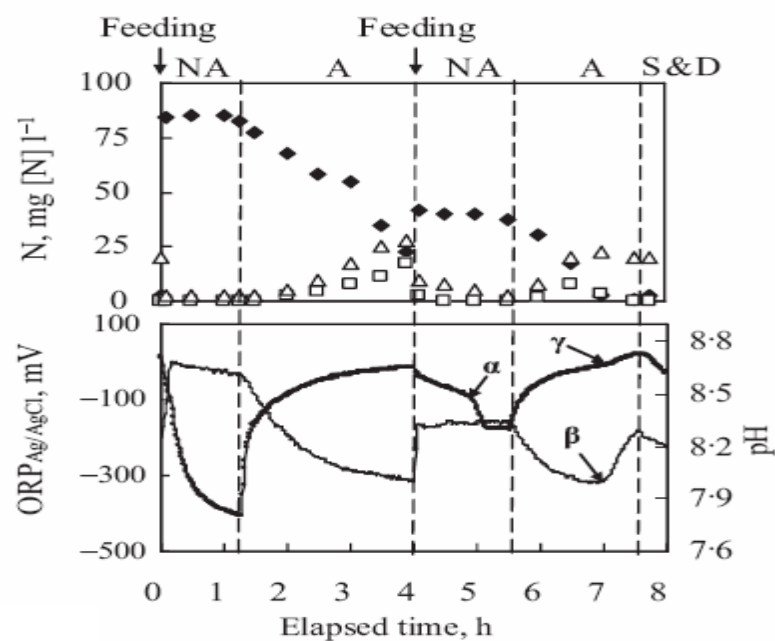


ภาพประกอบที่ 1.9 ความสัมพันธ์ระหว่างโออาร์พี พีเอช ดีโอ และสารประกอบไนโตรเจนในถังปฏิกรณ์

ที่มา: Yu *et al.* (2000)

Han *et al.* (2008) ทำการทดลองโดยใช้ระบบบำบัดแบบ twice-fed SBR เพื่อบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีค่าซีโอคืออยู่ในช่วง 6,480-5,860 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 1,220-1,060 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยควบคุมอายุตะกอนที่ 25 วัน และใน 1 รอบการทำงานจะใช้เวลา 8 ชั่วโมง โดยมีการเติมน้ำเสียเข้าระบบระหว่างการทำงานของระบบ 2 ครั้ง และระหว่างการทำงานของระบบมีการวัดค่าโออาร์พีและพีเอชอย่างต่อเนื่อง ผลการทดลองพบจุดสิ้นสุดของกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันสังเกตได้จากจุดโค้งบน

กราฟไออาร์พีและพีเอชโดยที่จุด α บนกราฟของไออาร์พีเป็นจุดแสดงถึงการสิ้นสุดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ในส่วนกระบวนการไนตริฟิเคชันพบจุด β บนกราฟของพีเอชและจุด γ บนกราฟไออาร์พีที่แสดงถึงการสิ้นสุดของกระบวนการไนตริฟิเคชันดังภาพประกอบที่ 1.10 ซึ่งในบางชุดการทดลองไม่สามารถสังเกตจุดโค้งบนกราฟไออาร์พีและพีเอชได้ เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าระบบในช่วงกระบวนการดีไนตริฟิเคชันทำให้ค่าไออาร์พีลดลงอย่างฉับพลัน ดังนั้นการป้อนน้ำเสียเข้าระบบเป็นปัจจัยที่ต้องระวังในกรณีที่จะนำค่าไออาร์พีและพีเอชมาใช้ในการพิจารณาควบคุมระบบ



ภาพประกอบที่ 1.10 การเปลี่ยนแปลงของค่าไออาร์พี พีเอช และสารประกอบไนโตรเจนระหว่างใน 1 รอบ ช่วงการทำงาน

ที่มา: Han *et al.* (2008)

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาในการกวนผสมและการเติมอากาศกับอัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีไอดีในรูปแบบสมการที่สามารถใช้ทำนายช่วงเวลาที่ต้องการของระบบเอสปีอาร์ในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนสำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล

2. เพื่อศึกษาการนำค่าไออาร์พีและพีเอชมาใช้เป็นตัวชี้วัดช่วงเวลาที่ต้องการสำหรับการกวนผสมและการเติมอากาศของระบบเอสปีอาร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทำนายช่วงเวลาสำหรับการกวนผสมและการเติมอากาศของระบบเอสปีอาร์ในการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลที่มีช่วงค่าทีเคเอ็นต่อซีไอดีที่แตกต่างกัน

2. สามารถนำหลักการพิจารณาค่าไออาร์พีและพีเอชเพื่อกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการกวนผสมและการเติมอากาศของระบบเอสปีอาร์

บทที่ 2

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1 วัสดุ

2.1.1.1 น้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล

น้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมในการวิจัยครั้งนี้ได้นำตัวอย่างน้ำเสียจากถังปรับสภาพน้ำเสีย (equalization tank: EQ) ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลแห่งหนึ่ง บริษัทห้องเย็น โชติวัฒน์ หาดใหญ่ จำกัด (มหาชน) ซึ่งตั้งอยู่เลขที่ 4/2 หมู่ที่ 3 ถนนสายเอเชีย 43 ตำบลนาหม่อม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จุดเก็บตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.1 และ 2.2 โดยใช้เก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วง (grab sampling) ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเก็บน้ำเสียตัวอย่างในปริมาณที่เพียงพอในการทดลองเดินระบบเอสบีอาร์และนำตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บได้มาวิเคราะห์คุณภาพของน้ำพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ ซีโอดี ทีเคเอ็น เอสเอส และพีเอช ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองถูกเก็บไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และก่อนนำเข้าระบบจำลองต้องทำการปรับอุณหภูมิของน้ำเสียตัวอย่างโดยทิ้งให้ใกล้เคียงอุณหภูมิห้องที่ประมาณ 28-30 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบที่ 2.1 ลักษณะบ่อปรับเสถียรของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล



ภาพประกอบที่ 2.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล

2.1.1.2 น้ำเสียสังเคราะห์ของอุตสาหกรรมอาหารทะเล

ผู้วิจัยทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นที่แตกต่างกัน น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองดัดแปลงจาก Intrasingkha (1998) ประกอบด้วย เนื้อปลาป่น (fishmeal) ใช้ปรับค่าซีโอดี ทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอย ซูโครส (sucrose) ใช้ปรับค่าซีโอดี แอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ใช้ปรับค่าทีเคเอ็น มีสารบัพเฟอร์ได้แก่ ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต (K_2HPO_4) โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) แมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โดยเติมเกลือทะเลให้ได้ค่าความเค็ม (salinity) เท่ากับ 0.5 กรัมคลอรีน/ลิตร ทั้ง 5 ชุดการทดลอง ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบน้ำเลี้ยงสังเคราะห์

ชุดการทดลองที่	1	2	3	4	5
อัตราส่วน TKN : COD	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
ปริมาณ COD (mg/l)	1000	1000	1000	1000	1000
ปริมาณ TKN (mg/l)	50	100	150	200	400
เนื้อปลาป่น (fishmeal) (mg/l)	1000	1000	1000	1000	1000
น้ำตาลซูโครส (sucrose) (mg/l)	400	400	400	400	400
(NH ₄) ₂ SO ₄ (mg/l)	98	196	294	392	784
K ₂ HPO ₄ (mg/l)	20	20	20	20	20
NaHCO ₃ (mg/l)	500	500	500	500	500
MgSO ₄ ·7H ₂ O (mg/l)	100	100	100	100	100
CaCl ₂ (mg/l)	50	50	50	50	50
KCl (mg/l)	20	20	20	20	20

ดัดแปลงจาก : Intrasungkha (1998)

สารละลาย Trace element ดัดแปลงจาก Liu *et al.* (2000) และ Labbe *et al.* (2003) องค์ประกอบของสารละลายดังแสดงในตารางที่ 2.2 โดยเติมสารละลาย Trace elements 1 มิลลิกรัมผสมในน้ำเลี้ยงสังเคราะห์ 1 ลิตร ทั้ง 5 ชุดการทดลอง

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของสารละลาย Trace elements

Components	Trace element solution (g/l)
FeSO ₄ ·7H ₂ O	1.882
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.043
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.043
MnSO ₄ ·H ₂ O	0.539
NaMoO ₄ ·2H ₂ O	0.500

2.1.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

2.1.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

1. ขวดเก็บตัวอย่างพลาสติกขนาด 1 ลิตร
2. แกลลอนพลาสติกขนาด 25 ลิตร สำหรับใส่น้ำเสีย
3. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ซีโอดี ทีเคเอ็น บีโอดี แอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) ไนไตรต์ ($\text{NO}_2\text{-N}$) ไนเตรต ($\text{NO}_3\text{-N}$) และของแข็งแขวนลอย

2.1.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ

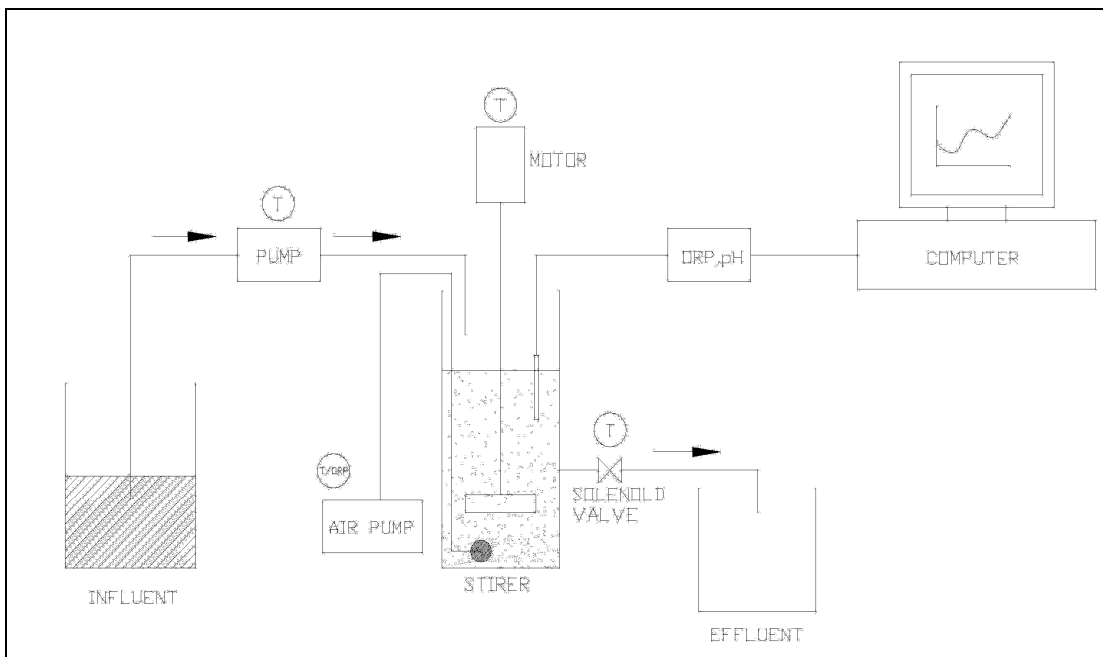
1. UV-VIS Spectrophotometer ผลิตภัณฑ์ Shimadzu รุ่น UV 1601
2. Touch mixer ผลิตภัณฑ์ Fisher Scientific รุ่น 231
3. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ผลิตภัณฑ์ Mettler Toledo รุ่น PB1502
4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ผลิตภัณฑ์ Mettler Toledo รุ่น AB 204
5. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ผลิตภัณฑ์ของ Wissenschaftlich Technische Werkstätten รุ่น pH 526
6. ตู้อบความร้อนแห้ง (hot air oven) ผลิตภัณฑ์ของ Contherm รุ่น 240M
7. เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer) และเตาไฟฟ้า (hot plate) ผลิตภัณฑ์ของ Frami-Geratetechnik รุ่น M 21/1
8. ชุดกรองบุคเนอร์ (buchner filter)
9. ปั๊มดูดสุญญากาศ (vacuum pump) ผลิตภัณฑ์ GAST รุ่น 0296
10. ชุดกลั่นแอมโมเนีย (ammonia distillation apparatus) ผลิตภัณฑ์ Gerhardt รุ่น EV 16
11. ตู้ดูดความชื้น (desiccator)
12. เตาย่อยสลายตัวอย่างสำหรับซีโอดีแบบเปิด (heating blocks) ผลิตภัณฑ์ J.P Selecta รุ่น R.A.T.
13. กระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร
14. เครื่องแก้วต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1.2.3 ชุดจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

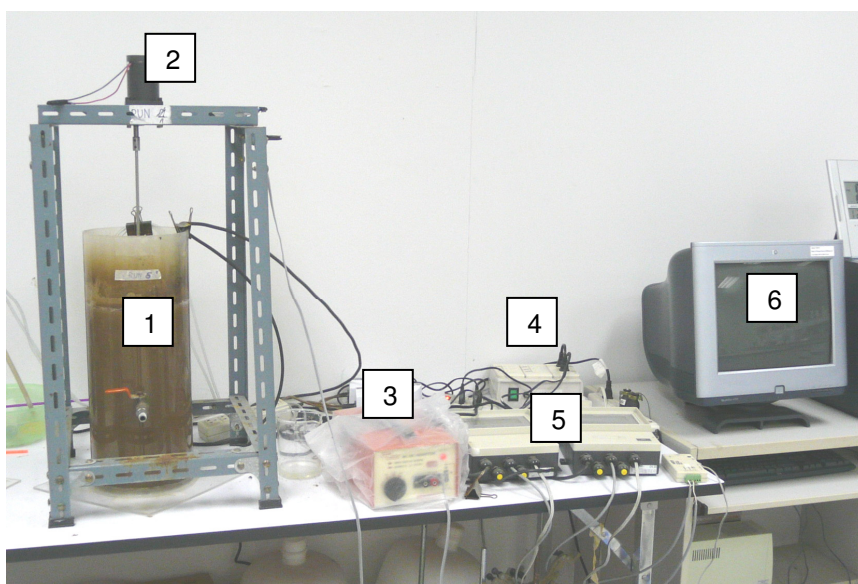
ชุดจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ดังภาพประกอบ

2.3-2.4

1. ถังปฏิกรณ์เป็นถังทรงกระบอกทำด้วยอะคริลิก ปริมาตร 10 ลิตร
2. ท่อยางส่งน้ำเข้าและปล่อยออกจากถังปฏิกรณ์
3. โครงเหล็กสำหรับรองรับมอเตอร์ที่ใช้ติดตั้งเครื่องกวน
4. เครื่องกวนน้ำ (mixer) สร้างโดยใช้มอเตอร์ต่อเข้ากับใบพัดอะลูมิเนียมเพื่อกวนผสมน้ำเสียและเชื้อจุลินทรีย์ให้เข้ากันอย่างทั่วถึง กำหนดความเร็วรอบที่ 40 รอบต่อนาที โดยใช้มอเตอร์เกียร์ (gear-box motor) ผลิตภัณฑ์ของ Zhengk ขนาด 1.8 วัตต์
5. เครื่องเติมอากาศ (air pump) นำเครื่องเติมอากาศ ผลิตภัณฑ์ของ Reagent รุ่น RE-9500 ขนาด 2.2 วัตต์ มาต่อเข้ากับหัวฟู่เพื่อทำหน้าที่เติมออกซิเจนในช่วงทำปฏิกิริยาให้กับถังปฏิกรณ์และเครื่องเติมอากาศ
6. เครื่องตั้งเวลา (timer) ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องเติมอากาศ เครื่องกวนน้ำและโซลินอยด์วาล์ว
7. ชุดวัดค่าไออาร์พีและพีเอช รุ่น pH Transmitter 2400 ผลิตภัณฑ์ของ Mettler Toledo
8. คอมพิวเตอร์และเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) สำหรับเก็บข้อมูลจากชุดวัดค่าไออาร์พีและพีเอช
9. โซลินอยด์วาล์ว (solenoid valve) ถูกติดตั้งที่ช่องปล่อยน้ำออกของถังปฏิกรณ์ติดตั้งที่ความสูง 18 เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาตรของน้ำเสียออกจากระบบ 5 ลิตร โซลินอยด์วาล์วจะถูกควบคุมด้วยเครื่องตั้งเวลา
10. ปุ่มสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์
11. ถังน้ำเข้า (influent) 1 ถัง และถังน้ำออก (effluent) 1 ถัง



ภาพประกอบที่ 2.3 แผนผังการติดตั้งระบบเอสบีอาร์ที่ใช้ในการทดลอง



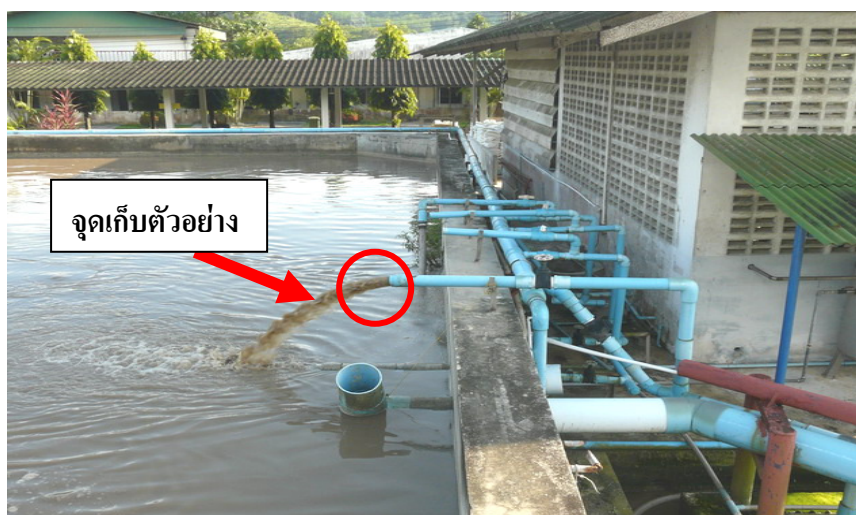
- | | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| 1. ถังปฏิกรณ์ระบบเอสบีอาร์ | 4. เครื่องตั้งเวลา |
| 2. เครื่องกวนน้ำ | 5. ชุดวัดค่าโออาร์พีและพีเอช |
| 3. เครื่องเติมอากาศ | 6. คอมพิวเตอร์และเครื่องบันทึกข้อมูล |

ภาพประกอบที่ 2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์จำลองที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

2.2 วิธีการวิจัย

2.2.1 เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นระบบ

การทดลองทุกชุดใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง บริษัทห้องเย็นโชติวัฒน์ หาดใหญ่ จำกัด (มหาชน) โดยเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์จากท่อสูบตะกอนกลับเข้าถังเติมอากาศ ดังภาพประกอบที่ 2.5 ซึ่งมีปริมาณเอ็มแอลเอสเอสเท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร นำมาเลี้ยงในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ที่ใช้ในการทดลองโดยใส่ตะกอนเริ่มต้นให้ได้ปริมาณเอ็มแอลเอสเอสเท่ากับ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับสภาพจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนซีไอดีต่อทีเคเอ็นที่แตกต่างกัน เมื่อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียได้แล้วและทำการตรวจวัดค่าซีไอดีของน้ำทิ้งในแต่ละรอบการบำบัดพบว่ามีความคงที่ แสดงว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) จึงทำการเก็บตัวอย่างต่อไป



ภาพประกอบที่ 2.5 จุดเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์จากท่อสูบตะกอนกลับเข้าถังเติมอากาศ

2.2.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ตามลักษณะน้ำเสียที่ใช้ซึ่งเป็นการดำเนินระบบเอสบีอาร์ในลักษณะไม่เติมอากาศและต่อด้วยการเติมอากาศ (anoxic-aerobic) โดยอุณหภูมิดำเนินการอยู่ที่ 28-30 องศาเซลเซียส และกำหนดให้มีช่วงเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วงไม่เติมอากาศและเติมอากาศเท่ากับ 6 และ 14 ชั่วโมงตามลำดับ โดยมีเวลาการทำงาน 24 ชั่วโมงต่อรอบ สำหรับ

การทดลองที่ 1 – 5 และชุดการทดลองที่ 7 เนื่องจากต้องการให้ช่วงเวลาดำเนินการกระบวนการต่างๆ เกิดขึ้นภายในช่วงเวลาที่ทำกรทดลอง

การทดลองส่วนที่ 1 ทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในการหาช่วงเวลาในการบำบัดที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ซึ่งแต่ละชุดการทดลองจะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดีที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะครอบคลุมค่าจริงของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล รายละเอียดของการทดลองดังตารางที่ 2.3 และภาพประกอบที่ 2.6 โดยการทดลองในส่วนที่ 1 มีการสรุปความสัมพันธ์ของระยะเวลาการทำงานในแต่ละอัตราส่วนเพื่อสร้างสมการในการทำนายเวลาที่ต้องการในช่วงการกวนผสมและการเติมอากาศโดยมีเป้าหมายให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพ

การทดลองส่วนที่ 2 ทดลองโดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองได้แก่ ชุดการทดลองที่ 6, 7 และ 8 โดยชุดการทดลองที่ 6 เป็นการเดินระบบซึ่งกำหนดระยะเวลาโดยใช้สมการที่ได้จากน้ำเสียสังเคราะห์ในชุดการทดลองที่ 1 – 5 ขึ้นตอนการเดินระบบดังภาพประกอบที่ 2.7 และชุดการทดลองที่ 7 เป็นการเดินระบบแบบเดียวกับชุดการทดลองที่ 1 – 5 เพื่อหาจุดสิ้นสุดของกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันโดยการพิจารณาจากค่าไออาร์พีและพีเอชขึ้นตอนการเดินระบบดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.8 หลังจากที่ได้ค่าช่วงเวลาที่ต้องการจากชุดการทดลองที่ 7 แล้วจะนำค่าที่ได้มาควบคุมเวลาในการกวนผสมและการเติมอากาศของชุดการทดลองที่ 8 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานกับชุดการทดลองที่ 6 ซึ่งควบคุมระบบโดยใช้เวลาที่ได้จากสมการซึ่งมาจากการพิจารณาด้วยความชันของค่าไออาร์พีและพีเอช โดยขึ้นตอนการทำงานในชุดการทดลองที่ 8 ดังภาพประกอบที่ 2.9

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดของการทดลอง

ลักษณะน้ำเสียที่ใช้	ส่วนที่ 1 (น้ำเสียสังเคราะห์)					ส่วนที่ 2 (น้ำเสียจริง)		
	1	2	3	4	5	6	7	8
การทดลองชุดที่ (Run No.)								
ปริมาณ TCOD (mg/l)	1000	1000	1000	1000	1000	ตามจริง	ตามจริง	ตามจริง
ปริมาณ TKN (mg/l)	50	100	150	200	400	ตามจริง	ตามจริง	ตามจริง
อัตราส่วน TKN : COD	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	ตามจริง	ตามจริง	ตามจริง
อายุตะกอน (day)	20	20	20	20	20	20	20	20
ปริมาตรน้ำในถัง (L)	10	10	10	10	10	10	10	10
ปริมาตรน้ำที่บำบัด ใน 1 รอบ (L)	5	5	5	5	5	5	5	5
ระยะเวลาการทำงาน (hr)								
- ป้อนน้ำเข้า	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
- ผสม (แอนอกซิก)	6	6	6	6	6	A	6	C
- เติมน้ำอากาศ (แอร์โรบิก)	15	15	15	15	15	B	15	D
- ตกตะกอน	2	2	2	2	2	2	1.5	1.5
- ถ่ายน้ำออก	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

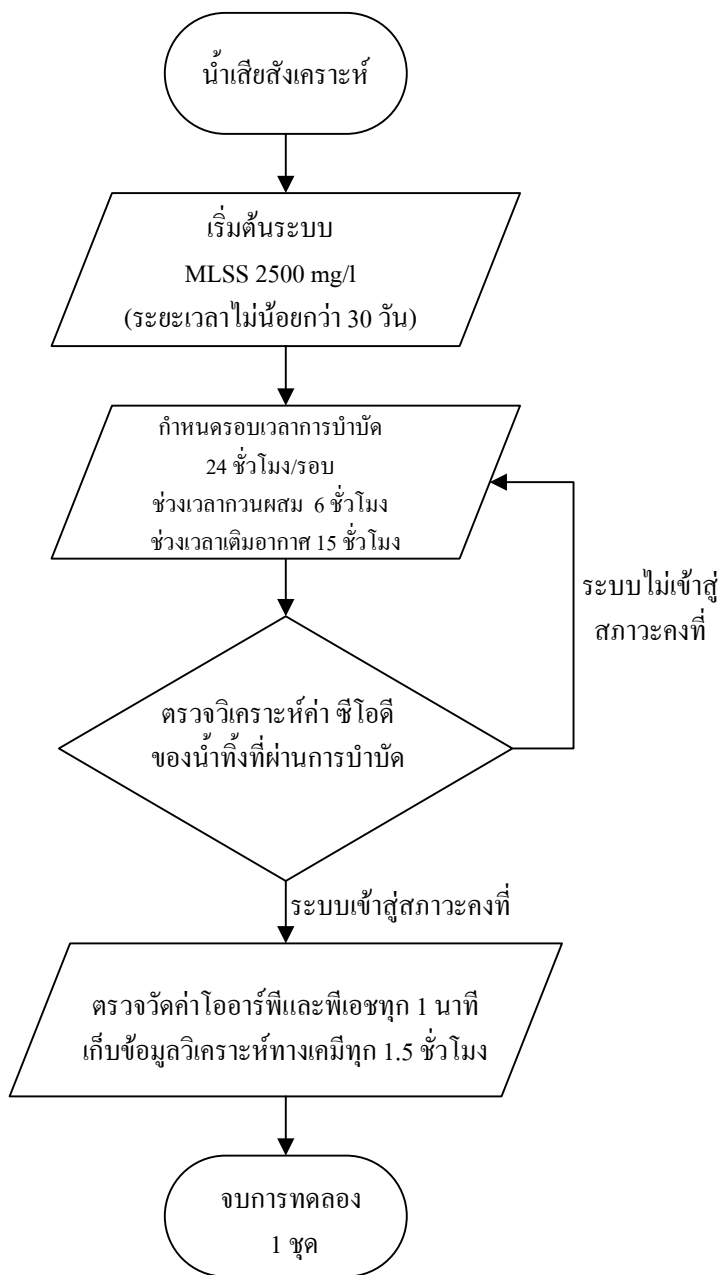
หมายเหตุ

A = ใช้ข้อมูลจากสมการในการกำหนดช่วงเวลาของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันซึ่งได้จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากการทดลองที่ 1 – 5

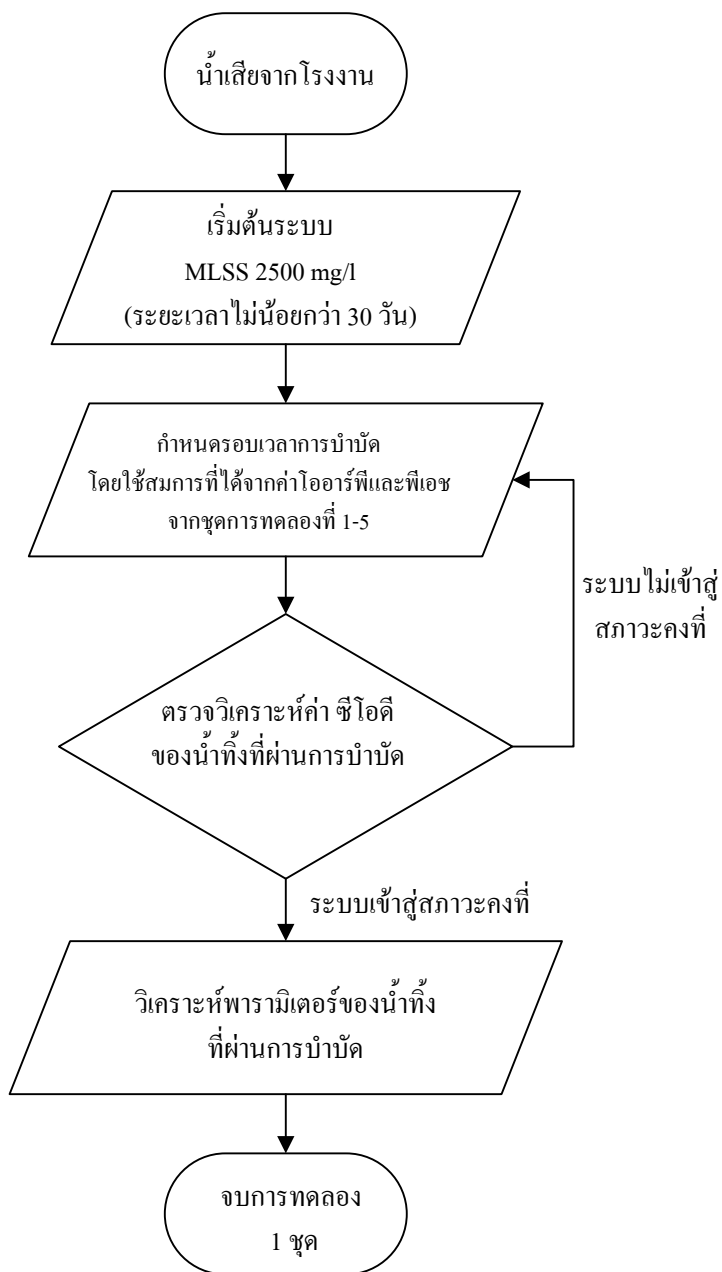
B = ใช้ข้อมูลจากสมการในการกำหนดช่วงเวลาของกระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งได้จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากการทดลองที่ 1 – 5

C = ใช้ข้อมูลจากการสรุปช่วงระยะเวลาการทำงานในการควบคุมให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่ได้จากการทดลองชุดที่ 7 โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีและพีเอช

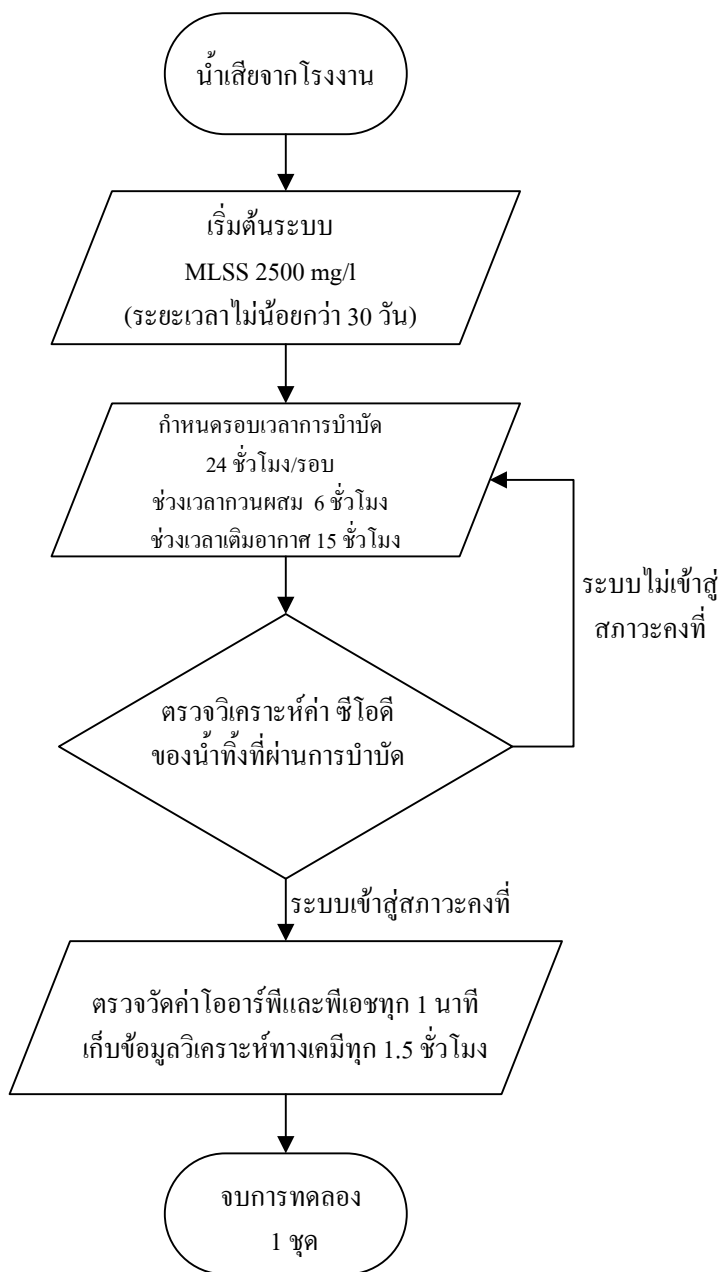
D = ใช้ข้อมูลจากการสรุปช่วงระยะเวลาการทำงานในการควบคุมให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่ได้จากการทดลองชุดที่ 7 โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของค่าโออาร์พีและพีเอช



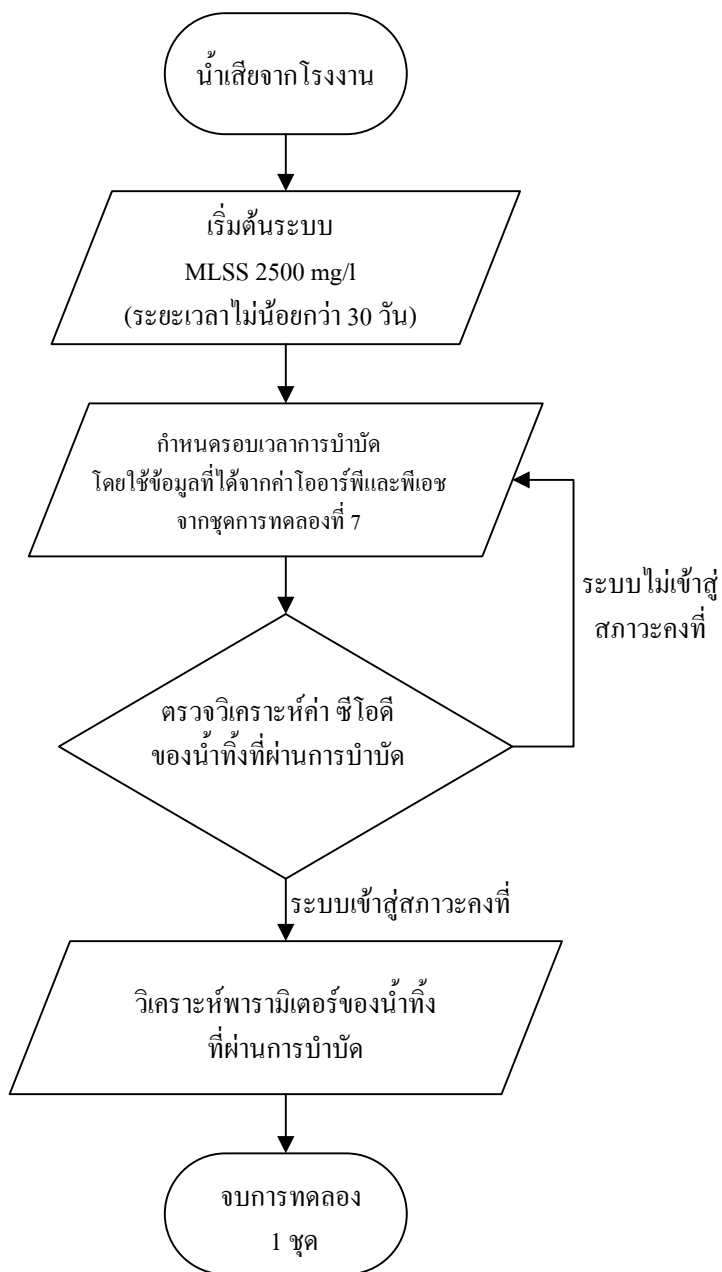
ภาพประกอบที่ 2.6 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินการทดลองของชุดการทดลองที่ 1-5



ภาพประกอบที่ 2.7 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินการทดลองของชุดการทดลองที่ 6



ภาพประกอบที่ 2.8 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินการทดลองของชุดการทดลองที่ 7



ภาพประกอบที่ 2.9 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินการทดลองของชุดการทดลองที่ 8

2.2.3 การเก็บตัวอย่างน้ำและความถี่ของการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง

เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีค่าคงที่) ในแต่ละชุดการทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำติดต่อกันเป็นระยะเวลา 5-7 วัน เพื่อทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองสำหรับการกำจัดซีโอดีและทีเคเอ็น ทั้งนี้พิจารณาจากการตรวจสอบคุณภาพของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด สำหรับรายละเอียดของการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบและการเก็บตัวอย่างภายในถังเติมอากาศ ดังนี้

(1) พารามิเตอร์ที่ใช้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ ได้แก่ ซีโอดี ทีเคเอ็น แอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) ไนไตรต์ ($\text{NO}_2\text{-N}$) ไนเตรต ($\text{NO}_3\text{-N}$) และของแข็งแขวนลอย โดยทำการวิเคราะห์ตามวิธีของ Standard Methods (APHA, AWWA and WEF, 1998)

(2) พารามิเตอร์ที่ใช้ทำการวิเคราะห์น้ำเสียในถังเติมอากาศของระบบจำลองที่ศึกษาได้แก่ ซีโอดี ทีเคเอ็น แอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) ไนไตรต์ ($\text{NO}_2\text{-N}$) และไนเตรต ($\text{NO}_3\text{-N}$) ทำการวิเคราะห์ที่ 1 รอบการทดลองในช่วงสภาวะคงที่ โดยดึงน้ำตัวอย่างจากถังปฏิกรณ์ครั้งละ 100 มิลลิลิตร ทุก 1.5 ชั่วโมง และนำน้ำตัวอย่างที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร เพื่อเอาตะกอนออกก่อนนำไปวิเคราะห์ สำหรับค่าพีเอชและโออาร์พีที่วัดในถังเติมอากาศเป็นการวัดแบบอัตโนมัติและบันทึกค่าทุก ๆ 1 นาที ซึ่งพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาแสดงไว้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	จุดเก็บตัวอย่าง		
		น้ำเข้า	น้ำออก	ถังเติมอากาศ
pH	Online sensor	B	A	C
Temp.		B	-	-
ORP		-	-	C
MLSS	ตามวิธีของ Standard Methods (APHA, AWWA and WEF, 1998)	-	-	B
BOD ₅		B	D	-
COD		B	D	E
NO ₃ -N		B	D	E
NO ₂ -N		B	D	E
NH ₃ -N		B	D	E
TKN		B	D	E
SS		B	D	-

ความถี่ในการวิเคราะห์

A = ตรวจวัดทุกรอบการทดลอง

B = ตรวจวัดทุก 5 รอบการทดลอง

C = ตรวจวัดทุก 1 นาที

D = ตรวจวัดทุกรอบการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

E = ตรวจวัดใน 1 รอบการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

2.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารรวมทั้งอัตราการบำบัดไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบเอสปีอาร์ในแต่ละชุดการทดลองในรูปของร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2-1

$$\% \text{Removal} = \left(\frac{\text{ความเข้มข้นของน้ำเสียก่อนการบำบัด} - \text{ความเข้มข้นของน้ำเสียหลังการบำบัด}}{\text{ความเข้มข้นของน้ำเสียก่อนการบำบัด}} \right) \times 100 \quad (2-1)$$

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาวิธีการนำค่าไออาร์พีและพีเอชมาเป็นเครื่องมือใช้ตรวจวัดการทำงานของช่วงเวลาในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและกระบวนการไนตริฟิเคชันสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้นำเสนอเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเอสปีอาร์โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างไออาร์พี พีเอชและปริมาณอ็อกซิเจนในรูปต่างๆ ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและไนตริฟิเคชัน

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เคเอ็นต่อซีไอดีในการกำหนดช่วงเวลาของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและไนตริฟิเคชันในรูปแบบของสมการโมนอด์ไคเนติกส์ (Monod kinetics equation) ชนิด saturation

3.5 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเอสปีอาร์โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล

3.6 การประยุกต์ใช้ระบบเอสปีอาร์ในโรงงานอุตสาหกรรม

3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาวินิจฉัยครั้งนี้ได้แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ประกอบไปด้วย ส่วนที่ 1 ชุดการทดลองที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ผสมขึ้นเองโดยดัดแปลงจาก Intrasingkha. (1998) ส่วนที่ 2 ชุดการทดลองที่ 6, 7 และ 8 ใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลโดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วง (grab sampling) ในระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2551 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียเป็นน้ำในบ่อปรับเสถียร (equalization tank, EQ) รับน้ำจากกระบวนการผลิตเช่น น้ำล้างวัตถุดิบ น้ำเสียจากถังต้มกุ้ง น้ำล้างผลิตภัณฑ์ น้ำที่เกิดจากเครื่องมือการผลิต และน้ำเสียจากการล้างพื้น โดยนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ ซีไอดี บีไอดี ของแข็งแขวนลอย ทีเคเอ็น และพีเอช โดยค่าซีไอดีและทีเคเอ็นจะวิเคราะห์แบบทั้งหมดและแบบละลายน้ำซึ่งสรุปลักษณะน้ำเสียได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ชุดการทดลอง	ชนิดน้ำเสีย	พารามิเตอร์ (Mean \pm S.D.)						
		TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TKN (mg/l)	STKN (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	pH
1	น้ำเสีย	1000.86	717.2	50.09	43.67	555.80	175.40	7.37
	สังเคราะห์	± 25.86	± 28.2	± 1.99	± 1.67	± 10.80	± 5.40	± 0.07
2	น้ำเสีย	1004.88	740.1	100.42	87.65	554.90	175.40	7.41
	สังเคราะห์	± 19.88	± 28.1	± 1.92	± 1.75	± 13.90	± 5.40	± 0.27
3	น้ำเสีย	1004.70	786.7	149.96	130.50	523.10	162.50	7.61
	สังเคราะห์	± 29.70	± 10.70	± 0.96	± 4.50	± 31.10	± 6.50	± 0.05
4	น้ำเสีย	1007.22	770.7	200.83	176.57	554.30	170.20	7.82
	สังเคราะห์	± 31.22	± 28.7	± 16.03	± 3.87	± 17.30	± 8.20	± 0.03
5	น้ำเสีย	1007.42	762	400.21	294.12	552.03	152.0	8.02
	สังเคราะห์	± 29.42	± 30.29	± 18.2	± 3.87	± 27.6	± 7.60	± 0.37
6	น้ำเสียจาก	1018.98	852	90.72	78.78	422.06	32.94	6.83
	โรงงาน	± 39.45	± 38.7	± 1.32	± 0.88	± 20.06	± 7.06	± 0.24
7	น้ำเสียจาก	1018.98	852	90.72	78.78	422.06	32.94	6.83
	โรงงาน	± 39.45	± 38.7	± 1.32	± 0.88	± 20.06	± 7.06	± 0.24
8	น้ำเสียจาก	1018.98	852	90.72	78.78	422.06	32.94	6.83
	โรงงาน	± 39.45	± 38.7	± 1.32	± 0.88	± 20.06	± 7.06	± 0.24

จากตารางที่ 3.1 พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงงานมีอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 และ 0.4 ตามลำดับ จากอัตราส่วนดังกล่าวแสดงถึงน้ำเสียสังเคราะห์ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายกว่าน้ำเสียโรงงาน อุณหภูมิน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28-31 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมของน้ำเสียที่ไม่ส่งผลกระทบจะอยู่ในช่วง 10-40 องศาเซลเซียส (Grady and Lim, 1980) ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียสังเคราะห์อยู่ในช่วง 7.37-8.02 และไม่มีการปรับค่าพีเอชด้วยสารเคมี ในชุดการทดลองพบว่ามีปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตให้สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์มีปริมาณสูงขึ้นและน้ำเสียจากโรงงานมีค่าพีเอชเท่ากับ 6.83 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 162.5-175.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำเสียจากโรงงานที่มีค่าเฉลี่ยเพียง 32.94 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งแขวนลอยสำหรับน้ำเสียจากโรงงานมีค่าเฉลี่ยต่ำ เนื่องจากของแข็งแขวนลอยมีการตกตะกอนภายในบ่อปรับเสถียร ซึ่งเป็นบ่อขนาดใหญ่ทำให้น้ำเสียมีเวลาพักมากขึ้น ตะกอนส่วนหนึ่งจึงตกตะกอนอยู่ก้นบ่อ

3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเอสปีอาร์โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์

จากการทดลองในส่วนที่ 1 ซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์ทั้งหมด 5 ชุดการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจากชุดการทดลองที่ 1-4 มีประสิทธิภาพสูง โดยชุดการทดลองที่ 2 อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นเท่ากับ 10 มีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 98.0 และเมื่อเพิ่มปริมาณทีเคเอ็นในชุดการทดลองที่ 3 และ 4 โดยมีอัตราส่วน 6.67 และ 5 ตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 96.4 และ 95.8 ในชุดการทดลองที่ 1 อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นเท่ากับ 20 ระบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 94.3 ซึ่งมีประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 โดยสอดคล้องงานวิจัยของ Isaacs (1995) ที่กล่าวว่าสัดส่วนของซีโอดีต่อทีเคเอ็นที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 5-10 อย่างไรก็ตามทุกชุดการทดลองน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบเอสปีอาร์แล้วมีค่าซีโอดีตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้น้ำทิ้งจะต้องมีปริมาณซีโอดีไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร (ราชกิจจานุเบกษา, 2539)

ประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นของน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่พบว่า ชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 97.7, 92.2, 51.1 และ 35.3 ตามลำดับ โดยระบบมีความสามารถในการบำบัดทีเคเอ็นต่ำลงเมื่อปริมาณทีเคเอ็นสูงขึ้นดังตารางที่ 3.2 อัตราส่วนทีเคเอ็นเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้อยที่สุด ซึ่งมีปริมาณทีเคเอ็นในน้ำทิ้งเฉลี่ย 129.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้น้ำทิ้งจะต้องมีปริมาณทีเคเอ็นไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ราชกิจจานุเบกษา, 2539) จึงควรนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ SBR ไปบำบัดต่อด้วยระบบอื่นๆ เช่น ระบบบึงประดิษฐ์ เพื่อให้ได้ตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

ตารางที่ 3.2 ปริมาณซีโอดีและทีเคเอ็นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดที่สภาวะคงที่

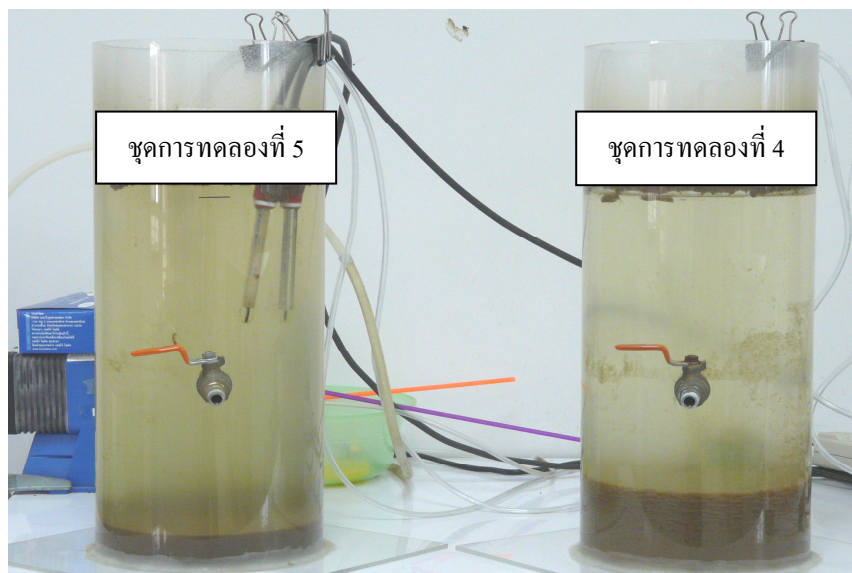
ชุดการทดลอง	COD:TKN (mg/l)	TCOD (Inf) (mg/l)	TCOD (Eff) (mg/l)	ประสิทธิภาพการบำบัด COD (ร้อยละ)	TKN (Inf) (mg/l)	TKN (Eff) (mg/l)	ประสิทธิภาพการบำบัด TKN (ร้อยละ)
1	50:1000	1000	56.2	94.3	50	1.14	97.7
2	100:1000	1000	20.2	98.0	100	7.78	92.2
3	150:1000	1000	36.1	96.4	150	73.30	51.1
4	200:1000	1000	42.5	95.8	200	129.50	35.3
5	400:1000	1000	*	*	400	*	*

หมายเหตุ

* = ระบบไม่สามารถเข้าสู่สภาวะคงที่

ในชุดการทดลองที่ 5 มีปริมาณซีโอดีต่อทีเคเอ็นเท่ากับ 1000:400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นเท่ากับ 2.5 และอัตราส่วนทีเคเอ็นต่อซีโอดีเท่ากับ 0.25 ระบบไม่สามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ได้โดยที่ลักษณะการตกตะกอนของระบบช่วงตกตะกอนในถังปฏิกรณ์ระบบเอสปีอาร์น้ำทิ้งมีลักษณะขุ่นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ 4 ดังภาพประกอบที่ 3.1 เมื่อตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ย 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากปริมาณเอ็มแอลเอสเอสเริ่มต้นระบบที่ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 90 วัน หลังจากเริ่มต้นเดินระบบเหลือปริมาณเอ็มแอลเอสเอสเฉลี่ย 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณซีโอดีของน้ำทิ้งมีค่าผันผวนในช่วง 700-900 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ตลอดระยะเวลา 90 วัน จากการพิจารณาสัดส่วนของน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าในชุดการทดลองที่ 5 ที่อัตราส่วน 2.5 เป็นอัตราส่วนต่ำซึ่งไม่เหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Isaacs (1995) ที่กล่าวว่าสัดส่วนของซีโอดีต่อทีเคเอ็นเหมาะสมในการบำบัดควรอยู่ในช่วง 5-10 จึงให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง เนื่องจากอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นที่ไม่เหมาะสมนั้นส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ โดยในช่วงการกวนผสมเพื่อให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันดีไนตริฟายอิงแบคทีเรียจำเป็นต้องใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานในการทำงานแต่ในชุดการทดลองที่ 5 อัตราส่วนของน้ำเสียที่ 2.5 มีปริมาณคาร์บอนน้อยมากซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของดีไนตริฟายอิงแบคทีเรียและเมื่อเข้าสู่กระบวนการเดิมอากาศ

ค่าพีเอชของน้ำเสียเข้าระบบที่มีค่ามากกว่า 8.0 ส่งผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Srinath, 1979) ในระบบทำให้ในชุดการทดลองที่ 5 เกิดระบบล้มเหลว



ภาพประกอบที่ 3.1 ลักษณะน้ำทิ้งของชุดการทดลองที่ 5 เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ 4

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์ที พีเอช และปริมาณออกซิเจนต่างๆ ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและไนตริฟิเคชัน

3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์ที พีเอช และปริมาณออกซิเจนต่างๆ ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

กระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นในขั้นตอนการกวนผสมโดยกำหนดรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6 ชั่วโมง พบว่าการทดลองทั้ง 4 ชุด มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนต่างๆ เป็นไปในแนวทางเดียวกันคือ เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันโดยใช้แหล่งคาร์บอนจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบในช่วงต้นของรอบการทำงาน จุลินทรีย์ดีไนตริฟายเออร์ใช้สารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียและใช้ในเทรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (ชงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545) ทำให้ปริมาณซีโอดีและไนเทรตมีค่าลดลงดังภาพประกอบที่ 3.3, 3.7, 3.11 และ 3.15 ที่จุด a มีปริมาณไนเทรตและไนโตรเจนน้อยที่สุด ในขณะที่เดียวกันสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำเสียถูกเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนโดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันทำให้ค่าแอมโมเนียสูงขึ้น ที่จุด b มีปริมาณแอมโมเนียมากที่สุด ดังภาพประกอบที่ 3.3, 3.7, 3.11 และ 3.15 ในขณะที่ค่าไออาร์ที

ดั่งภาพประกอบที่ 3.2, 3.6, 3.10 และ 3.14 มีค่าลดต่ำลงจนติดลบแสดงถึงแนวโน้มในการให้อิเล็กตรอนซึ่งในกระบวนการนี้ในเทอร์ตจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอน เมื่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชันสิ้นสุดในเทอร์ตซึ่งเป็นตัวให้อิเล็กตรอนของระบบจะหมดไป เมื่อพิจารณาจากข้อมูลของโออาร์พี พบจุดที่ค่าโออาร์พีมีค่าคงที่เป็นระยะสั้น ๆ ที่จุด 1 ดั่งภาพประกอบที่ 3.2, 3.6, 3.10 และ 3.14 ซึ่งตรงกับค่าพีเอชที่มีการปรับเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชันทำให้เกิดสภาพความเป็นด่างขึ้นในระบบซึ่งสภาพต่างที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 3.57 กรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อกรัมไนเตรต-ไนโตรเจน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2545) การตรวจวัดค่าพีเอชแบบต่อเนื่องพบว่าค่าพีเอชมีการผันผวนในช่วงแรกและมีการปรับตัวสูงขึ้นจนคงที่ ณ จุด 2 โดยทั้งจุดที่ 1 และ 2 เกิดขึ้นพร้อมกันแสดงถึงการสิ้นสุดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

การตรวจวัดค่าโออาร์พีและพีเอชซึ่งมีค่าคงที่เป็นระยะสั้น ๆ กรณีพิจารณาจากกราฟอาจทำให้ยากต่อการกำหนดจุดสิ้นสุดของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ผู้วิจัยจึงพิจารณาค่าโออาร์พีและพีเอชในรูปแบบของค่าความชัน พบว่าความชันของค่าโออาร์พีมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงช่วงละ 2.5 การเพิ่มขึ้นและลดลงของความชันเนื่องจากค่าโออาร์พีที่บันทึกจากเครื่องวัดสามารถบันทึกความละเอียดทศนิยมตำแหน่งที่สอง จึงทำให้ค่าโออาร์พีเป็นบวกและลบช่วงละ 2.5 การพิจารณาจุดสิ้นสุดของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันสำหรับงานวิจัยนี้มีค่าความชันของโออาร์พีเท่ากับ 0 ± 2.5 และความชันของพีเอชเท่ากับ 0 ± 0.02 ที่จุด $\alpha 1$ ดั่งภาพประกอบที่ 3.4, 3.5, 3.8, 3.9, 3.12, 3.13, 3.16 และ 3.17 ความชันของค่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงช่วงละ 0.02 การเพิ่มขึ้นและลดลงเนื่องจากค่าพีเอชที่บันทึกจากเครื่องวัดสามารถบันทึกความละเอียดทศนิยมตำแหน่งที่สาม ส่งผลให้ค่าความชันพีเอชเป็นบวกและลบช่วงละ 0.02 การพิจารณาจุดสิ้นสุดของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันสำหรับงานวิจัยนี้มีค่าพีเอชเท่ากับ 0 ± 0.02 ที่จุด $\alpha 2$ ดั่งภาพประกอบที่ 3.4, 3.5, 3.8, 3.9, 3.12, 3.13, 3.16 และ 3.17 จากการวัดค่าโออาร์พีและพีเอชที่มีความละเอียดแตกต่างกันจะทำให้การกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้แตกต่างกันออกไปและจากการพิจารณาค่าพีเอชและโออาร์พีที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับให้มีความคลาดเคลื่อน พบว่าเวลาน้อยที่สุดจากการทดลองทั้ง 4 ชุดการทดลองใช้เวลา 30 นาที จึงสามารถสรุปพิจารณาค่าความชันของโออาร์พีและพีเอชได้คือ จุดสิ้นสุดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันมีค่าความชันของโออาร์พีเท่ากับ 0 ± 2.5 และความชันของพีเอชเท่ากับ 0 ± 0.02 ที่จุด $\alpha 1$ และ $\alpha 2$ ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกันเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที

การพิจารณาจากความชันดังกล่าวพบเวลาสิ้นสุดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันต่างกันในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นที่ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเพิ่มมากขึ้นที่ 1.35 และ 2.54 ชั่วโมง แต่เมื่อปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นเท่ากับ 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะใช้เวลาใกล้เคียงกันที่ 2.94 และ 3.09 ชั่วโมง ซึ่งเห็นได้ว่าเวลาที่ต้องการใช้

ของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มสูงขึ้นและเมื่อปริมาณที่เคเอ็นมีปริมาณมาก เวลาที่ใช้ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเริ่มคงที่เนื่องจากเวลาที่ใช้ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันขึ้นอยู่กับปริมาณไนเตรตและไนไทรต์ในระบบ เมื่อระบบไม่มีปริมาณไนเตรตและไนไทรต์ แสดงว่ากระบวนการดีไนตริฟิเคชันก็จะไม่เกิดขึ้น ช่วงเวลาการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันของแต่ละชุดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยจุดสิ้นสุดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันนี้ควรเป็นจุดที่ชุดการทดลองเพื่อประหยัดพลังงานและเริ่มกระบวนการเติมอากาศในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 3.3 เวลาที่ใช้ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและไนตริฟิเคชันที่สภาวะคงที่

ชุดการ ทดลอง	ปริมาณ COD:TKN (mg/l)	อัตราส่วน COD:TKN	เวลาที่ใช้ในกระบวนการ ดีไนตริฟิเคชัน (hr)	เวลาที่ใช้ในกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน (hr)
1	1,000 : 50	20:1	1.55 ± 0.08	3.45 ± 0.61
2	1,000 : 100	10:1	2.49 ± 0.06	4.97 ± 0.32
3	1,000 : 150	6.67:1	2.94 ± 0.10	6.84 ± 0.31
4	1,000 : 200	5:1	3.09 ± 0.06	10.99 ± 0.23

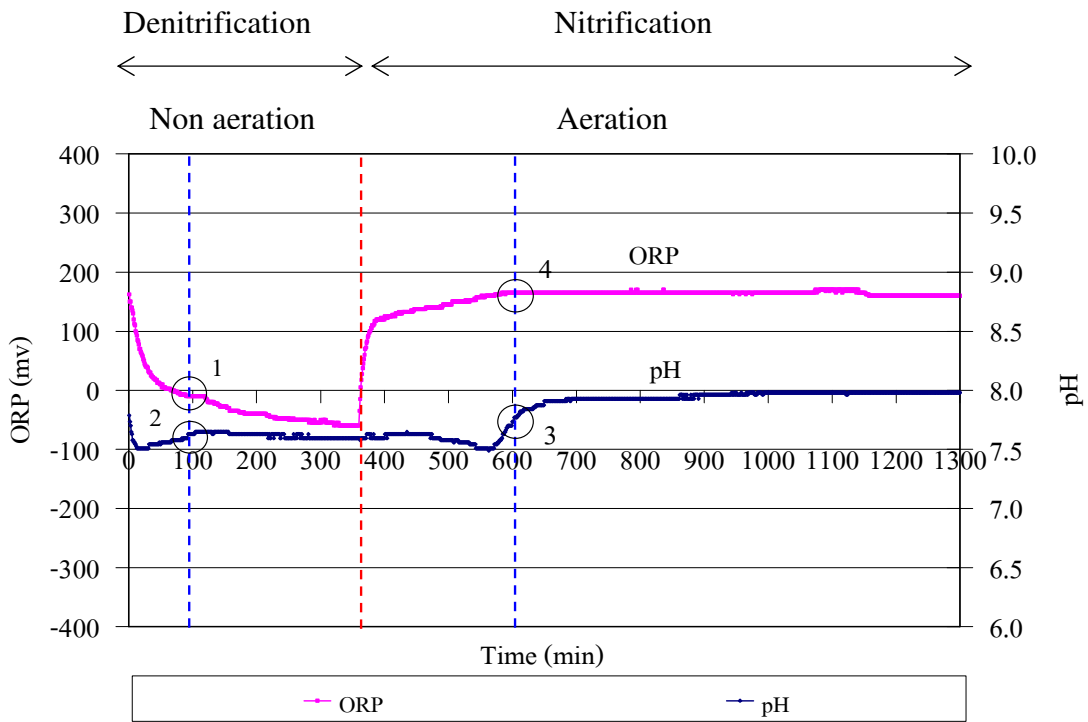
3.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พี พีเอช และปริมาณอินทรีย์ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ขั้นตอนการเติมอากาศกำหนดรอบระยะเวลาเท่ากับ 15 ชั่วโมง โดยในช่วงระยะเวลาดังกล่าวจะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ขณะที่กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นออกซิเจนที่มีการปล่อยโปรตอน (H^+) เพื่อทำลายสภาพด่างของระบบ พบว่าค่าพีเอชในช่วงเติมอากาศจะมีค่าลดต่ำลงจนสิ้นสุดกระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งไม่มีการปล่อยโปรตอน ค่าพีเอชจึงมีค่าคงที่ระยะเวลาสั้นๆ ที่จุด 3 และปรับสูงขึ้นในช่วงเวลาต่อมา ในอัตราส่วนที่มีปริมาณที่เคเอ็น 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนอัตราส่วนที่เคเอ็นที่ 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชไม่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อระบบสิ้นสุดกระบวนการไนตริฟิเคชันเนื่องจากการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันในอัตราส่วนที่เคเอ็น 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้มีการปล่อยโปรตอนออกมามากกว่าอัตราส่วนที่เคเอ็นที่ 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงทำให้ค่าพีเอชไม่ปรับตัวสูงขึ้นเนื่องจากสภาพด่างในระบบไม่พอดังภาพประกอบที่ 3.10 และ 3.14 และพบว่าไออาร์พีมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีแนวโน้มในการรับอิเล็กตรอนมาจากออกซิเจนในน้ำขณะเติมอากาศ (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2547) โดยพบว่า

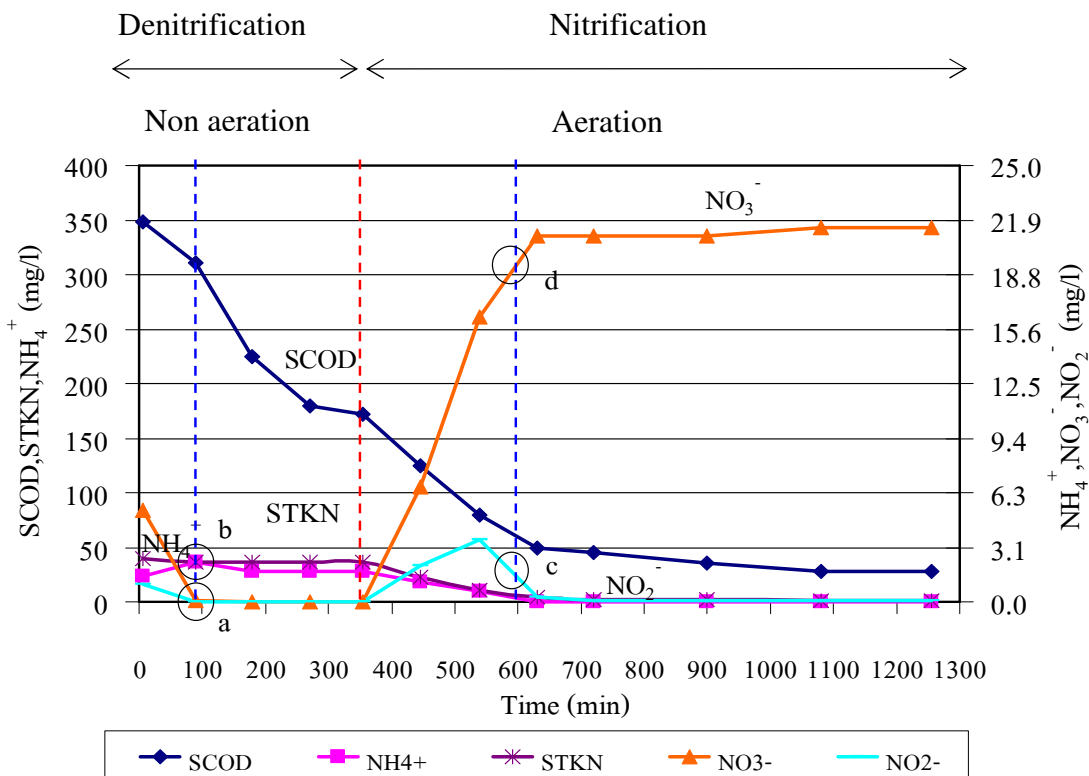
ที่จุดสิ้นสุดของกระบวนการไนตริฟิเคชันค่าไออาร์พีมีค่าคงที่ระยะสั้นๆ ที่จุด 4 ดังภาพประกอบที่ 3.2, 3.6, 3.10 และ 3.14 ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกับจุดที่ 3 ซึ่งค่าพีเอชมีค่าคงที่ ณ เวลาเดียวกัน

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่าทางเคมีของระบบทุกช่วงเวลา 1.5 ชั่วโมง พบว่าในระหว่างที่กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นปริมาณแอมโมเนียมีค่าลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์เปลี่ยนรูปแอมโมเนียไปเป็นไนเตรทส่งผลให้ไนเตรทมีค่าสูงขึ้น จุดที่ปริมาณแอมโมเนียมีค่าต่ำสุดที่จุด c เป็นจุดเดียวกับจุด d ซึ่งค่าไนเตรทมีค่าสูงดังภาพประกอบที่ 3.3, 3.7, 3.11 และ 3.15 โดยเป็นจุดสิ้นสุดของกระบวนการไนตริฟิเคชัน

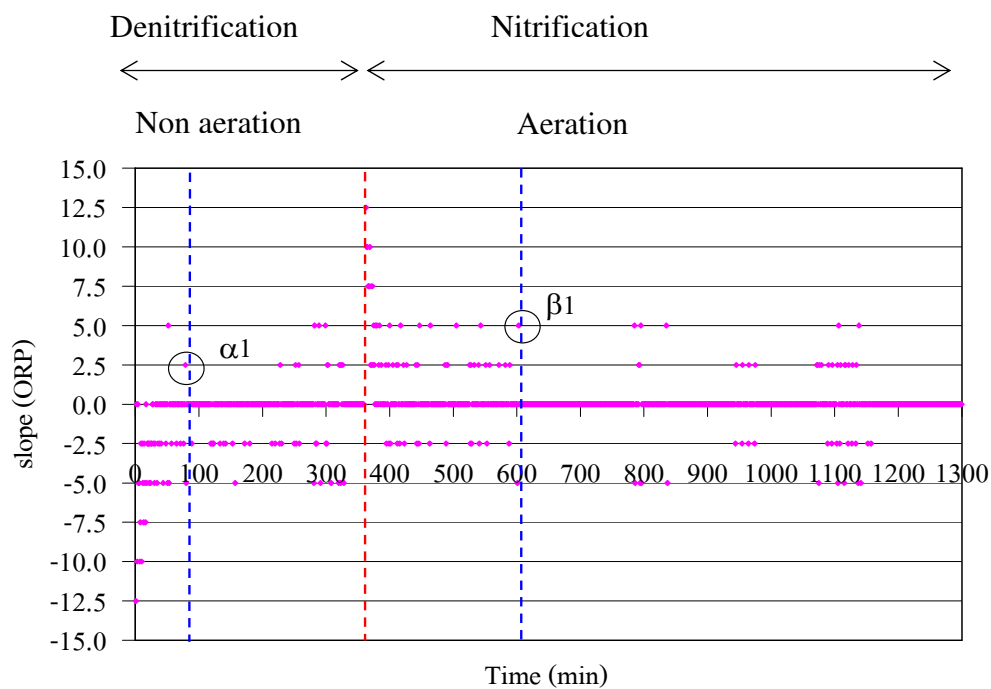
การตรวจวัดค่าไออาร์พีและพีเอชซึ่งมีค่าคงที่เป็นระยะสั้นๆ กรณีพิจารณาจากกราฟอาจทำให้ยากต่อการกำหนดจุดสิ้นสุดของกระบวนการไนตริฟิเคชัน ผู้วิจัยจึงพิจารณาค่าไออาร์พีและพีเอชในรูปแบบของค่าความชันซึ่งมีแนวทางพิจารณาเช่นเดียวกับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน พบว่าจุดที่สิ้นสุดกระบวนการไนตริฟิเคชันมีค่าความชันของไออาร์พีเท่ากับ 0 ± 2.5 และความชันของพีเอชเท่ากับ 0 ± 0.02 ที่จุด β_1 และ β_2 ตามลำดับ ดังภาพประกอบที่ 3.4, 3.5, 3.8, 3.9, 3.12, 3.13, 3.16 และ 3.17 ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกันเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที การพิจารณาจากความชันดังกล่าวพบว่าเวลาสิ้นสุดของกระบวนการไนตริฟิเคชันแตกต่างกันในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อปริมาณที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นที่ 50, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาของกระบวนการไนตริฟิเคชันเพิ่มมากขึ้นที่ 3.45, 4.97, 6.84 และ 10.99 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยจุดสิ้นสุดของกระบวนการไนตริฟิเคชันควรเป็นจุดที่หยุดการเติมอากาศเพื่อประหยัดพลังงานและเริ่มกระบวนการในขั้นตอนถัดไป



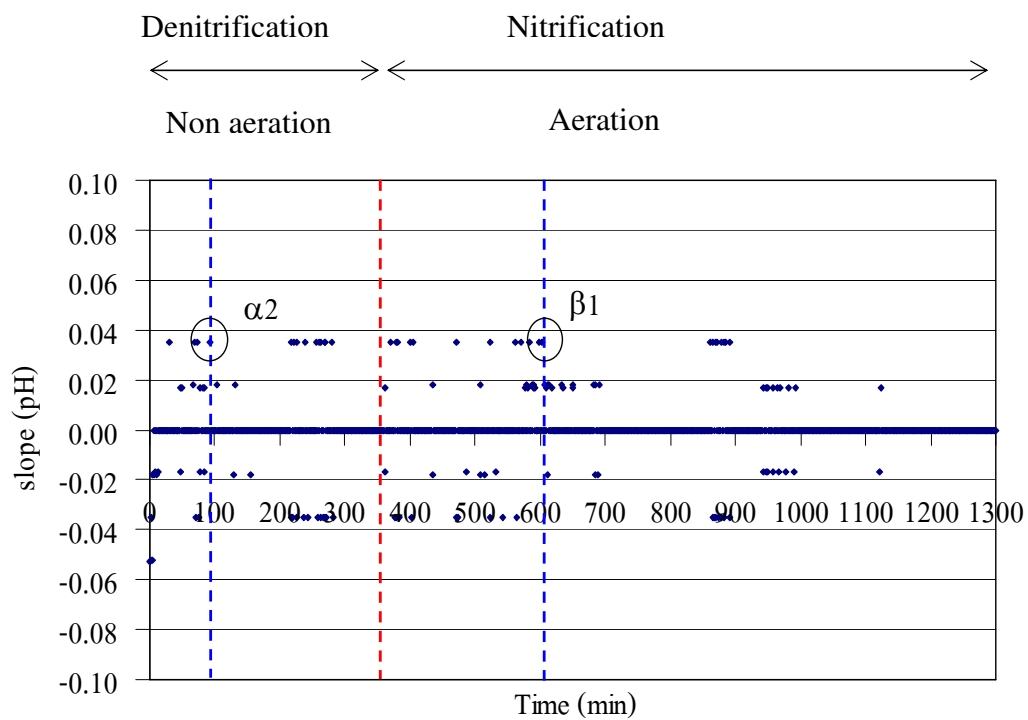
ภาพประกอบที่ 3.2 ค่าโออาร์พีและพีเอชของชุดการทดลองที่ 1 TKN:COD 50:1000 mg/l



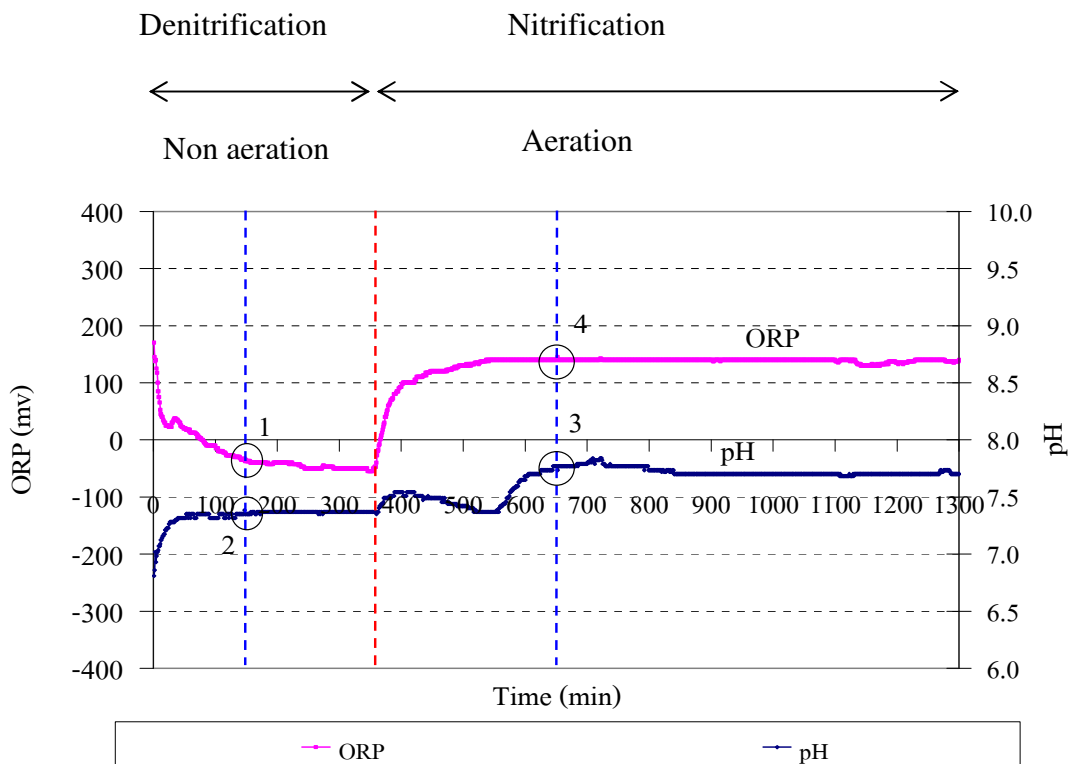
ภาพประกอบที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของชุดการทดลองที่ 1 TKN:COD 50:1000 mg/l



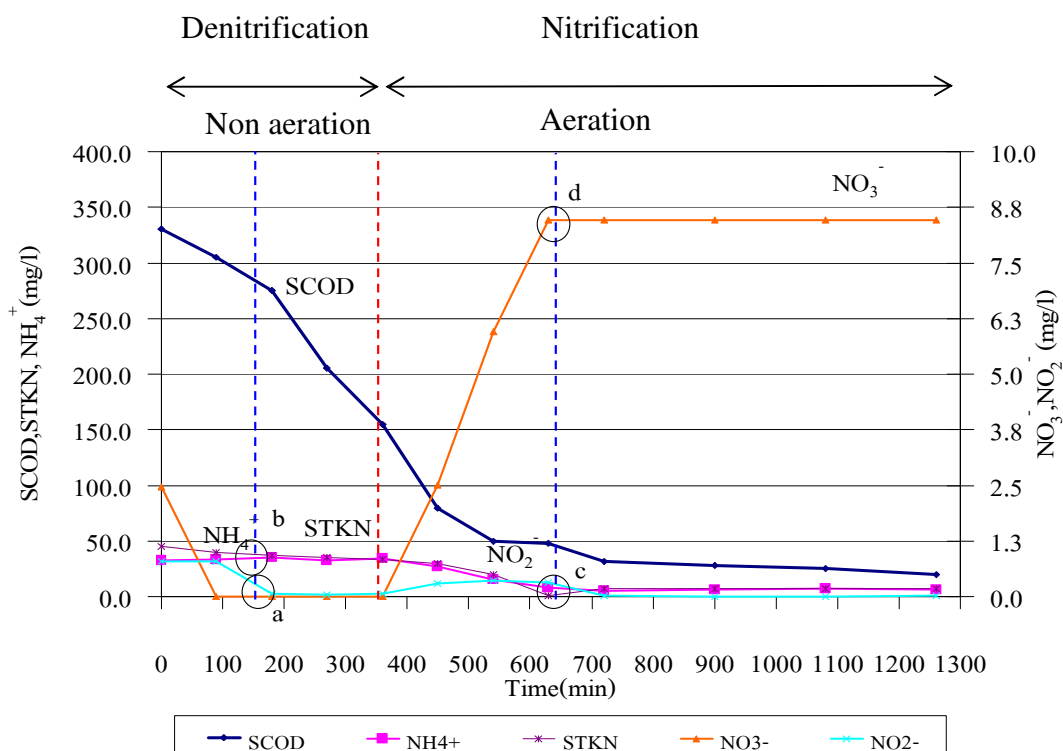
ภาพประกอบที่ 3.4 ค่าความชันของค่าโออาร์พีของชุดการทดลองที่ 1 TKN:COD 50:1000 mg/l



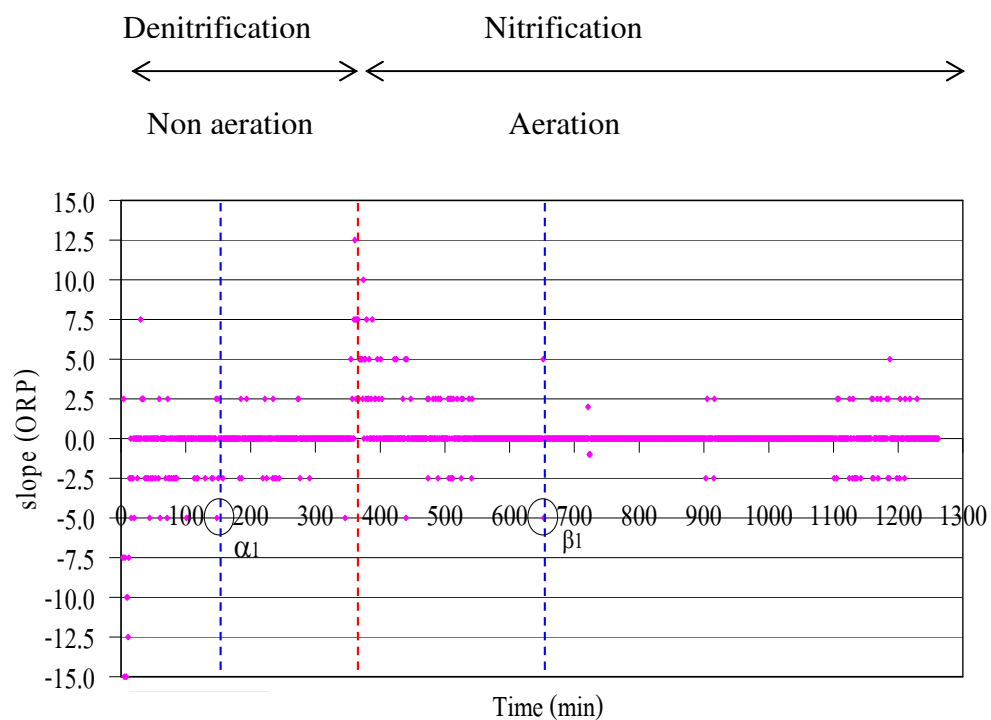
ภาพประกอบที่ 3.5 ค่าความชันของค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ 1 TKN:COD 50:1000 mg/l



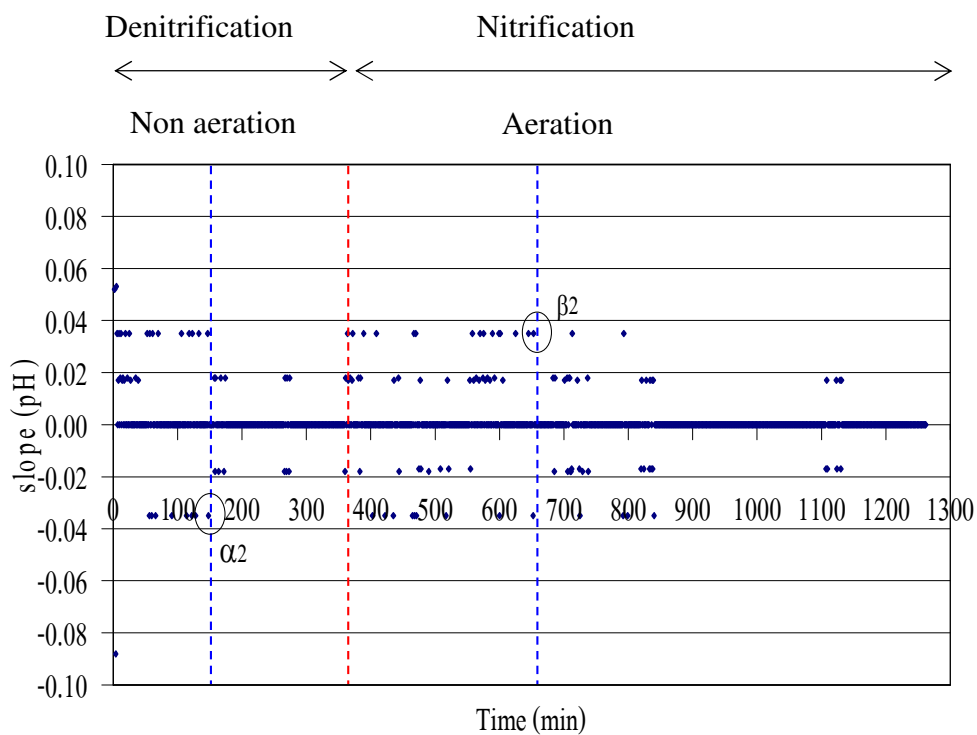
ภาพประกอบที่ 3.6 ค่าโออาร์พีและพีเอชของชุดการทดลองที่ 2 TKN:COD 100:1000 mg/l



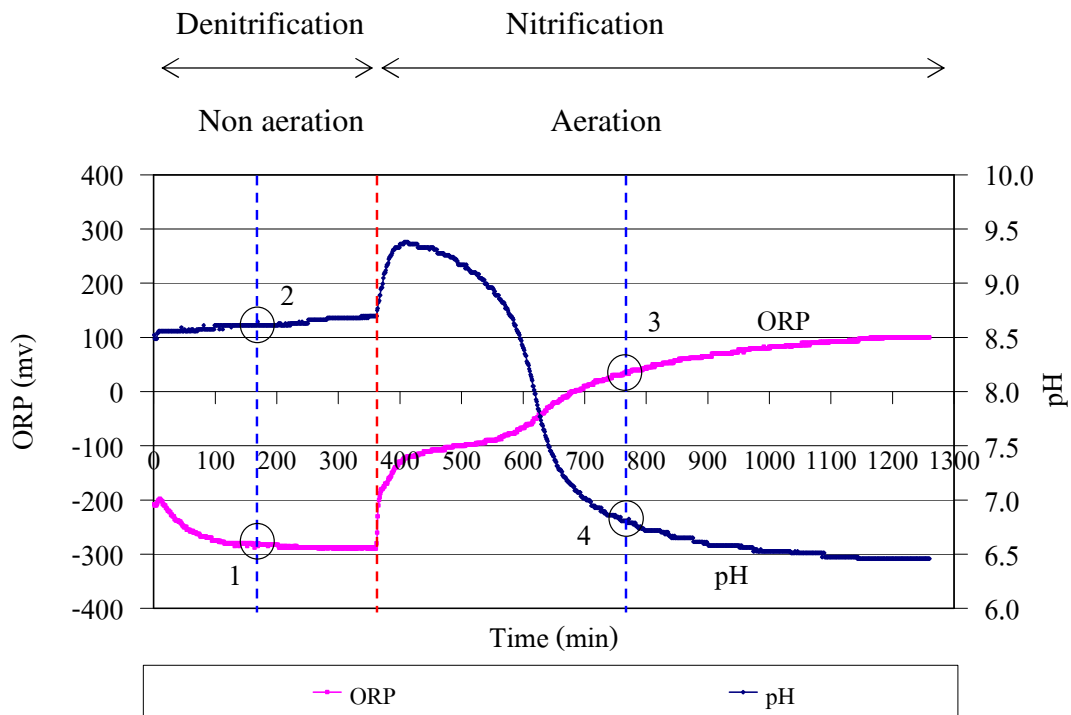
ภาพประกอบที่ 3.7 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของชุดการทดลองที่ 2 TKN:COD 100:1000 mg/l



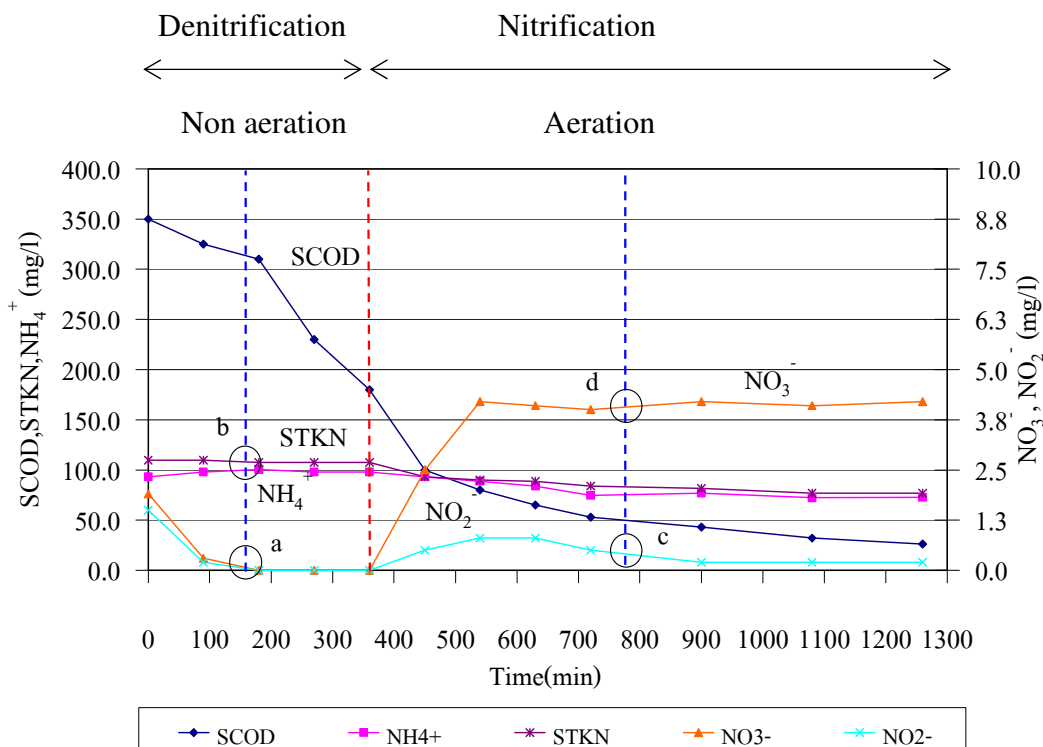
ภาพประกอบที่ 3.8 ค่าความชันของค่าโออาร์พีของชุดการทดลองที่ 2 TKN:COD 100:1000 mg/l



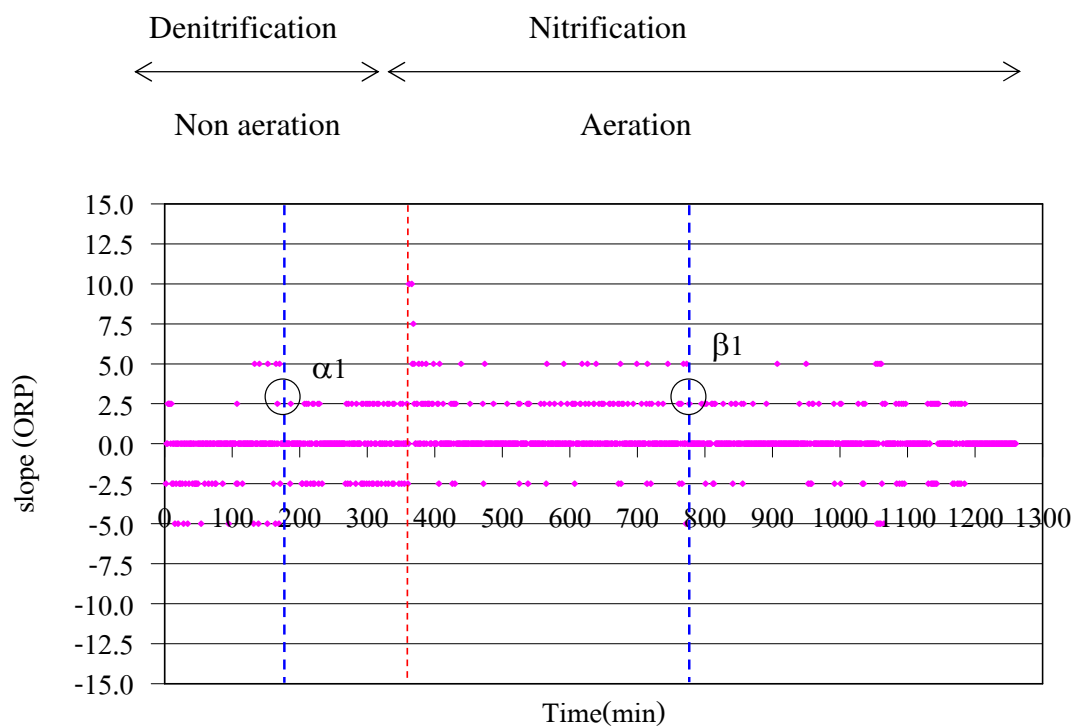
ภาพประกอบที่ 3.9 ค่าความชันของค่าโออาร์พีของชุดการทดลองที่ 2 TKN:COD 100:1000 mg/l



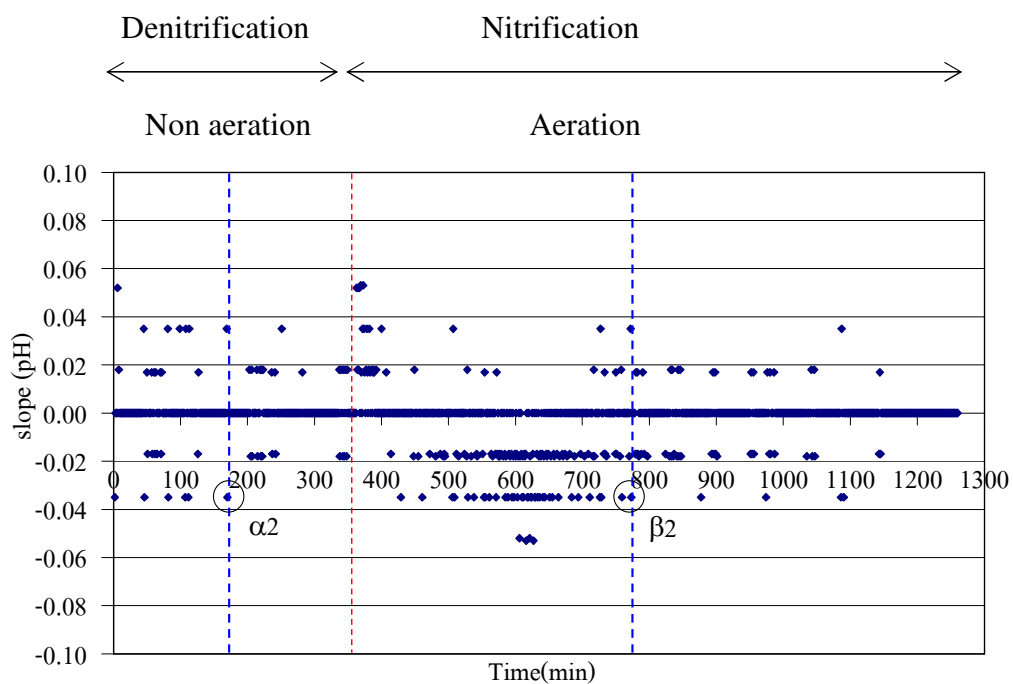
ภาพประกอบที่ 3.10 ค่าโออาร์พีและพีเอชของชุดการทดลองที่ 3 TKN:COD 150:1000 mg/l



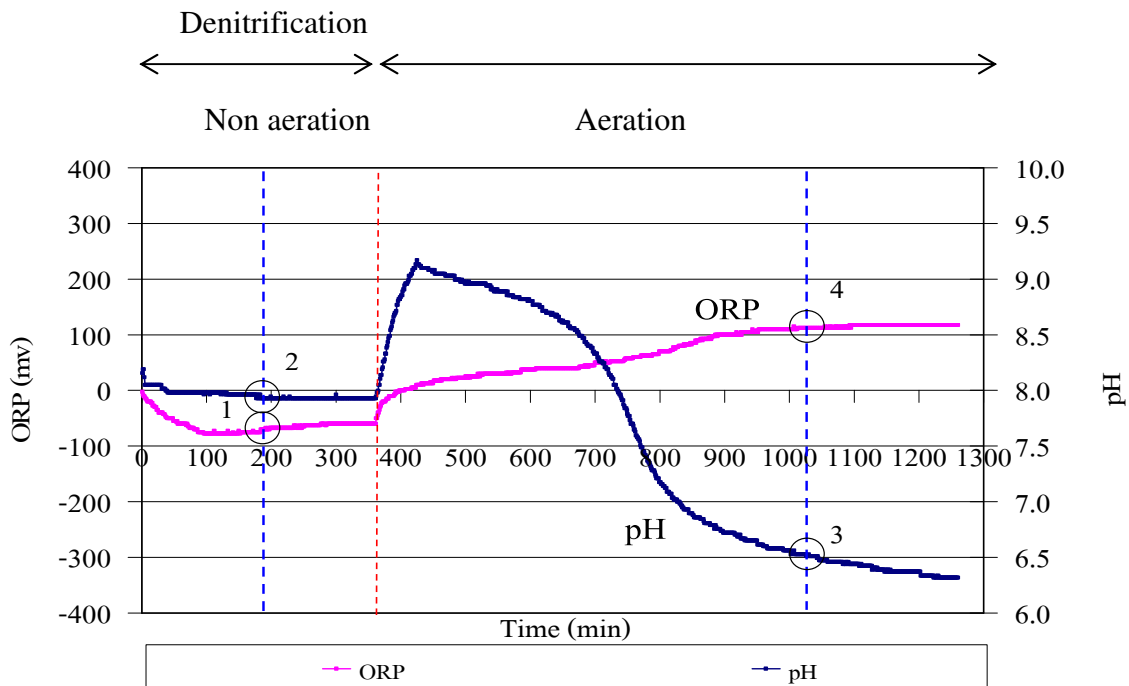
ภาพประกอบที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของชุดการทดลองที่ 3 TKN:COD 150:1000 mg/l



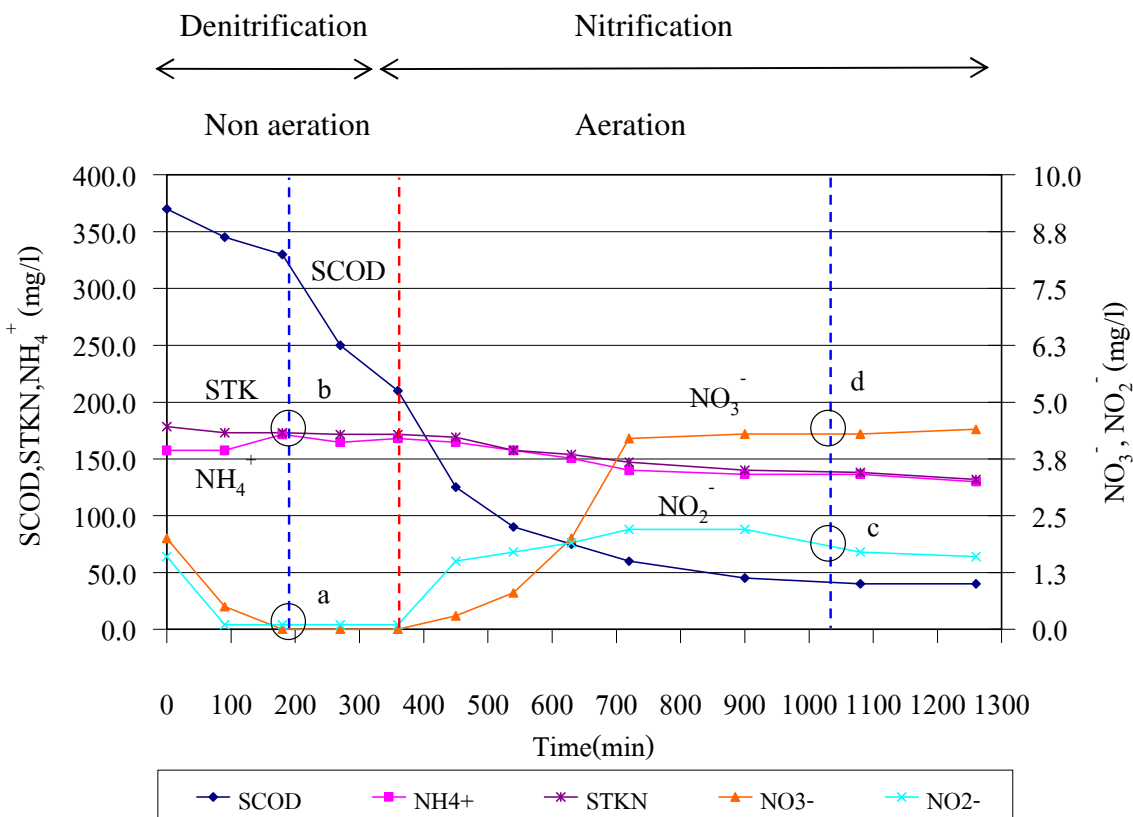
ภาพประกอบที่ 3.12 ค่าความชันของค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ 3 TKN:COD 150:1000 mg/l



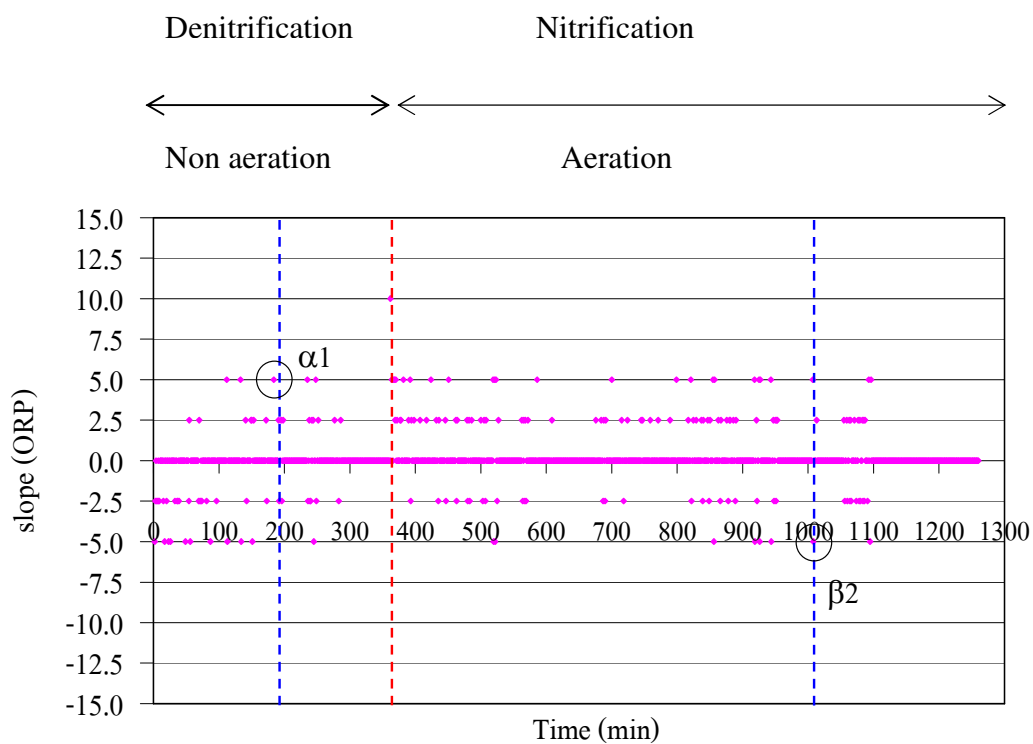
ภาพประกอบที่ 3.13 ค่าความชันของค่าโออาร์พีของชุดการทดลองที่ 3 TKN:COD 150:1000 mg/l



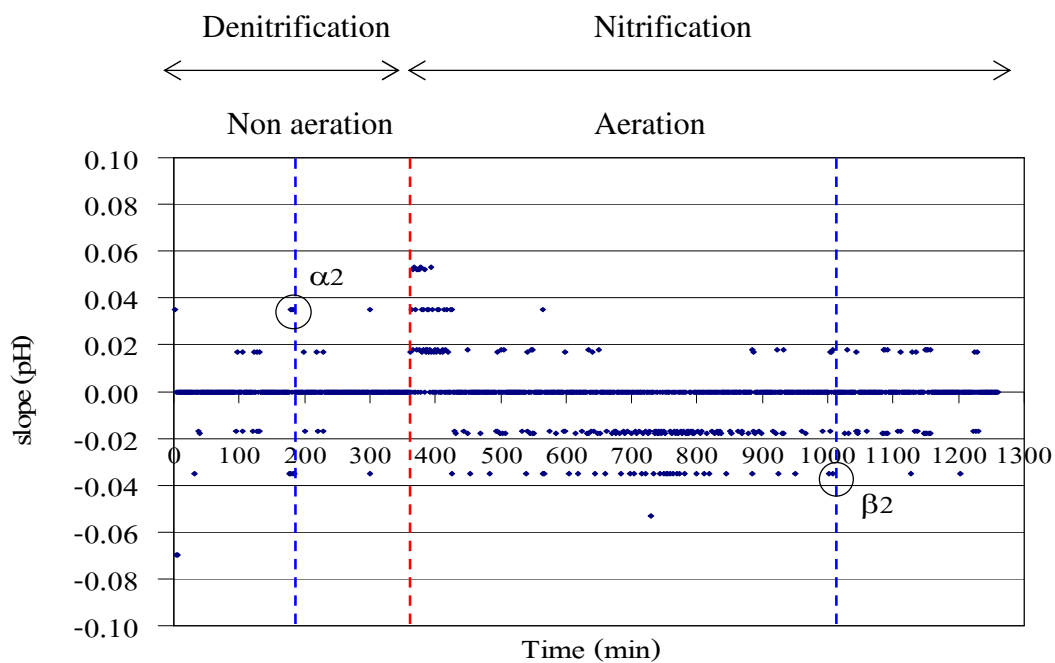
ภาพประกอบที่ 3.14 ค่าโออาร์พีและพีเอชของชุดการทดลองที่ 4 TKN:COD 200:1000 mg/l



ภาพประกอบที่ 3.15 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของชุดการทดลองที่ 4 TKN:COD 200:1000 mg/l



ภาพประกอบที่ 3.16 ค่าความชันของค่าโออาร์พีของชุดการทดลองที่ 4 TKN:COD 200:1000 mg/l



ภาพประกอบที่ 3.17 ค่าความชันของค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ 4 TKN:COD 200:1000 mg/l

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เคเอ็นต่อการกำหนดช่วงเวลาในกระบวนการดีไนทริเฟชันและไนทริไฟเคชันในรูปแบบของสมการโมนอดไคเนติกส์ (Monod kinetics equation) ชนิด saturation

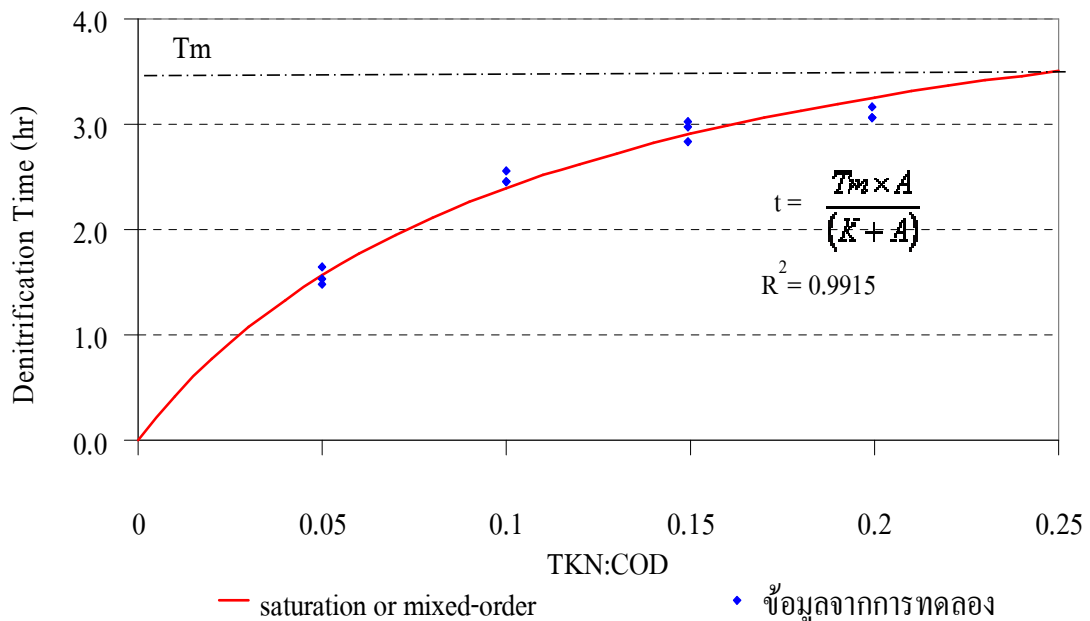
จากผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่มีปริมาณที่เคเอ็น 50, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถสรุปได้ดังนี้

3.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เคเอ็นต่อการกำหนดช่วงเวลาในกระบวนการดีไนทริเฟชัน

กระบวนการดีไนทริเฟชันเกิดขึ้นในช่วงต้นของรอบการทำงานของระบบหลังจากที่เริ่มเติมน้ำเสียเข้าระบบพบว่าชุดการทดลองที่ 1 ปริมาณที่เคเอ็นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลาในกระบวนการดีไนทริเฟชันน้อยที่สุดเฉลี่ย 1.35 ชั่วโมง และเมื่อปริมาณที่เคเอ็นสูงขึ้นเวลาที่ใช้ก็มากขึ้นด้วย ในชุดการทดลองที่ 3 และ 4 ปริมาณที่เคเอ็น 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับใช้เวลาใกล้เคียงกันที่ 2.94 และ 3.09 ชั่วโมง ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของที่เคเอ็นต่อซีโอดีกับช่วงเวลาในกระบวนการดีไนทริเฟชันแสดงดังภาพประกอบที่ 3.18 ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงด้วยสมการโมนอดไคเนติกส์ (Monod kinetics equation) ชนิด saturation (Metclaf และ Eddy, 2004) ตามสมการที่ 3-1

$$t = \frac{T_m \times A}{(K + A)} \quad (3-1)$$

โดยที่	t	= เวลาที่ใช้ในกระบวนการดีไนทริเฟชัน (ชั่วโมง)
	T _m	= เวลาที่ใช้ที่มากที่สุดในกระบวนการดีไนทริเฟชัน (ชั่วโมง)
	A	= อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดี
	K	= สัมประสิทธิ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา



ภาพประกอบที่ 3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงเวลาในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันต่อที่เคเอ็นในรูปแบบของความสัมพันธ์แบบ saturation

จากภาพประกอบที่ 3.18 พบว่าเมื่อสัดส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดีมากกว่า 0.2 เวลาที่ใช้จะใกล้เคียงกับค่า T_m ซึ่งแสดงว่าการเพิ่มเวลาในการกวนนานขึ้นสำหรับน้ำเสียที่มีอัตราส่วนมากกว่า 0.2 ไม่ส่งผลให้ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเพิ่มมากขึ้น สำหรับค่า T_m และค่าคงที่ K สามารถหาได้จากหลักการของ least square method หรือใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{t}$ ต่อ $\frac{1}{A}$ (แสดงในภาคผนวก ข) โดยมีค่า 5.081 ชั่วโมง และ 0.11229 ตามลำดับ โดยมีค่าความเชื่อมั่น (R^2) เท่ากับ 0.9915

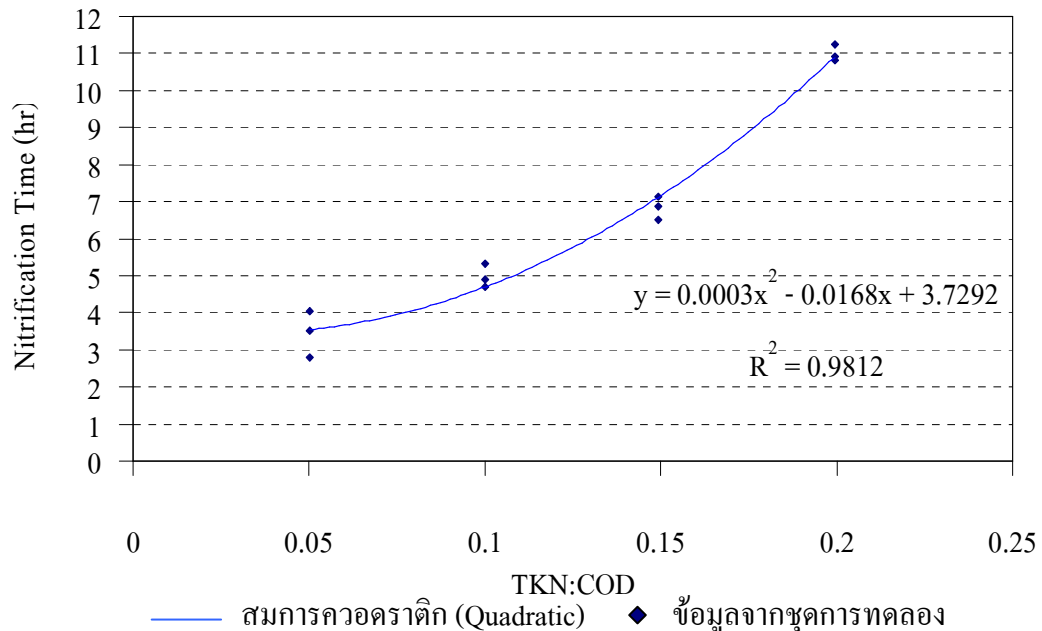
3.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เคเอ็นต่อการกำหนดช่วงเวลาในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

จากข้อมูลของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่าสำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน การเพิ่มสัดส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดีมีผลทำให้ต้องใช้เวลาในการเติมอากาศเพิ่มมากขึ้นโดยมีรูปแบบความสัมพันธ์ตามสมการควอดราติก ดังแสดงในสมการที่ 3-2 โดยมีค่าความเชื่อมั่น (R^2) เท่ากับ 0.9812

จากชุดข้อมูลน้ำเสียสังเคราะห์ $y = 0.0003x^2 - 0.0168x + 3.7292$ (3-2)

โดยที่ค่า y = เวลาที่ใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน (ชั่วโมง)

x = สัดส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดีของน้ำเสีย



ภาพประกอบที่ 3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงเวลาในกระบวนการไนตริฟิเคชันต่อที่เคเอ็นในรูปของความสัมพันธ์แบบควอดราติก

3.5 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเอสบีอาร์โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล

จากการทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอสบีอาร์โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลสามารถแบ่งได้ 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 6, 7 และ 8 โดยทั้ง 3 ชุดการทดลองใช้น้ำเสียตัวอย่างเดียวกัน ซึ่งมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 1018.98 ± 39.45 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณที่เคเอ็นเฉลี่ย 90.72 ± 1.32 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยระยะเวลาในการทำงานในช่วงกวนผสมและช่วงเติมอากาศแสดงดังตารางที่ 3.4 และมีประสิทธิภาพดังนี้

ตารางที่ 3.4 ระยะเวลาการทำงานของระบบเอสบีอาร์ในชุดการทดลองที่ 6, 7 และ 8

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาการทำงานของระบบเอสบีอาร์ (ชั่วโมง)		หมายเหตุ
	ช่วงกวนผสม (กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน)	ช่วงเติมอากาศ (กระบวนการไนตริฟิเคชัน)	
6	2.5	5	กำหนดรอบจากสมการที่ 3-1 และ 3-2
7	6	15	กำหนดรอบเหมือนชุดการทดลองที่ 1 – 4
8	2	4	กำหนดรอบจากการพิจารณาค่าไออาร์พีและพีเอชจากชุดการทดลองที่ 7

3.5.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและทีเคเอ็นของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล

ทะเล

ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีของระบบเอสบีอาร์พบว่า ชุดการทดลองที่ 6 กำหนดเวลาการทำงานของระบบจากสมการที่ 3-1 และ 3-2 ซึ่งได้จากการทดลองด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ เวลาที่ต้องการใช้ในการกวนผสมและการเติมอากาศเท่ากับ 2.5 และ 5 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 95.2 ชุดการทดลองที่ 7 ซึ่งใช้เวลาในการเติมอากาศนานที่สุดมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 96.7 และเมื่อพิจารณาค่าไออาร์พีและพีเอชพบจุดสิ้นสุดของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและไนตริฟิเคชันใช้เวลาเท่ากับ 2 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ จึงนำเวลาที่ได้มากำหนดรอบการทำงานในชุดการทดลองที่ 8 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 95.0 น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดในชุดการทดลองที่ 6, 7 และ 8 มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 47.7, 33.3 และ 49.6 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ปริมาณซีโอดีไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร (ราชกิจจานุเบกษา, 2539)

ตารางที่ 3.5 ปริมาณซีโอดีและทีเคเอ็นของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลที่ผ่านการบำบัด

ชุดการทดลอง	TCOD (Inf) (mg/l)	TCOD (Eff) (mg/l)	ประสิทธิภาพการบำบัด COD (ร้อยละ)	TKN(Inf) (mg/l)	TKN(Eff) (mg/l)	ประสิทธิภาพการบำบัด TKN (ร้อยละ)
6	1018.98	47.4	95.2	90.72	2.3	97.4
7	1018.98	33.3	96.6	90.72	2.1	97.6
8	1018.98	49.6	95.1	90.72	2.3	97.4

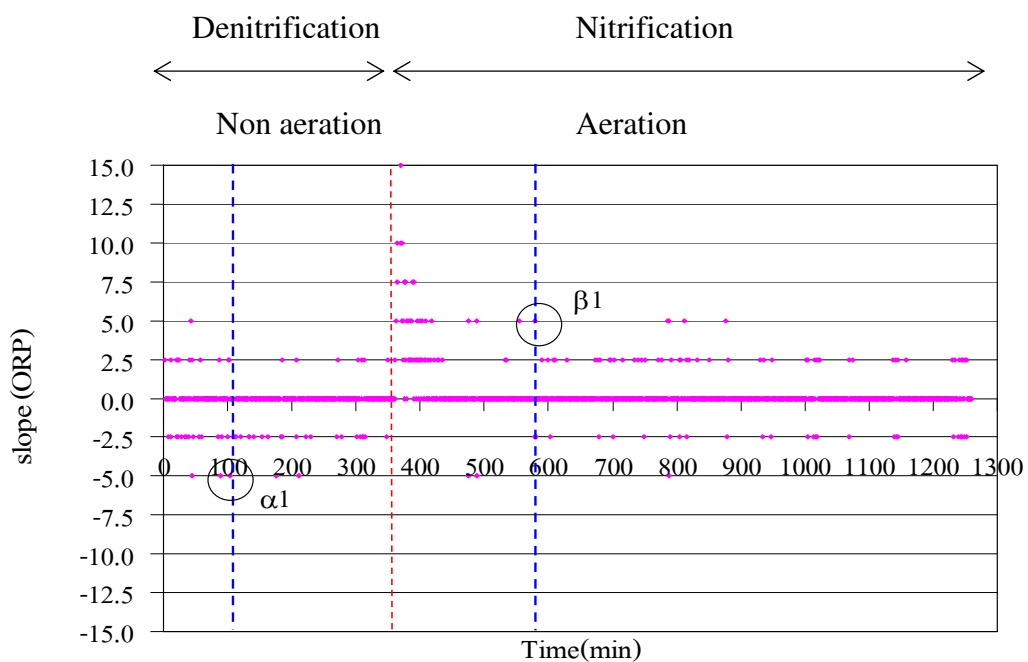
สำหรับการบำบัดที่เคเอ็นของระบบเอสบีอาร์พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดมีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชุด เฉลี่ยร้อยละ 97 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้สมการโมนอดไคเนติกส์ (Monod kinetics equation) ชนิด saturation และสมการควอดราติกในสมการที่ 3-1 และ 3-2 ซึ่งให้ค่าการกำหนดรอบเวลาการกวนผสมและเติมอากาศที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และ 98 โดยสามารถทำนายหาช่วงเวลาในกระบวนการกวนผสมและการเติมอากาศได้และมีประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกับการใช้โออาร์พีและพีเอชมาพิจารณาสำหรับการทดลองที่ 8

3.5.2 กระบวนการดีไนตริฟิเคชันของระบบเอสบีอาร์ โดยใช้ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล

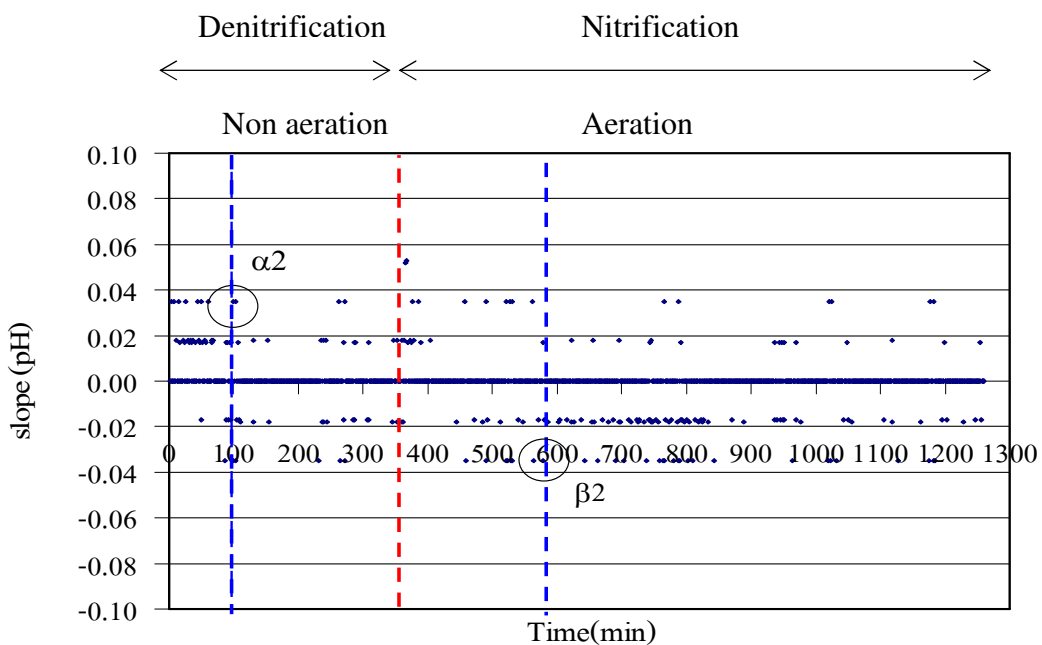
ระบบเอสบีอาร์ที่ใช้ทดลองโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลในชุดการทดลองที่ 7 ปริมาณในเทรตในช่วงเริ่มต้นกระบวนการดีไนตริฟิเคชันมีปริมาณลดลงจนต่ำสุดที่จุด a ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ดังภาพประกอบที่ 3.21 การตรวจวัดค่าพีเอชและโออาร์พีในช่วงกวนผสมในชุดการทดลองที่ 7 พบว่าแนวโน้มของค่าพีเอชและโออาร์พีมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับชุดการทดลองที่ 3 และ 4 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.20 ซึ่งสามารถตรวจวัดจุดสิ้นสุดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้จากค่าความชันของพีเอชและโออาร์พี โดยค่าความชันของพีเอชเท่ากับ 0 ± 0.02 และโออาร์พีความชันเท่ากับ 0 ± 2.5 ที่เกิดขึ้นพร้อมกันเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.22 และ 3.23 จากการใช้สมการที่ 3-1 พิจารณาจุดสิ้นสุดของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่อัตราส่วนทีเคเอ็นต่อซีโอดีเท่ากับ 0.089 ซึ่งใช้เวลา 2.5 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ 8 ซึ่งใช้เวลาสูงกว่า 0.5 ชั่วโมงดังแสดงในตารางที่ 3.4 เนื่องจากสมการที่ 3-1 เป็นการสรุปผลจากชุดการทดลองที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์เมื่อเทียบน้ำเสียจริงมีสารอาหารในน้ำเสียไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงใช้เวลาในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันต่างกัน

3.5.3 กระบวนการไนตริฟิเคชันของระบบเอสปีอาร์โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล

ช่วงเวลาของการเติมอากาศทำให้ระบบเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้น จากชุดการทดลองที่ 7 สังเกตได้ว่าปริมาณไนเตรตเพิ่มสูงขึ้นและปริมาณแอมโมเนียลดต่ำลงที่จุด d และ c ดังภาพประกอบที่ 3.21 ส่วนแนวโน้มของค่าพีเอชและค่าไออาร์พีในชุดการทดลองที่ 7 ดังภาพประกอบที่ 3.20 พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับชุดการทดลองที่ 3 และ 4 ซึ่งสามารถพิจารณาจุดสิ้นสุดของกระบวนการไนตริฟิเคชันได้จากค่าความชันของพีเอชและไออาร์พีเท่ากับ 0 ± 0.02 และ 0 ± 2.5 ตามลำดับ ดังภาพประกอบที่ 3.22 และ 3.23 และมีการใช้เวลาในการเติมอากาศ 4 ชั่วโมงเพื่อให้กระบวนการไนตริฟิเคชันสิ้นสุดลง จากสมการที่ 3-2 ซึ่งได้จากผลสรุปของการทดลองด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าสามารถกำหนดเวลาสิ้นสุดในกระบวนการไนตริฟิเคชันได้เท่ากับ 5 ชั่วโมง ซึ่งมีค่ามากกว่าเวลาที่ใช้จริง 1 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.9 และ 3.10 เนื่องจากน้ำเสียจริงมีสารอาหารที่ไม่เหมือนกับน้ำเสียสังเคราะห์การนำรูปแบบที่ได้จากน้ำเสียสังเคราะห์มาทดลองใช้จึงมีความแตกต่างกันส่งผลให้เวลาในกระบวนการไนตริฟิเคชันต่างกัน



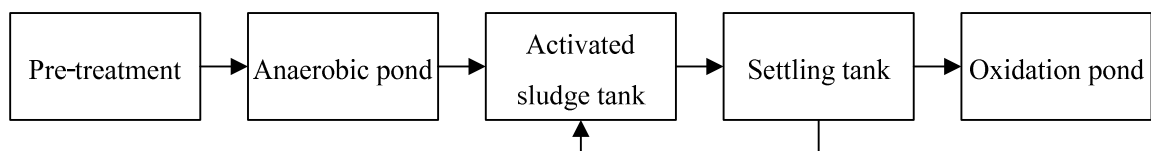
ภาพประกอบที่ 3.22 ค่าความชันของค่าโออาร์พีของชุดการทดลองที่ 7 TKN:COD 90:1000 mg/l



ภาพประกอบที่ 3.23 ค่าความชันของค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ 7 TKN:COD 90:1000 mg/l

3.6 การประยุกต์ใช้ระบบเอสปีอาร์ในโรงงานอุตสาหกรรม

กรณีตัวอย่าง บริษัท เอส.ซี. โซคูอิน จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 68/1 หมู่ 6 ตำบลท่านบ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ประกอบกิจการแปรรูปอาหารทะเล โดยมีน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานทั้งหมด 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีระบบบำบัดน้ำเสียชนิดแอกติเวตเต็ดสลัดจ์เป็นระบบรองรับในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น โดยมีกระบวนการในการบำบัดดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.24 น้ำทิ้งหลังจากการบำบัดแล้วจะเก็บไว้ในบ่อออกซิเดชันซึ่งเป็นบ่อเก็บน้ำของโรงงาน



ภาพประกอบที่ 3.24 กระบวนการบำบัดน้ำเสียของบริษัท เอส. ซี. โซคูอิน จำกัด

จากข้อมูลลักษณะน้ำเสียเข้าระบบเอสปีอาร์ในช่วงเดือนตุลาคม 2551 ถึงเดือนมกราคม 2552 ดังแสดงในตารางที่ 3.6 พบว่าค่าซีโอดีและค่าทีเคเอ็นเฉลี่ย 1,111.5 และ 128.3 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นอัตราส่วนทีเคเอ็นต่อซีโอดีเท่ากับ 0.11 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงว่าระบบมีปริมาณธาตุอาหารในน้ำเสียที่มีปริมาณสูงกว่าความต้องการใช้ของจุลินทรีย์ซึ่งจะส่งผลให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณธาตุอาหารเหลือตกค้าง การนำระบบเอสปีอาร์มาใช้จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะทำให้ระบบบำบัดสามารถที่จะบำบัดปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนและธาตุอาหารไปพร้อม ๆ กัน

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียเข้าระบบเอสปีอาร์ของบริษัท เอส. ซี. โซคูอิน จำกัด ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2551 ถึง มกราคม 2552

เดือน	COD	BOD	TKN	SS	pH
เดือน ตุลาคม 2551	1,099	570	126	265	7.23
เดือน พฤศจิกายน 2551	1,237	765	129	290	6.90
เดือน ธันวาคม 2551	1,250	405	115	215	7.66
เดือน มกราคม 2552	1,160	630	143	205	6.61
เฉลี่ย	1,186.5	592.5	128.3	243.8	7.1

การกำหนดช่วงเวลาการทำงานของระบบเอสปีอาร์โดยใช้สมการโมนอด์ไคเนติกส์ (Monod kinetics equation) ชนิด saturation สำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและสมการ Quadratic สำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งได้จากการวิจัยพบว่า ช่วงเวลาการกวนผสมสำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและช่วงเวลาการเติมอากาศสำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชันเท่ากับ 2.5 และ 3.7 ชั่วโมง จากข้อมูลที่ได้สามารถกำหนดระยะเวลาของระบบเอสปีอาร์ดังนี้ ช่วงเติมน้ำเสียเข้าระบบใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง ช่วงกวนผสมใช้เวลา 2.5 ชั่วโมง ช่วงการเติมอากาศใช้เวลา 4 ชั่วโมง ช่วงตกตะกอนใช้เวลา 2 ชั่วโมง ช่วงถ่ายน้ำออกจากระบบใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง และช่วงพักระบบใช้เวลา 0.5 ชั่วโมง โดยใช้เวลาทั้งหมด 10 ชั่วโมงต่อรอบการทำงาน ใน 1 รอบการทำงานสามารถบำบัดน้ำเสียได้ 196 ลูกบาศก์เมตร คิดจากบ่อเติมอากาศเดิมซึ่งมีขนาดกว้าง 14 เมตร ยาว 14 เมตร ระดับน้ำลึก 2 เมตร โดยการบำบัดใน 1 รอบจะถ่ายน้ำออก 1 เมตร ระบบเอสปีอาร์ทำงานได้ 2.4 รอบต่อวัน และสามารถบำบัดน้ำเสีย 470 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งสามารถรับน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานได้

ค่าใช้ไฟฟ้าในการบำบัดโดยคิดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเติมอากาศดังแสดงในตารางที่ 3.7 โดยปัจจุบันที่มีการใช้เครื่องเติมอากาศขนาด 10 แรงม้า จำนวน 4 เครื่อง การนำระบบเอสปีอาร์มาใช้จะสามารถที่จะประหยัดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเติมอากาศได้ร้อยละ 60 จากเดิมที่จ่ายค่าไฟฟ้า 1.78 หน่วยต่อการบำบัดน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถลดลงเหลือเพียง 0.72 หน่วยต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 3.7 จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด

	ระบบเอสดีเอ็มที่โรงงานใช้	ระบบเอสปีอาร์
ระยะเวลาใช้งานของเครื่องเติมอากาศ	24	9.6
จำนวนหน่วยไฟฟ้า/วัน	715	286
จำนวนหน่วยไฟฟ้า/ลบ.ม.	1.78	0.72

บทที่ 4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

4.1.1 จากการวิจัยพบว่าสามารถนำค่าไออาร์พีและพีเอชเป็นตัวชี้วัดเพื่อหาจุดสิ้นสุดของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและไนตริฟิเคชันแทนการวัดปริมาณอ็อกซิเจนต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียและพบว่าช่วงเวลาดังกล่าวที่ได้จากการใช้ไออาร์พีและพีเอชสำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารทะเลขึ้นอยู่กับสัดส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดีเป็นตามสมการโมโนคไคนติกส์ (Monod kinetics equation) ชนิด saturation สำหรับการกวนผสม และสมการควอดราติก (Quadratic) สำหรับการเติมอากาศ

4.1.2 ผลของการนำพารามิเตอร์ไออาร์พีและพีเอชมาใช้เป็นเครื่องมือตรวจวัดกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบพบว่าสามารถใช้ค่าไออาร์พีและพีเอชตรวจวัดได้ โดยที่จุดสิ้นสุดของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันมีค่าความชันของไออาร์พีและพีเอชเท่ากับ 0 ± 2.5 และ 0 ± 0.02 ตามลำดับ ที่เวลาเดียวกันไม่น้อยกว่า 30 นาที และจุดสิ้นสุดของกระบวนการไนตริฟิเคชันมีค่าความชันของไออาร์พีและพีเอชเท่ากับ 0 ± 2.5 และ 0 ± 0.02 ตามลำดับ ที่เวลาเดียวกันไม่น้อยกว่า 30 นาที เช่นกัน

4.1.3 ผลการศึกษาการกำหนดเวลาของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและไนตริฟิเคชันจากพารามิเตอร์ไออาร์พีและพีเอชไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบเอสบีอาร์พบว่า

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลซึ่งกำหนดรอบการทำงานจากพารามิเตอร์ไออาร์พีและพีเอชในรอบการกวน 6 ชั่วโมง และเติมอากาศ 15 ชั่วโมง สามารถลดระยะเวลาได้โดยช่วงกวนใช้เวลา 2 ชั่วโมง และเติมอากาศ 4 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและทีเคเอ็นเฉลี่ยร้อยละ 95 และ 97 ตามลำดับ

4.1.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนในรูปซีโอดีและปริมาณธาตุอาหารในรูปทีเคเอ็น พบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 50, 100, 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้สูงเฉลี่ยไม่ต่ำกว่าร้อยละ 94.3 และประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นในช่วงอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น 1000:50 และ 1000:100 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ยร้อยละ 97.7 และ 92.2 ตามลำดับ ยกเว้นชุดการทดลองที่ปริมาณทีเคเอ็น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบไม่สามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ได้ เมื่อเพิ่มปริมาณทีเคเอ็นสูงขึ้นที่อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น 1000:150 และ 1000:200 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นลดต่ำลงเฉลี่ยร้อยละ 51.1 และ 35.5 ตามลำดับ

สำหรับผลสรุปจากชุดการทดลองซึ่งใช้น้ำเสียสังเคราะห์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดรอบเวลาการกวนและเติมอากาศได้ เมื่อนำไปใช้กับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

ทะเลที่มีอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น 1000:90 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าใช้เวลาในช่วงการกวนและเติมอากาศเท่ากับ 2.5 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งใช้เวลาต่างจากการกำหนดรอบการทำงานโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลเล็กน้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและทีเคเอ็นสูงขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 96.1 และ 97 ตามลำดับ

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ในระดับห้องปฏิบัติการให้ประสิทธิภาพสูงทั้งการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนและธาตุอาหาร การนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต จึงควรพัฒนาการทดลองเป็นแบบระบบบำบัดในระดับโรงงานนำร่อง (pilot plant) เพื่อการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลที่มีลักษณะน้ำเสียใกล้เคียงกัน โดยนำผลของสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมของงานศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนและธาตุอาหาร ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน

4.2.2 การประยุกต์ใช้ระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดไนโตรเจนสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลที่มีระบบบำบัดน้ำเสียแอกทีฟเต็ดสลัดจ์แบบผสมสมบูรณ์ (complete-mix) สามารถทำได้โดยกำหนดให้มีช่วงเวลาดีไนตริฟิเคชันในระบบบำบัด โดยการปิดและเปิดเครื่องเติมอากาศเพื่อให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งสามารถนำเครื่องวัดพีเอชและไออาร์พีที่มีอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นเครื่องมือกำหนดช่วงเวลาการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ ที่เหมาะสมได้

4.2.3 จากปัญหาปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนในน้ำเสีย ยังมีลักษณะของประเภทโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีปัญหาผลกระทบจากปริมาณไนโตรเจนในน้ำเสีย จึงควรทดลองวิธีการนำค่าไออาร์พีและพีเอชไปประยุกต์ใช้หาช่วงเวลาที่เหมาะสมในช่วงการกวนและการเติมอากาศเพื่อให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานในการบำบัด

4.2.4 จากการทดลองที่อัตราส่วนทีเคเอ็นสูง พบว่ามีประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากปริมาณคาร์บอนในน้ำเสียลดลงจนไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดกระบวนการบำบัดไนโตรเจนทางชีวภาพได้ จึงควรศึกษาวิธีการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในน้ำเสียจากภายนอกทำให้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณทีเคเอ็นสูงเพื่อให้น้ำทิ้งผ่านมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม

บรรณานุกรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 4. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรังสิต.

ชลิตา เลี่ยมสงวน. 2540. การศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดไนโตรเจนโดยระบบไบโอক্রิม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชาญศักดิ์ คชานูบาล. 2542. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสปีอาร์ในการบำบัดสารอินทรีย์ในโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากโรงงานปลาหนึ่ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสุขภาพสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2545. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

นุกูล อินทระสังขา มานี แก้วชนิด ปนัดดา พรหมรักษ์ และธวัฒน์ชัย เทพนวล. 2543. ปัญหาน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมชีวภาพในจังหวัดสงขลาและจังหวัดพัทลุง. สงขลา : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.

มันสิน ตันกุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันสิน ตันกุลเวศม์. 2547. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ราชกิจจานุเบกษา. 2539. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539.

- สุรี ขาวเขียวและคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2538. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุโชค เปี่ยมชล. 2545. การศึกษาผลกระทบของความเค็มและระยะเวลาแอโรบิก-แอน็อกซิกที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัจฉรา จันทร์อารีย์. 2538. การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียโดยใช้ถังปฏิกริยาชนิดถังเทที่มีการเติมอากาศแบบไม่ต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอกสิทธิ์ เดชพิริยชัย. 2542. การใช้ Internal carbon source ในช่วงแอนน็อกซิกของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์แบบเอสบีอาร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Abeling, U., and Seyfried, C.F. 1992. Anaerobic-Aerobic Treatment of High Strength Ammonia Wastewater – Nitrogen removal via Nitrite. Water Science and Technology. 26, 1007-1015.
- Akin, B.S., and Ugurlu, A. 2003. Biological Removal of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in a Sequencing Batch Reactor. Environmental Science and Health. 1479-1488.
- Akin, B.S., and Ugurlu, A. 2005. Monitoring and Control of biological nutrient removal in a Sequencing Batch Reactor Process Biochemistry. 2873-2878.
- Andreottola, G., Foladori, P., and Ragazzi, M. 2001. On-line control of a SBR system for nitrogen removal from industrial wastewater. Water Science and Technology. 43(3), 93-100.
- APHA, AWWA and WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Wastewater. 20th edition, Maryland, United Book Press, Inc. New York.

- Baikun Li. and Shannon Irvin. 2007. The Comparison of Alkalinity and ORP as Indicators for Nitrification and Denitrification in a Sequencing Batch Reactor (SBR). *Biochemical Engineering*. 34, 248-255.
- C.S., RA., K.V., LO., J. S., Shin, J., S., Oh and B. J., Hong. 2000. Biological Nutrient Removal with an Internal Organic Carbon Source in Piggery Wastewater Treatment. *Water Research*. 34(3), 965-973.
- Chevakidagarn, P. 2004. Improving removal capacities of existing activated sludge treatment plants in Southern Thailand. National Research Center for Environmental and Hazardous Waste Management.
- Grady, C.P. and Lim, H.C. 1980. Biological Wastewater Treatment. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Han Zhiying, Wu Weixiang, Zhu Jun and Chen Yingxu. 2007. Oxidization-reduction potential and pH for optimization of nitrogen removal in a twice-fed sequencing batch reactor treating pig slurry. *Biosystems Engineering*. 99, 273-281.
- Hanze, M., Harremoes, P., Jansen, J. and Arvin, E. 1997. Wastewater Treatment-Biological and Chemical Processes. Springer, 2nd edition, Berlin, Germany, 384.
- Intrasungkha, N. 1998. A Suitable Technology for the Treatment of Seafood Processing Wastewater. Doctoral Dissertation. The University of Queensland. Australia.
- Isaacs, S.H. and Henze, M. 1995. Control carbon source addition an alternating nitrification-denitrification wastewater treatment process including biological Phosphorus removal. *Water Research*. 29(1), 77-89.

- Kim Ju-Hyun, Chen Meixue, Kishida Naohiro and Sudo Ryuichi. 2004. Integrated real-time control strategy for nitrogen removal in swine wastewater treatment using sequencing batch reactors. Water Research. 38, 3340-3348.
- Labbé, N., Parent, S. and Villemur, R. 2003. Addition of Trace Metals Increases Denitrification Rate in Closed Marine Systems. Water Research. 37, 915-921.
- Liu, W. T., Marsh, T. L., Cheng, H. and Forney, L.J. 1997. Characterization of Microbial Diversity by Determining Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism of Genes Encoding 16S rRNA. Applied and Environmental Microbiology. 63, 4914-4919.
- Metcalf & Eddy. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. McGraw-Hill, Inc. New York.
- Orhon, D., and Artan, N. 1994. Modelling of activated sludge system Technomic Publishing Company Inc., Pennsylvania, United state of America. 378.
- Ospar. 1999. Strategy to combat eutrophication. Accessed from <http://www.ospar.org/eng/html/sap/eutstrat.htm>.
- Paul, E., Plisson-Saune, S., Mauret, M. and Cantet J. 1998. Process State Evaluation of Alternating Oxidic-Anoxic Activated Sludge Using ORP, pH and DO. Water Research. 299-306.
- Sedlak, R.I. 1991. Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater: Principle and Practice. The Soap and Detergent Association, New York, United State of America. 116.
- Yu Ruey-Fang, Liaw ShuLiang, Cheng Wan-Tuan and Cheng-Nan Chang. 2000. Performance Enhancement of SBR Applying Real-Time Control. Environmental Engineering. 126(10), 943-948.

Srinath, E.G. 1976. Nitrifying Organism Concentration and Activity. Environmental Engineering Division. 102(2), 449-469.

Zipper, T., Fleischmann, N. and Haderl, R. 1998. Development Of a New System For Control and Optimization Of Small Wastewater Treatment Plants Using Oxidation-Reduction Potential (ORP). Water Research. 307-314.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสียและน้ำทิ้ง

1. ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสียเข้าระบบ

ตารางที่ ก-1 ชุดการทดลองที่ 1 น้ำเสียส่งเคราะห์อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดีเท่ากับ 50 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ (วัน)	BOD ₅ (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TTKN (mg/l)	STKN (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SNH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	pH
5	560.0	985.0	705.0	49.9	44.3	22.9	22.4	0.0	0.0	178.0	7.30
10	545.0	975.0	689.0	50.4	44.6	22.4	22.4	0.0	0.0	176.0	7.44
15	545.0	985.0	712.0	50.6	43.2	22.2	21.5	0.0	0.0	174.0	7.30
20	560.0	1015.2	712.0	48.1	42.0	21.5	21.5	0.0	0.0	175.0	7.56
25	575.0	1024.0	689.0	49.9	44.3	23.1	22.2	0.0	0.0	179.0	7.40
30	565.0	1024.0	781.0	49.5	44.6	22.9	22.4	0.0	0.0	170.0	7.30
35	545.0	985.0	724.0	50.9	45.3	22.6	22.2	0.0	0.0	174.0	7.51
40	559.0	1015.2	724.0	50.6	42.0	22.4	22.4	0.0	0.0	174.0	7.32
45	545.0	985.0	712.0	50.6	43.2	22.4	22.4	0.0	0.0	176.0	7.30
50	559.0	1015.2	724.0	50.4	43.2	22.4	22.2	0.0	0.0	178.0	7.30
ค่าเฉลี่ย	555.80	1000.86	717.20	50.09	43.67	22.48	22.16	0.0	0.0	175.40	7.37
S.D.	± 10.80	± 25.86	± 28.20	± 1.99	± 1.67	± 0.98	± 0.66	± 0.0	± 0.0	± 5.40	± 0.07

ตารางที่ ก-2 ชุดการทดลองที่ 2 น้ำเสียสังเคราะห์อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีไอคือเท่ากับ 100 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ (วัน)	BOD ₅ (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TTKN (mg/l)	STKN (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SNH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	pH
5	575.0	1024.0	712.0	99.6	88.2	69.1	64.9	0.0	0.0	178.0	7.46
10	541.0	985.0	764.0	98.5	85.9	69.5	65.3	0.0	0.0	176.0	7.49
15	545.0	985.0	772.0	99.4	86.3	64.6	64.6	0.0	0.0	174.0	7.14
20	560.0	1015.2	724.0	101.3	86.3	65.3	64.9	0.0	0.0	175.0	7.14
25	545.0	985.0	712.0	99.6	88.2	64.9	64.6	0.0	0.0	179.0	7.51
30	559.0	1024.0	781.0	101.3	90.5	64.2	63.5	0.0	0.0	170.0	7.49
35	537.0	985.0	776.0	102.2	90.3	67.2	64.4	0.0	0.0	174.0	7.51
40	559.0	1015.2	724.0	101.0	88.2	66.5	65.1	0.0	0.0	174.0	7.49
45	569.0	1015.2	712.0	101.0	86.3	65.8	65.1	0.0	0.0	176.0	7.46
50	559.0	1015.2	724.0	100.3	86.3	68.6	65.3	0.0	0.0	178.0	7.46
ค่าเฉลี่ย	554.90	1004.88	740.10	100.42	87.65	66.57	64.77	0.0	0.0	175.40	7.41
S.D.	± 13.90	± 19.88	± 28.10	± 1.92	± 1.75	± 2.93	± 1.27	± 0.0	± 0.0	± 5.40	± 0.27

ตารางที่ ก-3 ชุดการทดลองที่ 3 น้ำเสียสังเคราะห์อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีไอคือเท่ากับ 150 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ (วัน)	BOD ₅ (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TTKN (mg/l)	STKN (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SNH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	pH
5	550.0	1040.0	784.0	151.7	133.0	147.0	145.6	0.0	0.0	162.0	7.63
10	492.0	984.0	776.0	151.0	126.0	146.5	142.1	0.0	0.0	162.0	7.70
15	492.0	984.0	776.0	149.0	126.0	135.5	132.3	0.0	0.0	167.0	7.58
20	531.0	984.0	784.0	149.0	131.0	146.3	145.0	0.0	0.0	176.0	7.56
25	531.0	975.0	781.0	149.0	131.0	135.2	132.3	0.0	0.0	176.0	7.70
30	550.0	1024.0	776.0	150.3	133.0	145.0	143.0	0.0	0.0	182.0	7.50
35	531.0	1024.0	820.0	150.3	133.0	143.4	140.2	0.0	0.0	167.0	7.60
40	492.0	984.0	781.0	149.0	126.0	135.5	132.3	0.0	0.0	167.0	7.63
45	531.0	1024.0	776.0	150.3	133.0	134.0	132.3	0.0	0.0	167.0	7.58
50	531.0	1024.0	813.0	150.0	133.0	135.5	132.3	0.0	0.0	176.0	7.63
ค่าเฉลี่ย	523.10	1004.70	786.70	149.96	130.50	140.39	137.74	0.00	0.00	170.2	7.61
S.D.	± 31.10	± 29.70	± 10.70	± 0.96	± 4.50	± 6.39	± 7.86	± 0.00	± 0.00	± 8.20	± 0.05

ตารางที่ ก-4 ชุดการทดลองที่ 4 น้ำเสียสังเคราะห์อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดีเท่ากับ 200 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ (วัน)	BOD ₅ (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TTKN (mg/l)	STKN (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SNH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	pH
5	559.0	1015.2	776.0	199.5	175.5	193.9	193.55	0.0	0.0	175.0	7.86
10	541.0	985.0	742.0	184.8	179.2	181.5	179.2	0.0	0.0	175.0	7.79
15	539.0	985.0	772.0	204.4	175.5	196.9	187.6	0.0	0.0	167.0	7.86
20	560.0	1015.2	755.0	203.0	175.5	194.13	186.67	0.0	0.0	156.0	7.70
25	560.0	1015.2	762.0	204.4	175.5	197.17	190.63	0.0	0.0	150.0	7.84
30	559.0	1015.2	781.0	204.4	172.7	196.9	190.63	0.0	0.0	167.0	7.86
35	537.0	976.0	776.0	199.5	172.7	191.1	187.6	0.0	0.0	167.0	7.86
40	559.0	1015.2	781.0	199.5	179.2	189.9	187.6	0.0	0.0	156.0	7.79
45	570.0	1035.0	781.0	204.4	180.0	195.5	189.9	0.0	0.0	156.0	7.79
50	559.0	1015.2	781.0	204.4	180.0	195.5	189.7	0.0	0.0	156.0	7.86
ค่าเฉลี่ย	554.3	1007.22	770.7	200.8	176.6	193.3	188.3	0.0	0.0	162.50	7.82
S.D.	± 17.30	± 31.2	± 28.7	± 16.0	± 3.9	± 11.8	± 9.1	± 0.0	± 0.0	± 6.50	± 0.03

ตารางที่ ก-5 ชุดการทดลองที่ 5 น้ำเสียสังเคราะห์อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดีเท่ากับ 400 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ (วัน)	BOD ₅ (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TTKN (mg/l)	STKN (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SNH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	pH
5	534.0	1015.2	750.0	410.0	295.0	354.2	326.2	0.0	0.0	144.0	8.31
10	535.0	985.0	732.0	408.0	295.0	363.5	349.5	0.0	0.0	144.0	8.26
15	535.0	985.0	750.0	398.0	298.0	368.2	349.5	0.0	0.0	164.0	7.98
20	559.0	978.0	742.0	401.0	296.1	382.2	363.5	0.0	0.0	146.0	7.65
25	550.0	1015.2	757.0	387.0	293.8	384.5	363.5	0.0	0.0	150.0	7.48
30	570.0	1015.2	776.0	400.7	294.1	386.9	363.8	0.0	0.0	157.0	8.02
35	560.0	1015.2	780.0	395.0	290.3	365.9	364.9	0.0	0.0	150.0	8.33
40	559.0	1035.0	781.0	402.0	293.0	377.5	364.9	0.0	0.0	153.0	7.99
45	559.0	1015.2	776.0	400.2	293.0	386.9	364.0	0.0	0.0	156.0	7.99
50	559.0	1015.2	776.0	400.2	293.0	377.5	364.0	0.0	0.0	156.0	8.20
ค่าเฉลี่ย	552.00	1007.42	762.00	400.21	294.13	374.73	357.38	0.00	0.00	152.00	8.02
S.D.	± 18.00	± 29.42	± 30.00	± 7.79	± 0.88	± 20.53	± 31.18	± 0.00	± 0.00	± 8.00	0 ± .37

ตารางที่ ก-6 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของ น้ำเสียจริงอัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดีเท่ากับ 90 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ (วัน)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	CODF (mg/l)	TKN (mg/l)	TKNF (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NH ₄ ⁺ F (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	pH
5	442.12	1058.43	813.3	92.0	78.9	46.2	45.0	0.0	0.0	40.0	6.943
10	420	990	879.7	91.5	78.2	46.0	45.5	0.0	0.0	34.0	6.96
15	414	1015.2	870.0	89.4	79.8	44.8	44.8	0.0	0.0	32.0	7.135
20	417	1024	866.0	91.0	78.0	45.5	44.8	0.0	0.0	32.0	6.78
25	424.3	1014.2	840.0	90.4	79.8	46.7	44.3	0.0	0.0	30.6	6.595
30	415	1015.5	842.0	90.5	78.9	46.4	45.7	0.0	0.0	32.0	6.715
35	422	1015.5	842.0	90.3	77.9	46.0	45.5	0.0	0.0	30.0	6.71
ค่าเฉลี่ย	422.06	1018.98	850.43	90.72	78.79	45.94	45.09	0.00	0.00	32.94	6.83
S.D.	± 20.06	± 39.45	± 37.13	± 1.32	± 1.01	± 1.14	± 0.79	± 0.00	± 0.00	± 7.06	± 0.24

2. ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำทิ้งออกจากระบบ

ตารางที่ ก-7 น้ำทิ้งจากระบบชุดการทดลองที่ 1 อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีไอดีเท่ากับ 50 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ (วัน)	BOD ₅ (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TTKN (mg/l)	STKN (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SNH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	pH	หมายเหตุ
5	4.90	51.24	25.00	1.16	0.20	0.20	0.20	0.40	16.30	3.80	7.98	
10	5.20	63.00	22.30	0.93	0.40	0.50	0.20	0.60	21.48	4.40	7.98	
15	6.01	61.74	30.20	0.93	0.20	0.50	0.20	0.50	18.89	4.40	7.98	
20	4.95	52.50	27.30	1.16	0.40	0.50	0.20	0.40	19.37	4.40	7.99	
25	5.40	59.50	32.00	1.40	0.20	0.20	0.20	0.40	19.34	2.40	7.98	
30	6.10	54.70	32.00	1.16	0.40	0.30	0.20	0.40	19.90	3.80	7.97	
35	6.20	63.00	32.00	0.93	0.20	0.40	0.20	0.40	21.47	3.50	7.96	
40	5.10	57.50	24.00	1.40	0.20	0.20	0.20	0.40	21.47	1.90	7.96	a
41	4.95	58.00	24.00	1.40	0.20	0.20	0.20	0.40	21.47	1.10	7.98	a
42	4.20	58.50	22.00	1.20	0.20	0.20	0.20	0.40	19.90	1.90	7.95	a
43	4.40	58.50	22.00	1.20	0.20	0.20	0.20	0.40	19.90	1.90	7.95	a
44	4.40	56.00	20.00	1.18	0.20	0.20	0.20	0.40	19.90	1.90	7.95	a
45	3.20	56.00	16.00	1.16	0.20	0.20	0.20	0.40	19.90	1.90	7.95	a
46	3.30	56.00	16.00	1.16	0.20	0.20	0.20	0.40	19.90	1.90	7.98	a
47	3.30	56.00	16.00	1.18	0.20	0.20	0.20	0.40	19.90	1.10	7.98	a
48	3.45	56.00	16.00	1.18	0.20	0.20	0.20	0.40	21.47	1.10	7.98	a
49	3.45	56.00	16.00	1.18	0.20	0.20	0.20	0.40	21.47	1.10	7.98	a
50	3.00	57.50	14.00	1.16	0.20	0.20	0.20	0.40	21.47	1.10	7.98	a
51	3.00	53.00	14.00	1.16	0.20	0.20	0.20	0.40	21.47	1.10	7.97	a
52	3.00	56.00	14.00	0.93	0.20	0.20	0.20	0.40	21.47	1.10	7.97	a
53	3.10	56.00	14.00	0.93	0.20	0.20	0.20	0.40	21.47	1.10	7.97	a
54	3.20	54.30	14.00	0.93	0.20	0.20	0.20	0.40	21.47	1.10	7.97	a
55	3.10	54.30	14.00	0.93	0.20	0.20	0.20	0.40	21.47	1.10	7.97	a
ค่าเฉลี่ย*	3.63	56.23	17.25	1.14	0.20	0.20	0.20	0.40	20.88	1.40	7.97	
S.D.	± 2.47	± 6.78	± 6.75	± 0.26	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.98	± 0.50	± 0.02	

- ค่าเฉลี่ย* = ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว; a = ช่วงเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-8 น้ำทิ้งจากระบบชุดการทดลองที่ 2 อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีไอดีเท่ากับ 100 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ (วัน)	BOD ₅ (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TTKN (mg/l)	STKN (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SNH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	pH	หมายเหตุ
5	2.90	30.50	15.00	6.53	1.20	0.20	0.20	0.10	7.30	1.33	8.33	
10	2.95	31.50	16.00	6.30	1.20	0.50	0.20	0.10	8.50	0.60	8.27	
15	2.20	23.80	12.00	6.53	2.30	0.50	0.00	0.00	6.20	1.00	8.33	
20	2.65	29.40	14.40	7.00	2.30	0.50	0.00	0.00	7.30	1.00	8.26	
25	2.70	29.40	14.40	6.30	1.20	0.50	0.00	0.10	7.30	1.60	8.33	
30	2.35	23.80	12.00	4.66	0.50	0.50	0.00	0.10	6.20	1.33	8.26	
35	2.95	31.50	16.00	4.66	0.50	0.20	0.20	0.00	8.50	0.80	8.27	
40	2.90	24.20	18.00	8.90	0.90	0.20	0.20	0.10	8.50	0.66	8.27	a
41	2.80	24.20	14.40	8.90	0.90	0.20	0.20	0.10	8.90	0.66	8.27	a
42	2.80	24.20	14.40	7.90	1.20	0.20	0.20	0.00	8.90	0.60	8.26	a
43	2.95	22.00	15.20	7.90	1.20	0.20	0.20	0.10	8.90	1.00	8.26	a
44	2.95	21.20	15.50	7.90	0.90	0.20	0.20	0.10	8.90	0.60	8.26	a
45	2.35	21.20	12.00	7.90	0.90	0.20	0.20	0.00	8.90	0.66	8.27	a
46	2.85	18.00	14.00	7.90	0.90	0.20	0.20	0.00	8.90	0.66	8.27	a
47	2.80	20.00	16.00	7.90	0.90	0.20	0.20	0.00	8.90	1.00	8.27	a
48	2.95	16.00	15.20	7.50	0.90	0.20	0.20	0.00	8.90	0.80	8.33	a
49	2.95	16.00	15.20	7.50	0.90	0.20	0.20	0.00	8.90	0.80	8.33	a
50	3.00	20.00	15.20	7.50	0.90	0.20	0.20	0.00	8.90	0.80	8.33	a
51	3.00	20.00	15.20	7.50	0.90	0.20	0.20	0.00	8.90	1.00	8.26	a
52	3.00	18.00	15.20	7.30	0.50	0.20	0.20	0.00	8.90	1.00	8.26	a
53	2.80	18.00	14.40	7.30	0.50	0.20	0.20	0.00	8.90	0.66	8.27	a
54	2.85	20.00	14.40	7.30	0.50	0.20	0.20	0.00	8.90	0.66	8.27	a
55	2.95	20.00	15.20	7.30	0.50	0.20	0.20	0.00	8.90	0.66	8.27	a
ค่าเฉลี่ย*	2.87	20.19	14.97	7.78	0.84	0.20	0.20	0.03	8.88	0.76	8.28	
S.D.	± 0.52	± 3.61	± 0.57	± 1.25	± 1.46	± 0.30	± 0.20	± 0.08	± 2.68	± 0.16	± 0.01	

- ค่าเฉลี่ย* = ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว; a = ช่วงเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-9 น้ำทิ้งจากระบบชุดการทดลองที่ 3 อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีไอดีเท่ากับ 150 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ (วัน)	BOD ₅ (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TTKN (mg/l)	STKN (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SNH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	pH	หมายเหตุ
5	3.45	36.00	34.00	108.70	60.70	70.23	68.60	0.50	5.30	16.00	6.46	
10	4.00	50.00	26.00	110.10	83.10	70.90	67.40	0.50	5.90	24.00	7.35	
15	5.20	58.00	36.00	118.00	88.70	72.30	59.97	0.60	3.00	39.80	6.41	
20	1.95	22.00	18.00	88.20	56.90	71.40	69.80	0.10	5.30	26.20	7.04	
25	4.50	48.00	26.00	98.90	60.70	71.90	68.10	1.80	5.30	35.00	6.65	
30	5.25	54.00	26.00	91.00	60.70	71.40	67.43	0.70	4.00	29.70	6.79	
35	1.85	20.00	14.00	85.90	59.30	67.40	65.60	0.07	3.50	29.40	6.70	
40	3.40	40.00	18.00	74.20	51.30	66.50	60.20	0.10	4.00	23.80	6.81	a
41	3.10	40.00	14.40	75.60	51.30	57.20	56.20	0.08	4.10	24.80	6.62	a
42	3.25	40.00	14.00	73.30	51.30	60.00	59.30	0.07	4.10	23.80	6.62	a
43	3.25	36.00	14.40	74.20	51.30	61.60	53.20	0.09	4.20	24.60	6.72	a
44	3.15	36.00	14.00	74.20	43.40	61.60	53.20	0.09	4.20	20.00	6.72	a
45	3.50	34.00	14.00	72.20	43.40	61.60	53.20	0.12	4.20	19.40	6.72	a
46	3.20	34.00	14.00	72.20	43.40	57.87	50.40	0.18	4.10	20.00	6.88	a
47	3.30	36.00	14.40	73.30	43.40	58.57	50.40	0.13	4.10	23.80	6.80	a
48	3.15	36.00	14.40	73.30	44.00	58.80	46.90	0.12	4.10	23.80	6.88	a
49	3.15	34.00	14.40	74.20	44.00	54.80	46.90	0.12	4.10	20.00	6.88	a
50	3.15	34.00	14.00	74.20	43.40	51.57	46.90	0.13	4.10	19.40	6.88	a
51	3.15	34.00	14.00	73.30	43.40	51.60	44.60	0.11	4.00	20.00	6.93	a
52	3.25	36.00	14.00	74.20	43.40	51.60	44.60	0.10	4.00	20.00	6.93	a
53	3.25	36.00	14.00	74.20	44.00	51.60	44.60	0.09	4.00	19.60	6.93	a
54	3.25	36.00	14.40	73.30	43.40	51.60	44.60	0.09	4.00	19.60	6.93	a
55	3.25	36.00	14.40	73.30	43.40	51.60	44.60	0.07	4.00	19.40	6.93	a
ค่าเฉลี่ย*	3.23	36.13	14.43	73.70	45.49	56.76	49.99	0.11	4.08	21.38	6.82	
S.D.	± 0.27	± 3.88	± 3.58	± 1.90	± 5.81	± 4.84	± 10.21	± 0.08	± 0.12	± 3.43	± 0.11	

- ค่าเฉลี่ย* = ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว; a = ช่วงเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-10 น้ำทิ้งจากระบบชุดการทดลองที่ 4 อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีไอดีเท่ากับ 150 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ(วัน)	BOD ₅ (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TTKN (mg/l)	STKN (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SNH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	pH	หมายเหตุ
5	6.50	66.67	28.00	141.20	139.10	106.90	93.30	0.08	6.00	29.00	6.21	
10	4.95	52.00	32.00	139.90	127.90	118.50	91.90	0.20	5.90	33.00	6.34	
15	7.50	84.67	40.00	146.50	127.90	109.70	93.60	0.08	4.80	16.00	6.95	
20	7.80	86.00	44.00	131.50	121.30	104.10	102.20	0.20	3.20	9.60	6.62	
25	4.95	52.00	32.00	135.20	124.10	121.10	116.00	0.12	4.60	20.50	6.55	
30	5.60	57.60	38.00	137.67	126.90	103.80	93.60	0.07	3.20	34.40	6.79	
35	4.70	48.00	28.80	129.20	126.90	108.50	93.20	0.10	4.40	25.40	6.72	
40	4.10	44.00	25.20	131.50	120.40	115.70	113.17	0.11	4.60	16.40	6.46	a
41	3.95	44.40	27.00	131.50	120.40	116.40	113.17	0.15	4.30	16.40	6.42	a
42	3.95	44.00	27.00	131.50	120.40	116.40	113.20	0.09	4.20	16.80	6.46	a
43	3.40	44.00	26.00	130.10	119.00	115.70	110.60	0.16	4.40	16.80	6.51	a
44	3.45	44.40	28.00	131.50	120.40	114.57	113.20	0.10	4.40	16.40	6.65	a
45	3.25	44.40	25.20	131.50	120.40	116.40	113.20	0.10	4.60	13.60	6.39	a
46	3.30	43.50	22.00	129.20	119.00	116.40	113.20	0.13	4.50	13.80	6.48	a
47	3.57	43.50	22.00	129.20	117.10	116.40	113.20	0.12	4.60	13.40	6.32	a
48	3.45	42.50	25.20	129.20	119.00	115.70	110.60	0.09	4.30	13.60	6.25	a
49	3.20	42.50	22.00	129.20	119.00	116.40	113.40	0.24	4.30	9.20	6.39	a
50	3.25	43.50	22.00	129.20	119.00	116.40	113.20	0.10	4.20	8.60	6.37	a
51	3.55	40.00	22.00	129.20	117.10	114.57	110.40	0.10	4.30	8.60	6.37	a
52	3.42	40.00	23.40	127.30	117.10	114.57	110.40	0.10	4.40	9.60	6.37	a
53	3.42	40.00	23.40	127.30	117.10	114.33	110.40	0.10	4.60	8.40	6.25	a
54	3.45	40.00	23.40	127.30	117.10	115.70	110.60	0.10	4.30	8.60	6.25	a
55	3.47	40.00	22.00	127.30	117.10	115.70	110.60	0.10	4.20	9.20	6.25	a
ค่าเฉลี่ย*	3.51	42.54	24.11	129.50	118.73	115.71	112.03	0.12	4.39	12.46	6.39	
S.D.	± 3.51	± 1.86	± 3.89	± 2.00	± 1.68	± 0.69	± 1.17	± 0.04	± 0.21	± 3.94	± 0.2	

- ค่าเฉลี่ย* = ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว; a = ช่วงเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-13 น้ำทิ้งจากระบบชุดการทดลองที่ 6 อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีไอดีเท่ากับ 90 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ	BOD ₅ (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TTKN (mg/l)	STKN (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SNH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	pH	หมายเหตุ
10	3.65	50.00	24.00	2.40	0.50	0.20	0.20	0.10	8.90	12.20	6.89	
20	3.80	50.00	24.00	2.20	0.70	0.50	0.20	0.10	8.90	11.30	6.89	a
21	3.85	50.00	22.00	2.20	0.20	0.20	0.20	0.10	8.90	10.80	6.84	a
22	3.75	50.00	24.00	2.20	0.20	0.20	0.20	0.10	8.90	8.80	6.85	a
23	3.40	48.00	20.00	2.40	0.20	0.20	0.20	0.10	9.20	10.40	6.88	a
24	3.60	45.00	20.00	2.40	0.20	0.20	0.20	0.10	8.90	8.80	6.83	a
25	3.65	48.00	22.00	2.30	0.20	0.20	0.20	0.10	8.90	9.60	6.83	a
26	3.65	48.00	20.00	2.30	0.20	0.20	0.00	0.10	9.20	9.20	6.75	a
27	3.60	48.00	20.00	2.30	0.50	0.20	0.00	0.10	9.20	9.60	6.84	a
28	3.78	50.00	24.00	2.30	0.50	0.20	0.00	0.10	9.20	9.60	6.75	a
29	3.78	48.00	22.00	2.30	0.50	0.20	0.00	0.00	9.20	9.20	6.88	a
30	3.85	50.00	20.00	2.30	0.50	0.20	0.00	0.00	9.20	9.40	6.83	a
31	3.90	50.00	24.00	2.30	0.50	0.20	0.00	0.00	8.90	9.40	6.84	a
32	3.42	42.00	20.00	2.30	0.50	0.20	0.00	0.00	8.90	9.60	6.83	a
33	3.53	43.50	20.00	2.20	0.50	0.20	0.00	0.00	8.90	9.40	6.86	a
34	3.53	42.00	22.00	2.40	0.50	0.20	0.00	0.00	8.90	9.40	6.86	a
35	3.45	44.00	18.00	2.30	0.50	0.20	0.00	0.00	8.90	9.40	6.87	a
ค่าเฉลี่ย*	3.66	47.44	21.53	2.30	0.41	0.22	0.08	0.06	9.01	9.77	6.84	
S.D.	± 0.26	± 3.44	± 3.53	± 0.10	± 0.29	± 0.28	± 0.12	± 0.06	± 0.19	± 1.53	± 0.09	

- ค่าเฉลี่ย* = ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว; a = ช่วงเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-11 น้ำทิ้งจากระบบชุดการทดลองที่ 7 อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีไอดีเท่ากับ 90 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ(วัน)	BOD ₅ (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TTKN (mg/l)	STKN (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SNH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS	pH	หมายเหตุ
10	3.80	40.00	18.00	2.50	2.33	0.93	0.70	0.04	8.70	17.00	6.50	
20	3.30	34.00	16.00	2.30	1.17	0.47	0.23	0.07	8.90	24.60	6.52	a
21	3.20	34.00	16.00	1.87	0.23	0.47	0.47	0.04	8.90	17.20	6.51	a
22	3.45	36.00	20.00	2.10	0.23	0.70	0.47	0.05	8.70	17.00	6.53	a
23	3.40	36.00	20.00	2.33	0.50	0.23	0.00	0.08	8.90	17.20	6.48	a
24	3.40	36.00	20.00	2.33	0.50	0.70	0.50	0.05	8.90	17.50	6.47	a
25	3.05	32.00	16.00	2.10	0.50	0.47	0.50	0.09	8.90	17.80	6.49	a
26	3.05	32.00	16.00	2.33	0.70	0.47	0.23	0.09	8.90	17.80	6.52	a
27	3.05	32.00	16.00	1.63	0.47	0.23	0.23	0.07	8.90	17.80	6.52	a
28	2.85	30.00	14.00	1.87	0.50	0.23	0.20	0.07	8.90	17.40	6.49	a
29	2.80	30.00	14.00	1.87	0.47	0.47	0.47	0.00	8.90	17.40	6.51	a
30	3.05	32.00	16.00	1.87	0.47	0.47	0.47	0.00	8.90	17.40	6.49	a
31	3.10	32.00	16.00	1.63	0.50	0.47	0.47	0.00	8.90	17.30	6.49	a
32	3.20	34.00	18.00	1.87	0.50	0.47	0.23	0.00	8.90	17.40	6.49	a
33	3.20	34.00	18.00	2.30	0.47	0.50	0.20	0.00	8.90	17.20	6.49	a
34	3.20	34.00	18.00	2.30	0.47	0.50	0.20	0.00	8.90	17.40	6.49	a
35	3.20	34.00	18.00	2.30	0.50	0.50	0.20	0.00	8.90	17.40	6.49	a
ค่าเฉลี่ย*	3.16	33.25	17.00	2.06	0.51	0.46	0.32	0.04	8.89	17.41	6.50	
S.D.	± 0.36	± 3.25	± 3.00	± 0.43	± 0.19	± 0.23	± 0.32	± 0.03	± 0.19	± 0.41	± 0.03	

- ค่าเฉลี่ย* = ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว; a = ช่วงเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

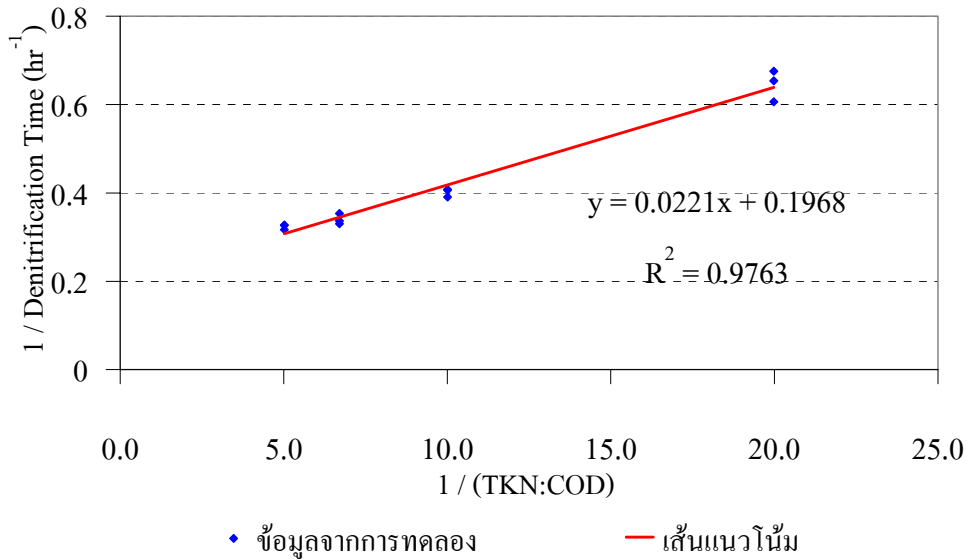
ตารางที่ ก-12 น้ำทิ้งจากระบบชุดการทดลองที่ 8 อัตราส่วนที่เคเอ็นต่อซีโอดีเท่ากับ 90 ต่อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

รอบ	BOD ₅ (mg/l)	TCOD (mg/l)	SCOD (mg/l)	TTKN (mg/l)	STKN (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SNH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	pH	หมายเหตุ
10	3.95	52.00	20.00	2.80	0.70	0.93	0.47	0.10	8.90	12.00	6.77	
20	4.05	54.00	20.00	2.63	0.20	0.47	0.23	0.10	8.60	20.60	6.78	a
21	3.35	54.00	20.00	2.63	0.50	0.47	0.47	0.00	8.90	16.20	6.69	a
22	3.85	54.00	18.00	2.17	0.20	0.70	0.47	0.10	8.90	15.40	6.85	a
23	3.30	52.00	16.00	2.17	0.20	0.23	0.00	0.10	8.90	15.20	6.78	a
24	3.30	52.00	16.00	2.63	0.20	0.70	0.50	0.10	8.90	15.20	6.78	a
25	3.35	52.00	16.00	2.63	0.20	0.47	0.50	0.10	8.90	17.00	6.78	a
26	3.40	46.00	16.00	2.63	0.20	0.47	0.23	0.10	8.90	16.60	6.96	a
27	3.40	46.00	16.00	2.63	0.50	0.23	0.23	0.10	8.90	16.80	6.78	a
28	3.45	46.00	14.00	2.17	0.20	0.23	0.20	0.00	8.90	16.80	6.78	a
29	3.45	46.00	16.00	2.17	0.50	0.47	0.47	0.00	8.90	14.40	6.78	a
30	3.23	46.00	16.00	2.17	0.20	0.47	0.47	0.00	8.90	14.40	6.78	a
31	3.23	46.00	14.00	2.17	0.20	0.47	0.47	0.00	8.90	13.20	6.73	a
32	3.25	50.00	16.00	2.17	0.20	0.47	0.23	0.00	8.90	14.40	6.73	a
33	3.25	50.00	16.00	2.17	0.20	0.50	0.20	0.00	8.90	13.20	6.75	a
34	3.25	50.00	16.00	2.17	0.20	0.50	0.20	0.00	8.90	13.20	6.75	a
35	3.23	50.00	16.00	2.17	0.20	0.50	0.20	0.00	8.90	13.20	6.73	a
ค่าเฉลี่ย*	3.40	49.63	16.38	2.34	0.26	0.46	0.32	0.04	8.88	15.36	6.78	
S.D.	± 0.17	± 4.38	± 3.63	± 0.29	± 0.24	± 0.23	± 0.15	± 0.06	± 0.28	± 2.16	± 0.09	

- ค่าเฉลี่ย* = ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว; a = ช่วงเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ภาคผนวก ข

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เคเอ็นกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน



ภาพประกอบที่ ค-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เคเอ็นกับเวลาดีไนตริฟิเคชัน

สมการจากกราฟในภาพประกอบที่ 3-1

$$y = mx + c \tag{ข-1}$$

$$y = 0.0221x + 0.1968 \tag{ข-2}$$

จาก $c = \frac{1}{T_m}$ (ข-3)

$$T_m = \frac{1}{c} = 1/0.1968 = 5.081 \tag{ข-4}$$

จาก $m = \frac{K}{T_m}$ (ข-5)

$$K = m \times T_m = 0.221 \times 5.081 = 0.11229 \tag{ข-6}$$

ดังนั้นนำค่า T_m และ K ที่ได้จากสมการ ค-4 และ ค-5 ไปแทนค่าในสมการที่ 3-1 ได้กราฟของ Saturation ในภาพประกอบที่ 3.18 ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการกำหนดช่วงเวลาของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้

ภาคผนวก ค
วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. COD ทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand : TCOD)

โดยวิธี Dichromate Closed Reflux Method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Digestion vessel : ให้ใช้หลอดเพาะเชื้อที่ทำด้วย borosilicate glass ขนาด 16×100 มิลลิเมตร, 20×150 มิลลิเมตร หรือ 25×150 มิลลิเมตร พร้อมด้วยฝาเกลียวปิดซึ่งภายในเป็น TFE
2. Block heater หรือเครื่องมืออื่นๆ ที่คล้ายกันซึ่งสามารถให้ความร้อนที่ 150 ± 0.2 องศาเซลเซียส พร้อมกับช่อง Block สำหรับใส่หลอด ไม่ควรใช้ Oven เพราะตัวอย่างอาจจะรั่วซึ่งจะเกิดการกัดกร่อนและอาจจะระเบิดได้ ในกรณีที่ต้องใช้ Oven ให้ผสมตัวอย่างในหลอดให้เข้ากันดีก่อนจึงจะนำเข้า Oven
3. Microburet

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.10 M เตรียมโดยละลาย $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น เดิม conc. H_2SO_4 20 มิลลิตร ที่ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรรวมเป็น 1,000 มิลลิตร

สารละลายนี้จะต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนในแต่ละวัน ด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต

2. การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) นำสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 5 มิลลิตร เดิมน้ำกลั่น 10 มิลลิตร ที่ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เดิมเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วนำมาไทเทรตกับเฟอร์รัส-แอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.10 M จุดยุติเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

การคำนวณ

1. โมลาริตีของ FAS = [ปริมาตร $K_2Cr_2O_7$ (ml) \times 0.25] / ปริมาตร FAS ที่ใช้ (ml)
2. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.01667 M เตรียมโดยละลาย $K_2Cr_2O_7$ (อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) 4.903 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร, conc. H_2SO_4 167 มิลลิลิตร และ $HgSO_4$ 33.3 กรัม ละลายเข้าด้วยกัน จากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรรวมเป็น 1,000 มิลลิลิตร
3. สารละลายกรด H_2SO_4 เตรียมโดยทำการผสม Ag_2SO_4 และ conc. H_2SO_4 ด้วยสัดส่วน Ag_2SO_4 5.5 กรัม ต่อ conc. H_2SO_4 1 กิโลกรัม ตั้งทิ้งไว้ 1–2 วัน ให้ Ag_2SO_4 ละลายก่อนนำมาใช้
4. สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยละลาย 1,10-phenanthroline monohydrate 1.485 กรัม และ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 695 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวม 100 มิลลิลิตร
5. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (KHP, $HOOC_6H_4COOK$) เตรียมโดยชั่ง KHP และทำให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียส ชั่งมา 425 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรจนได้ 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้จะอยู่ตัวถ้าเก็บในตู้เย็นแต่ไม่ตลอลไป

วิธีการวิเคราะห์

1. ตวงตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดสำหรับหาค่า COD
2. เติมสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.01667 M จำนวน 6 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลายกรด H_2SO_4 (ผสม Ag_2SO_4) 14 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
4. ปิดฝาหลอด COD ให้แน่นพอดีและนำหลอดไปเหวี่ยงให้สารผสมกัน
5. วางหลอดลงใน block digester ที่ preheat ไว้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ก่อนแล้วรีฟลักซ์ไว้ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำหลอดลงใส่ใน test tube rack
6. จากนั้นนำมาไทเทรตด้วยสารละลาย FAS 0.10 M โดยให้สารละลายเฟอร์โรอิน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง
7. ทำแบลนด์โดยใช้ น้ำกลั่น ในปริมาตรที่เท่ากับน้ำตัวอย่าง ทำการรีฟลักซ์เหมือนตัวอย่างทุกประการรวมทั้งสารเคมีที่ใช้ต้องเท่ากันด้วย

การคำนวณ

$$\text{COD(mg/l)} = [(A-B) \times M \times 8,000] / \text{ปริมาณตัวอย่าง (ml)}$$

โดยที่ COD = ค่า Chemical Oxygen Demand

A = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับเบลงค์ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

M = โมลาริตี FAS

2. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid : SS)

โดยวิธี Gravimetric Method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Glass Filler Disks (Whatman GF/C หรือ Gelman type A) ซึ่งไม่มีสารอินทรีย์ติดอยู่
2. เครื่องมือสำหรับกรอง
 - 2.1 Filter holder ใช้ gooch crucible adapter หรือ membrane filter funnel
 - 2.2 ถ้วยกรองความจุ 25 มิลลิลิตร สำหรับ Glass Filter ขนาด 2.2 เซนติเมตร
3. ขวดดูด (Suction flask) ความจุ 500 มิลลิลิตร
4. เครื่องดูดสูญญากาศ

วิธีวิเคราะห์

1. อบกระดาษกรองที่วางในอะลูมิเนียมฟรอย ให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ประมาณ 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก
2. เลือกปริมาณน้ำตัวอย่างที่ได้ปริมาณของแข็งแขวนลอยไม่น้อยกว่า 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร
3. วางกระดาษกรองบนกรวยที่ต่อกับเครื่องสูญญากาศ
4. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียก แล้วเปิดเครื่องดูดสูญญากาศ เพื่อให้กระดาษกรองติดกับกรวย
5. กรองตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีแล้วโดยอาศัยแรงดึงจากเครื่องดูดอากาศ
6. ปิดเครื่องดูดสูญญากาศ ใช้คีมคีบกระดาษกรอง แล้วนำไปใส่อะลูมิเนียมฟรอยอันเดิม จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
7. ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ประมาณ 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

การคำนวณ

$$\text{Suspended Solid (mg/l)} = [(A-B) \times 1,000] / \text{ml sample}$$

โดยที่ A = น้ำหนักกระดวยกรองก่อนการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

B = น้ำหนักกระดวยกรองหลังการวิเคราะห์ (มิลลิกรัม)

3. เอ็มแอลเอสเอส (Mixed Liquor Suspended Solid : MLSS)

โดยวิธี Gravimetric Method

การหา MLSS วิธีการเหมือนกับการหา SS เพียงแต่ใช้น้ำตะกอนจุลินทรีย์ (Mixed liquor) แทนน้ำตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์แอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen : $\text{NH}_4^+ \text{-N}$)

โดยวิธี Phenate Method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องที่ใช้ในการกลั่น ซึ่งประกอบด้วย Kjeldahl Flask, Condenser และ Heaters
2. เครื่องวัด pH

สารเคมี

1. น้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย
2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphatebuffer) เตรียมโดยละลาย KH_2PO_4 14.3 กรัม และ K_2HPO_4 68.8 กรัม ในน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนีย แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร หรือสารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ (Borate buffer) ซึ่งเตรียมโดยเติม NaOH 0.01 N 88 มิลลิลิตร ลงใน Sodium tetraborate solution 0.025 M 500 มิลลิลิตร (ละลาย anhydrous $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 5.0 กรัม หรือ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 9.5 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร) แล้วปรับปริมาตรจนได้ 1 ลิตร
3. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยละลาย Methyl red 200 mg ใน ethyl หรือ isopropyl alcohol 95 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร ละลาย methylene Blue 100 มิลลิกรัม ใน ethyl หรือ isopropyl alcohol 95 เปอร์เซ็นต์ 50 มิลลิลิตร รวมสารละลายสองอย่างเข้าด้วยกัน เตรียมใช้ในแต่ละเดือน
4. กรดบอริก + อินดิเคเตอร์ เตรียมโดยละลาย H_3BO_3 20 กรัม ในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียเติมอินดิเคเตอร์ 10 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรจนได้ 1 ลิตร เตรียมใช้ในแต่ละเดือน
5. สารละลาย Standard sulfuric 0.02 N เตรียมโดยใช้กรด conc. H_2SO_4 2.8 มิลลิลิตรผสมกับน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียจนได้ 1 ลิตร จะได้กรด H_2SO_4 เข้มข้น 0.1 N จากนั้นปรับปริมาตร

เป็น 200 มิลลิลิตร ของกรด H_2SO_4 0.1 N ด้วยน้ำกลั่นปราศจากแอมโมเนียจนได้ 1 ลิตร กรดที่ได้
ขั้นสุดท้ายนี้ จะมีความเข้มข้นประมาณ 0.02 N หากความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 โดยไทเทรตกับ
สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต 0.02 N

6. สารละลายมาตรฐาน โซเดียมคาร์บอเนต 0.02 N เตรียมโดยละลาย Na_2CO_3 1.060 g (ที่
อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

7. สารละลายใช้ในการปรับ pH

1) สารละลาย NaOH 1 N เตรียมโดยละลาย NaOH 40 กรัม ในน้ำกลั่นปราศจาก
แอมโมเนียแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2) สารละลายกรด H_2SO_4 1 N เตรียมโดยละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 28 ml ในน้ำกลั่น
ปราศจากแอมโมเนีย 500 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

3) สารละลาย NaOH 6 N เตรียมโดยละลาย NaOH 240 กรัม ในน้ำกลั่นปราศจาก
แอมโมเนียแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีการ

1. การกลั่นล้างเครื่องมือ ใช้น้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร และ Phosphate buffer 20 มิลลิลิตร แล้ว
ปรับ pH ให้เป็น 9.5 ด้วย NaOH 6 N ใส่ลูกแก้ว (glass beads) ลงไป ผสมสารละลายให้เข้ากันกลั่น
ล้างจนแอมโมเนียจนหมด

2. การกลั่นตัวอย่างนำตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร หรือตัวอย่างที่มีการเจือจาง 500 มิลลิลิตร มา
ปรับ pH ให้ได้ประมาณ 7 เติมสารละลาย Phosphate buffer 25 ปรับ pH แล้วปรับ pH ให้ได้ 9.5
จากนั้นเทใส่ Kjeldahl flask เติมลูกแก้ว (glass beads) นำไปกลั่น เก็บ Distillate 250 มิลลิลิตร ใช้
กรดบอริก + อินดิเคเตอร์ 50 มิลลิลิตร รวมเป็น 300 มิลลิลิตร นำ Distillate นำไปไทเทรตกับ
สารละลายกรดมาตรฐานกรด H_2SO_4 0.02 N จนกระทั่งถึงจุดยุติกลายเป็นสีม่วงอ่อน

สำหรับ Blank ทำเหมือนตัวอย่างทุกประการแต่ใช้น้ำกลั่นแทน

ตารางที่ ง-1 การเจือจางของน้ำตัวอย่างในการวิเคราะห์ NH_4^+-N

NH_4^+-N in sample (mg/l)	Sample volume (ml)
5-10	25
10-20	100
20-50	50.0
50-100	25.0

การคำนวณ

$$\text{NH}_4^+-\text{N (mg/l)} = [(A-B) \times 280] / \text{ml. sample}$$

โดยที่ NH_4^+-N = แอมโมเนียไนโตรเจน

A = มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานกรด H_2SO_4 0.02 N ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานกรด H_2SO_4 0.02 N ที่ใช้ในการไทเทรต Blank

5. การวิเคราะห์เจตาท์ไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)

โดยวิธี Macro Kjeldahl Method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือในการย่อยสลาย ประกอบด้วยเครื่องดูดอากาศเพื่อดูดไอน้ำออกทิ้ง
2. เครื่องกลั่น ชุดเดียวกับการหาแอมโมเนียไนโตรเจน

สารเคมี

1. สารละลายสำหรับการย่อย (Digestion solution) เตรียมโดยละลายโพแทสเซียมซัลเฟต K_2SO_4 134 กรัม และ 7.3 กรัม CuSO_4 ผสมกันในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 134 มิลลิลิตร ของ conc. H_2SO_4 ด้วยความระมัดระวัง และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 14 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการตกผลึก

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไซโอซัลเฟต เตรียมโดยละลาย NaOH 500 กรัม และโซเดียมไซโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรจนเป็น 1 ลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. เลือกปริมาตรของน้ำตัวอย่างให้เหมาะสม จากนั้นเติมน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียจนปริมาตรรวมเป็น 300 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายสำหรับการย่อยสลายลงไป 50 มิลลิลิตร
3. ต้มเคี่ยวจนได้สารละลายใส เคี่ยวต่ออีก 20-30 นาทีให้หมดควันมีแต่ส่วนใส จากนั้นทิ้งให้เย็นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 300 มิลลิลิตร

4. ทำให้เป็นค่าข ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไฮโอซัลเฟต 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปกลั่น โดยใช้สารละลายอินดิเคเตอร์บอริกแอซิด 50 มิลลิลิตร เป็นตัวจับแอมโมเนียจนได้ปริมาตรรวมทั้งหมดเป็น 250 มิลลิลิตร

จากนั้นนำส่วนที่กลั่นได้ 250 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งให้เย็น นำมาไทเทรตกับสารละลายกรด H_2SO_4 0.02 N จนกลายเป็นสีม่วงอ่อน

การคำนวณ

$$NH_4^+N + Org-N \text{ (mg/l)} = [(A-B) \times 280] / \text{ml.sample}$$

โดยที่ $NH_4^+N + Org-N$ = แอมโมเนียไนโตรเจน + อินทรีย์ไนโตรเจน

A = มิลลิลิตรสารละลายมาตรฐานกรด H_2SO_4 0.02 N ที่ใช้ในการไทเทรต

ตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรสารละลายมาตรฐานกรด H_2SO_4 0.02 N ที่ใช้ในการไทเทรต

Blank

6. การวิเคราะห์ไนโตรเจนในไนโตรเจน (Nitrite-Nitrogen : NO_2^-)

โดยวิธี Spectrophotometric Method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Flask
2. Volumetric flask ขนาด 50 ml
3. Volumetric pipet
4. Cylinder ขนาด 100 ml
5. Beaker
6. Test tube
7. กระจกกรองขนาด $0.45 \mu m$
8. ชุดกรองพร้อมเครื่องดูดสุญญากาศ
9. Spectrophotometer

สารเคมี

1. Sulfanilamide Solution
2. 1-Naphthyl-Ethylene-Diamine Solution (NED)
3. Stock NO₂-N ความเข้มข้น 0.1 mg. NO₂-N/ml
4. Deionized water

วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียม Standard NO₂-N ความเข้มข้น 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 mg NO₂-N/l จาก Standard NO₂-N ความเข้มข้น 1 mg NO₂-N/l โดยการ Pipet Standard NO₂-N ความเข้มข้น 1 mg NO₂-N/l ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 50 ml แล้วเติม Deionized water

2. วิเคราะห์ NO₂-N ของน้ำตัวอย่าง

2.1 นำน้ำตัวอย่างกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 μ m โดยใช้ชุดกรองพร้อมชุดสูญญากาศ

2.2 เปิดน้ำตัวอย่างปริมาตร 10 ml ใส่ใน Test tube

2.3 เติม Sulfanilamide solution ปริมาตร 1 ml เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 2-8 นาที

2.4 เติม NED ปริมาตร 1 ml เขย่าให้เข้ากัน

2.5 นำไปวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 540 nm ภายใน 10 นาที – 2 ชั่วโมง

7. การวิเคราะห์ไนเตรทไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen :NO₃⁻-N)

โดยวิธี Cadmium Reduction Method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Flask
2. Volumetric flask ขนาด 100 ml
3. Volumetric pipet
4. Cylinder ขนาด 100 ml
5. Beaker
6. Test tube
7. กระดาษกรองขนาด 0.45 μ m
8. ชุดกรองพร้อมเครื่องดูดสูญญากาศ

9. Spectrophotometer
10. Cadmium Reduction Column

สารเคมี

1. Sulfanilamide Solution
2. 1-Naphthyl-Ethylene-Diamine Solution (NED)
3. Stock $\text{NO}_3\text{-N/ml}$
4. Deionized water
5. $\text{NH}_4\text{Cl-EDTA}$ Solution

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียม Standard $\text{NO}_3\text{-N}$ ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 0.1 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ จาก Standard $\text{NO}_3\text{-N}$ ความเข้มข้น 5 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ ปริมาตร โดยการ Pipet Standard $\text{NO}_3\text{-N}$ ความเข้มข้น 5 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml แล้วเติม Deionized water จนได้ปริมาตร 100 ml

2. การวิเคราะห์ $\text{NO}_3\text{-N}$ ของน้ำตัวอย่าง

2.1 นำน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรองขนาด $0.45 \mu\text{m}$ โดยใช้ชุดกรองพร้อมเครื่องดูดสุญญากาศ

2.2 นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระดาษกรองแล้วปริมาตร 25 ml ผสมกับ $\text{NH}_4\text{Cl-EDTA}$ Solution ปริมาตร 75 ml เพื่อกำจัดโลหะหนักต่าง ๆ

2.3 ผ่านน้ำตัวอย่างใน Cadmium Reduction Column ด้วย Flow rate 5-7 ml/min

2.4 ทิ้งน้ำตัวอย่าง 25 ml แรกแล้วเก็บน้ำตัวอย่างปริมาตร 10 ml ใส่ใน Test tube

2.5 เติม Sulfanilamide Solution ปริมาตร 1 ml เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 2-8 นาที

2.6 เติม 1-Naphthyl-Ethylene-Diamine Solution (NED) ปริมาตร 1 ml เขย่าให้เข้ากัน

2.7 นำไปวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 540 nm ภายใน 10 นาที – 2 ชั่วโมง

3. การวัดประสิทธิภาพของ Cadmium Reduction Column ทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า ABS ที่ความยาวคลื่น 540 nm ของ $\text{NO}_3\text{-N}$ และ $\text{NO}_2\text{-N}$ ที่ความเข้มข้นที่เท่ากัน ค่า ABS ที่เปรียบเทียบกัน จะแสดงถึงประสิทธิภาพของ Cadmium Reduction Column ที่สามารถรีดิวซ์ $\text{NO}_3\text{-N}$ ให้เป็น $\text{NO}_2\text{-N}$ ได้อย่างสมบูรณ์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายกฤษณะ รักษ์วงศ์	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4777041	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	2546

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

กฤษณะ รักษ์วงศ์, กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์ และ สุเมธ ไชยประพัทธ์, 2551. “การศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมการบำบัดไนโตรเจนในกระบวนการเอสบีอาร์ โดยใช้พารามิเตอร์โออาร์พีและพีเอช สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล”, เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ครั้งที่ 6. ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ระหว่างวันที่ 8-9 พฤษภาคม 2551.